

Treball de fi de Grau

Disseny i construcció d'un viver automatitzat amb *Industrino*

MEMÒRIA

Autor: OROMÍ ESTELLER, ALBERT
Director (vocal): SOLANO ALBAJES, LLUIS
Codirector: EGUÍA GÓMEZ, JOSÉ LUIS
Convocatòria: Setembre 2018



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Què en pensaríeu del fet de poder replicar el transcurs del cicle estacional dins un viver? O replicar les condicions de vida d'un indret llunyà? O de crear-ne de noves? Així com les gallines poden arribar a pondre dos ous en un sol dia sota un règim determinat, és possible duplicar el nombre de collites anuals d'un arbre fruiter sota un règim determinat?

Aquest projecte té com a finalitat desenvolupar un model prototip d'un entorn de proves automatitzat, capaç de controlar les variables ambientals com la temperatura, la humitat de l'aire, la del sòl i l'aportació de llum de qualitat i nutrients, per intentar donar resposta a aquestes i tantes d'altres preguntes motivades per la curiositat i l'experimentació.

El viver pot ser tan complex com la mateixa vida que hi té cabuda al seu interior, però no es tracta d'això. Aquest primer model ha de ser simple, replicable, ha de servir com a primera iteració, una aproximació senzilla que guanyarà complexitat a mesura que sigui necessari, de nou, com la evolució de la mateixa vida, ara tan complexa, que hi pot tenir cabuda al seu interior.

Aquest document conté tota la informació necessària que ha calgut recollir i desenvolupar per arribar a l'estat final del prototip, ordenada de més essencial o bàsica, a més complexa. En tot moment es diferencia la part de *Hardware* de la de *Software* per facilitar la comprensió. Es poden trobar des de conceptes generals fins a conceptes molt específics i tècnics, com els detalls de connexió d'algun sensor. Es poden consultar diverses fonts tècniques, com els plànols constructius o els esquemes elèctrics, i moltes d'altres figures que ajuden a la correcta interpretació dels capítols.

En definitiva, és una crònica que conté tot el procés que ha calgut recórrer per arribar de la idea inicial fins al resultat final, garantint l'assoliment dels objectius amb la construcció, programació i testeig del primer model del viver, capaç de controlar les variables atmosfèriques definides anteriorment en funció dels interessos de l'usuari.

1. Sumari

Index de contingut

1.	Sumari.....	3
2.	Prefaci.....	5
2.1.	Origen del projecte.....	5
2.2.	Motivació.....	5
3.	Introducció.....	6
3.1.	Objectius del projecte.....	6
3.2.	Abast del projecte.....	6
4.	Programació temporal del Projecte.....	8
4.1.	Anàlisi temporal i calendarització de les activitats.....	9
4.2.	Diagrama de Gantt.....	11
5.	Estat de l'art	12
5.1.	Funcions d'interès	14
6.	Elements del Plantbot.....	18
6.1.	El Hardware: Recaptació de dades i actuació amb el medi.....	18
6.1.1.	Mòduls del Plantbot.....	18
6.1.2.	Mòdul de ventilació.....	21
6.1.3.	Mòdul de reg i adobatge.....	21
6.1.4.	Mòdul de regulació tèrmica.....	22
6.1.5.	Mòdul d'il·luminació	22
6.1.6.	Mòdul d'alimentació elèctrica.....	23
6.1.7.	Mòdul de captació: sensors	23
6.2.	El Software: Programació.....	24
6.2.1.	Diagrama d'entrades i sortides general.....	25
6.2.2.	El controlador.....	26
6.2.3.	Diagrama d'estats.....	27
6.2.4.	Llibreries i classes de funcions.....	29
6.2.5.	Programa general.....	31
6.2.6.	El control dels paràmetres.....	34
7.	Plànols	36
7.1.	Plànols constructius.....	36
7.2.	Esquemes elèctrics	39

8.	Anàlisi de les alternatives de disseny.....	43
8.1.	El hardware.....	43
8.1.1.	Decisions.....	43
8.1.2.	Alternatives de disseny.....	46
8.1.3.	Treballs Futurs.....	47
8.2.	El software.....	48
8.2.1.	Decisions.....	48
8.2.2.	Alternatives de disseny.....	49
8.2.3.	Treballs futurs.....	49
9.	Pressupost.....	51
10.	Impacte mediambiental.....	54
11.	Resultats.....	56
12.	Conclusions.....	58
13.	Agraïments.....	59
14.	Bibliografia.....	60
14.1.	Referències bibliogràfiques.....	60
14.2.	Bibliografia complementària.....	61
	Annex.....	62
	A. Galeria d'Imatges.....	62
	B. Alternatives de Disseny.....	67
	B.1. Distribució dels mòduls	67
	C. El programa general.....	70

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Tot comença una tarda qualsevol d'estiu, quan em trobava a casa d'un amic podant i cuidant els seus Bonsais. Un d'ells, de la espècie *Acer Palmatum*, es trobava bastant perjudicat per culpa del clima càlid ja que no és originari del mediterrani. Va ser llavors quan el meu amic em va proposar la idea d'introduir el bonsai a la nevera ja que viuria en unes condicions molt més idònies i similars al seu clima. Inicialment era una proposta amb un to bromista, però donant-li voltes, se'ns va acudir la idea de crear un viver automatitzat que permetes reproduir diversos entorns per poder garantir unes condicions bones de cultiu per espècies no pròpies del clima mediterrani, a més de servir com a entorn de proves per experimentar una gran varietat d'idees.

A partir d'aquest moment començo a donar-li voltes i me n'adono que és una idea prou complexa i interessant com per realitzar-la com a treball de final de grau.

2.2. Motivació

La biologia sempre ha estat una branca de la ciència que m'ha resultat molt atractiva. Últimament he estat estudiant botànica de forma autònoma i he arribat a la conclusió de que disposar d'un entorn de proves on poder controlar els factors ambientals més bàsics és essencial. Gràcies al control de variables com la temperatura o la humitat es poden realitzar germinacions, recuperació d'espècimens afectats, ingerts... amb una eficàcia molt superior als mètodes tradicionals més rudimentaris.

Per altra banda, l'electrònica i l'automatització de sistemes amb l'ús de microcontroladors PIC també m'interessa molt des de fa temps, i últimament tenia la intenció de formar-me més en aquest món. Així que, entenent la necessitat de disposar d'un entorn de proves i la voluntat d'aprendre més electrònica i disseny de sistemes vaig decidir crear un prototip del dispositiu de proves que satisfés les meves necessitats.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és: Desenvolupar el primer prototip d'un entorn de proves automatitzat que permeti recrear diferents atmosferes i condicions, que puguin ser definides per l'usuari per dur a terme recerca o usar-lo recreacionalment per al cultiu de plantes, fongs.. entre molts d'altres ecosistemes.

Més específicament, el prototip ha de ser funcional i desmuntable per poder reaprofitar el màxim de components possibles a mesura que s'optimitza el model estructural. És essencial doncs, fer recerca sobre el context actual per començar a tenir nocions sobre les possibles solucions als problemes que caldrà resoldre.

3.2. Abast del projecte

Per poder assolir l'objectiu és necessari controlar un conjunt de variables i paràmetres que permetin modificar l'entorn i assimilar-lo a allò que es pretén reproduir. Aquest projecte és l'inici d'un procés de millora continu, fruit de les dades i la resposta obtinguda a cada iteració.

Inicialment però, cal triar un conjunt per poder començar el procés iteratiu. Després de dur a terme les consideracions oportunes i prenent com a requisits bàsics els establerts a l'objectiu, s'ha optat per controlar els següents factors al prototip inicial:

- Temperatura de l'aire de la cambra
- Humitat del sòl
- Humitat de l'aire de la cambra
- Hores de llum per 'dia'
- Durada del temps dins la cambra
- Ventilació

- Distribució del reg i adobatge.

Regular la pressió dins la cambra és un pas necessari per poder controlar les tres variables termodinàmiques més interessants per recrear condicions de vida (pressió, temperatura i un volum on reproduir l'experiment). Amb el control de totes les variables esmentades és possible replicar gairebé les condicions atmosfèriques de qualsevol indret i la seva evolució al llarg de l'any. Tot i això, com que el projecte té associat un límit d'hores, s'ha decidit no dur a terme ara el control de la pressió degut a la seva complexitat, ja que podria ser perfectament un treball independent.

Part de la feina a realitzar consistirà en generar classes i funcions específiques per les tasques específiques a realitzar, com per exemple, la durada del dia i les hores de llum que aquest presenta. D'aquesta forma es compactarà molt el programa i serà intuïtiu per a l'usuari un cop entenguin les classes i funcions definides. És una inversió de futur ja que farà fàcil i òptim el creixement del programa.

Inicialment, es decideix optar per usar un controlador *Industrino*, que és un model d'*Arduino* hibridat amb la lògica i el funcionament d'un PLC (Controlador Lògic Programable) que compleix les normatives de comercialització i permet disposar de les facilitats que aporta l'electrònica industrial, com per exemple l'aïllament dels pins per evitar interferències al connectar diversos sensors.

4. Programació temporal del Projecte

A continuació es mostra el conjunt d'activitats més genèriques que s'han de dur a terme al llarg del projecte. Un cop definides, es procedirà a analitzar-les més detalladament i ordenar-les temporalment.

- Familiarització amb el llenguatge de programació i el software necessari per desenvolupar el projecte (en realitat serà un procés continu al llarg de tot el projecte, però cal una primera familiarització): **10 h**
- Generació d'un diagrama d'estats i funcions que ha de realitzar el viver per poder dissenyar el programa: **5 h**

Aquestes dues primeres etapes es poden realitzar de forma simultània.

- Programació de les classes i funcions, creació del programa general i test: **110 h**

Aquesta etapa de programació és la més extensa, i en funció de quina direcció final prengui el projecte, podrà modificar el diagrama d'estats inicial, així com les temporitzacions de les activitats a dur a terme.

- Millores del disseny, tant de hardware com software: S'estima que un 15% del temps total, com a mínim, es destinarà a millorar i revisar la feina feta a partir de proves i tests: **54 h**
- Disseny del prototip, comanda dels materials, test i fabricació: **70h**
- Redacció de la memòria, revisió i presentació del treball: **40 h**

4.1. Anàlisi temporal i calendarització de les activitats

Ara que es té noció de les tasques principals a realitzar i la seva durada aproximada, és hora de definir-les més a fons i estudiar les seves dependències per evitar temps morts innecessaris i disposar d'una guia per dur a terme el seguiment temporal. A continuació es mostra una taula amb aquesta informació:

Activitat	Durada [h]	Precedent	Inici i Fi
Recerca inicial	9	-	20/02/2018 25/02/2018
Acotació objectiu	4	-	20/02/2018 25/02/2018
Funcions del viver	6	Acotació objectiu	25/02/2018 27/02/2018
Familiarització llenguatge	10	-	1/03/2018 10/03/2018
Diagrama d'estats	5	Funcions del viver	10/03/2018 15/03/2018
Disseny de l'esquelet	7	Funcions del viver	1/03/2018 20/03/2018
Disseny de l'esquema elèctric	8	Funcions del viver	15/03/2018 25/03/2018
Disseny del circuit de reg	6	Funcions del viver	10/03/2018 12/03/2018
Disseny del circuit de ventilació	6	Funcions del viver	20/03/2018 25/03/201

Disseny circuit tèrmic	5	Funcions del viver	10/03/2018 20/03/2018
Disseny del circuit d'aportació adob	2	Funcions del viver	10/03/2018 11/03/2018
Càlcul i comanda de materials	2	Disseny de tots els sistemes usats	29/03/18
Construcció del prototip	40	Dissenys + arribada del material	20/04/2018 5/05/2018
Test	7	Construcció del prototip	6/05/2018 13/05/2018
Disseny del programa	100	Funció del viver + Diagrama d'estats	10/03/2018 30/04/2018
Test del programa	10	Disseny del programa	5/05/2018 15/05/2018
Millores del disseny i solució de imprevistos (15% del temps total)	54	Al llarg de tot el projecte.	1/03/2018
Redacció memòria i presentació del treball	40	Totes les anteriors, però pot començar a l'inici del projecte	1/03/2018 10/06/2018
Alternatives de dissenys	40	-	01/03/18

Taula 4.1.1 Programació temporal. Elaboració pròpia.

4.2. Diagrama de Gantt

Un cop es disposa de totes les precedències i durades aproximades és hora de donar un altre format més visual que resulti més fàcil d'interpretar. El diagrama de Gantt resulta idoni per aquesta tasca. A continuació es mostra el resultat obtingut:

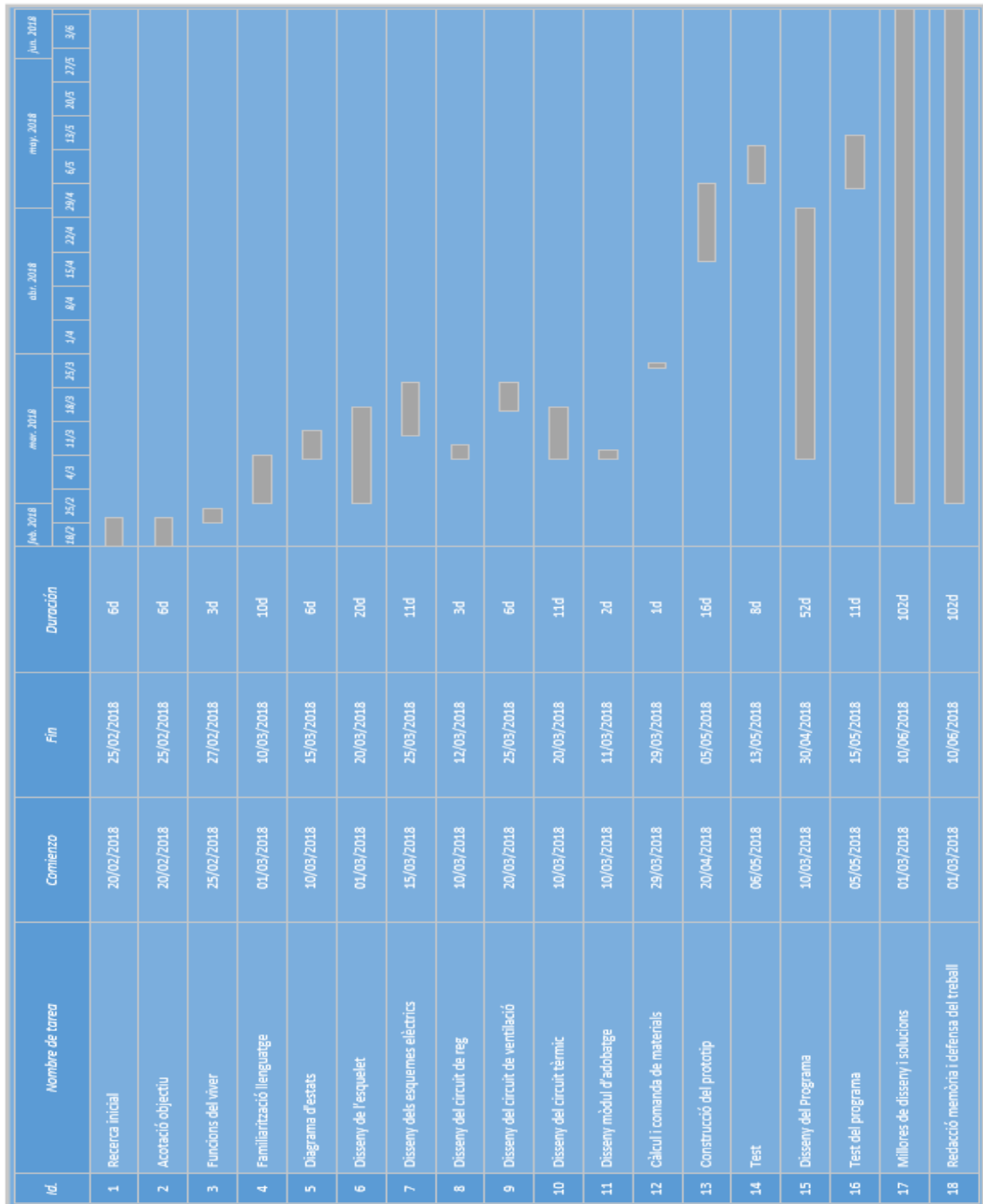


Figura 4.2.1 Diagrama de Gantt. Elaboració pròpia.

5. Estat de l'art

Abans de començar a desenvolupar un projecte és interessant estudiar les idees similars que puguin existir. Així es pot avançar més ràpid ja que no es comença des d'una tabula rasa i es té coneixement de quines coses poden o no funcionar sense necessitar d'experimentar-les un mateix.

Aquest apartat recull alguns exemples que es van consultar a l'inici del projecte per conceptualitzar la idea.

BiOrbAIR

BiOrbAIR és un terrari automatitzat que permet reproduir les condicions d'humitat i hores de llum de la part baixa dels boscos tropicals. Així doncs, es poden cultivar espècies com les orquídiess, plantes d'aire i inclús petits amfibis i insectes típics d'aquest clima.

Presenta forma esfèrica, amb dos compartiments, un superior i un altre inferior on es localitza la electrònica i el dipòsit d'aigua.

La seva finalitat és purament estètica i recreacional. Les mides són reduïdes i no es realitza control tèrmic a l'interior de l'encapsulat. El reg és purament per nebulització amb ultrasons.

Aquest projecte serveix per entendre que és possible realitzar un control climàtic concret sobre un espai determinat sense que aquest sigui molt complex ni aparatós. És part de la gràcia del dispositiu, que s'integra perfectament com a element decoratiu.

La informació referent al dispositiu s'ha extret de la pàgina oficial **[3]** (*biOrbAIR Terrarium*. BiOrb.(17/03/2016)). Per a més informació, consulteu l'enllaç facilitat a la bibliografia. A la pàgina web facilitada es poden trobar les imàtges referents a aquest dispositiu

Arduino Indoor Garden

Arduino Indoor Garden és un viver automatitzat simple de codi obert desenvolupat per Arduino. Automatitza la il·luminació del viver i el reg però no realitza cap control tèrmic. La seva finalitat és educativa i d'experimentació ja que és l'usuari qui munta el viver i defineix els paràmetres que l'interessen per condicionar l'entorn a les seves necessitats. A més, disposa d'una aplicació per a mòbil que permet a l'usuari llegir el valor dels sensors i accionar o parar els actuadors mitjançant una connexió Bluetooth amb l'aparell.

És un projecte molt interessant que serveix per iniciar-se al món del control dels ecosistemes gràcies a la robustesa i simplicitat del disseny i del codi.

La informació referent al dispositiu s'ha extret de la pàgina oficial [2] (MEGA DAS. (03/01/2018)). Per a més informació, consulteu l'enllaç facilitat a la bibliografia.



Figura 5.1. Placa base de l'Arduino Indoor Garden i finestra principal de l'aplicació per a mòbil. (Font: MEGA DAS)

Manual de vivers per la producció d'espècies Forestals en contenidors

Aquest manual descriu a fons les tècniques més usades a nivell industrial per automatitzar i controlar el clima dels contenidors on es cultiven espècies forestals. Conté informació molt rellevant i interessant sobre el tema. S'ha consultat el seu contingut per entendre quina era la situació industrial en el que es trobava la idea del projecte. En cap cas però s'ha decidit aplicar les tècniques que es descriuen de forma literal ja que estan pensades per indrets molt més grans, però serveixen com a referència de quins processos poden ser viables. Es pot consultar el manual a la bibliografia complementària.

5.1. Funcions d'interès

S'ha considerat oportú definir prèviament les funcions d'interès a comparar entre els dispositius esmentats a l'estat de l'art. Aquest grup de funcions és el resultat d'agrupar de forma única totes les funcions que realitzen els tres dispositius. A continuació s'expliquen breument.

- **Control de la humitat ambiental:** La seva funció es garantir estabilitat entorn un valor màxim i mínim de la humitat a l'aire. És essencial un bon control d'aquest paràmetre sempre i quan la espècie/ecosistema a cultivar ho necessiti.
- **Control de la humitat del Sòl:** La seva funció és garantir estabilitat entorn un valor màxim i mínim de la humitat al substrat. És essencial un bon control d'aquest paràmetre per evitar malmetre les arrels de les plantes o deshidratar-les.
- **Control tèrmic:** La seva funció és garantir estabilitat entorn un valor màxim i mínim de la temperatura a la zona de control. És essencial per reproduir els canvis estacionals, climes d'indrets llunyans a la zona de control i incús les variacions tèrmiques diàries.
- **Control lumínic:** La seva funció es basa en reproduir condicions de dia i nit a la zona de control. Sense aquest cicle, gran part de les espècies no podrien sobreviure.
- **Control del reg del sòl:** És el cas particular més usat de control de la humitat del sòl. La seva actuació es basa en l'aportació directa d'aigua al substrat.
- **Adobatge:** La seva funció és garantir que l'entorn disposi de suficients nutrients per poder desenvolupar-se correctament, d'acord amb les necessitats vitals.
- **Ventilació:** La seva funció és garantir moviment d'aire a l'interior de la cambra i oxigenació. És essencial per garantir una bona mescla de gasos i renovar l'ambient.

La taula que es presenta a continuació compara i pondera les funcions esmentades anteriorment. Gràcies a aquesta comparació es pot apreciar quina idea utilitza cada viver per solucionar el mateix problema.

Funcions del viver	BiorbAIR	Arduino Indoor Garden	Plantbot
Control humitat ambient	√√	√	√√
Control humitat sòl	√	√	√√
Control tèrmic calent	X	X	√√
Control tèrmic fred	X	X	√√
Control lumínic	√√	√√	√√
Sortida i posta de sol	√√	X	X
Control reg sòl	X	√√	√√
Ventilació	√√	√√	√√
Adobatge	X	X	√√

Taula 5.1.1. Taula comparativa de les funcions que realitza cada viver. Elaboració pròpia.

√√ Disposa d'actuadors per controlar el paràmetre directament

√ Disposa d'actuadors per controlar el paràmetre indirectament

X No disposa d'actuadors per controlar el paràmetre

Ara per ara, el *Plantbot* presenta un únic paràmetre que no pot controlar en comparació amb els altres dos vivers estudiats. No pot simular la sortida o la posta de sol modificant la potencia lumínica degut a que el LED Fullspectrum s'alimenta a 220 V (Volts) de corrent alterna, i incorporar un potenciòmetre controlat en aquesta primera versió és complicat. Tot i així, es tindrà en compte com a treball futur degut al seu interès.

Ara, és interessant veure quin hardware utilitza cada viver per realitzar el control sobre les funcions esmentades anteriorment per extreure conclusions com quin pot ser el camp d'aplicació de cadascun o bé com controlen de formes diferents les funcions d'interès i quin model sembla ser més òptim.

Fuincions del viver	Hardware usat	BiorbAIR	Arduino indoor garden	Plantbot
Control humitat ambient	Nebulitzador ultrasònic	1	0	1
	Sensor humitat	1	1	1
Control humitat sòl	Sensor humitat	1	1	1
Control tèrmic calent	Sonda tèrmica	0	0	1
	Resistència	0	0	1
Control tèrmic fred	Sonda tèrmica	0	0	1
	<i>Peltier</i>	0	0	1
Control lumínic	LED	10W (Blanca)	10W (Blanca)	20W (Full-spec)
	Sensor de llum	1	0	0
Sortida i posta de sol	Potenciòmetre	1	0	0
Control reg sòl	Electrovàlvula	0	0	1
	Bomba d'aigua	1	0	0
Ventilació	Ventiladors 12V	1	2	2
Adobatge	Bomba peristàltica	0	0	1

Taula 5.1.2. Taula comparativa del hardware dels viviers. Elaboració pròpia.

Aquesta última taula presenta el hardware més significatiu que usa cada sistema per realitzar les funcions comparades.

Un cop s'ha vist el hardware i la funcionalitat general dels dispositius és hora d'extreure conclusions. Es pot apreciar que el *Plantbot* és més complet a nivell funcional que els altres dispositius. Pot controlar directament tots els paràmetres amb excepció de la sortida i posta de sol. A més, disposa de control tèrmic i adobatge, funcions que manquen a la resta de dispositius estudiats. Això però implica una major complexitat de hardware i programació. Cal entendre que la finalitat del *Plantbot* es troba més relacionada amb la investigació ja que es tracta d'un entorn de proves i cal controlar més paràmetres que als vivers decoratius estudiats. Aquests també tenen cabuda per realitzar experimentació però és més limitada. En el cas del BiorbAIR, és pràcticament nul·la ja que l'usuari no pot modificar els paràmetres de programació en funció dels seus interessos i només pot recrear un únic clima. L'*Arduino Indoor Garden* possibilita la modificació del codi ja que aquest és obert i l'usuari té certa llibertat per utilitzar el hardware disponible com ell vulgui, entenent les limitacions d'aquest.

És interessant també comparar com realitzen les funcions que es donen a terme a tots els dispositius. Es decideix comentar només aquelles funcions que presenten discrepàncies en la seva solució. El reg al *Plantbot* es dona per gravetat, mentre que a la resta de dispositius s'usen bombes. A priori no es pot decidir quin mètode és més efectiu ja que no s'ha realitzat cap estudi. Per altra banda, el *Plantbot* usa llum amb un gran rang de freqüències, mentre que els altres dispositius usen llum més estàndard blanca. Aquest fet sí que és significatiu ja que la qualitat de la llum del *Plantbot* és superior i permet desenvolupar millor la vida i aprofitar l'energia lumínica.

Cal recordar que el *PlantBot* és el primer prototip, i que es troba sota període de prova. Els altres dispositius són productes comercialitzats que es troben en un estat més madur, fet necessari per sortir al mercat. La comparativa més interessant de fer és a nivell conceptual, i es pot plantejar amb una pregunta: Han de treballar sota les mateixes condicions i amb la mateixa finalitat?

El *Plantbot* té principalment una finalitat experimental i aquest fet implica més complexitat al disseny, pogué controlar millor l'entorn i modificar-lo de la manera desitjada. Cal, per tant, un nivell de complexitat superior tan a nivell de software com de hardware.

6. Elements del *Plantbot*

Per entendre més a fons l'abast del projecte és interessant detallar els mòduls que conformen el *Plantbot*, la seva funció i com es relacionen entre ells. A més, s'especificarà la llista de materials usats per a la construcció. Aquesta secció pretén tractar els temes claus per entendre posteriorment altres aspectes com els esquemes elèctrics o bé la programació de l'autòmat.

6.1. El Hardware: Recaptació de dades i actuació amb el medi

El disseny d'aquest primer prototip ha de ser senzill i eficaç, ha de servir com a primer contacte amb l'entorn de treball per poder fer proves i ajustar els paràmetres necessaris per funcionar correctament. Cal posar a prova el programa informàtic i per fer-ho correctament es necessita disposar d'un model assequible. Per simplificar el sistema a partir de la idea inicial ha calgut trencar en alguna ocasió amb la solució típica. A continuació es mostra el resultat d'aquest batibull d'idees, pretenen establir cert ordre però entenent que totes les idees interessants han anat apareixent de forma caòtica.

6.1.1. Mòduls del *Plantbot*

El *Plantbot* consta principalment de dues parts, on hi tenen cabuda els sis mòduls que conformen el sistema.

La **part superior** és la zona de control, on es troba l'electrònica, part del mòdul de reg i adobatge, el mòdul d'il·luminació, el mòdul tèrmic i el de ventilació.

La **part inferior** és la zona de cultiu, on es controlen les condicions ambientals en funció dels interessos de l'usuari. En aquesta zona es pot trobar part del mòdul de reg i adobatge, el mòdul d'humidificació i el mòdul de captació de dades.

A continuació es mostra un croquis de la planta de la distribució dels mòduls i de l'interior de la cambra de cultiu.

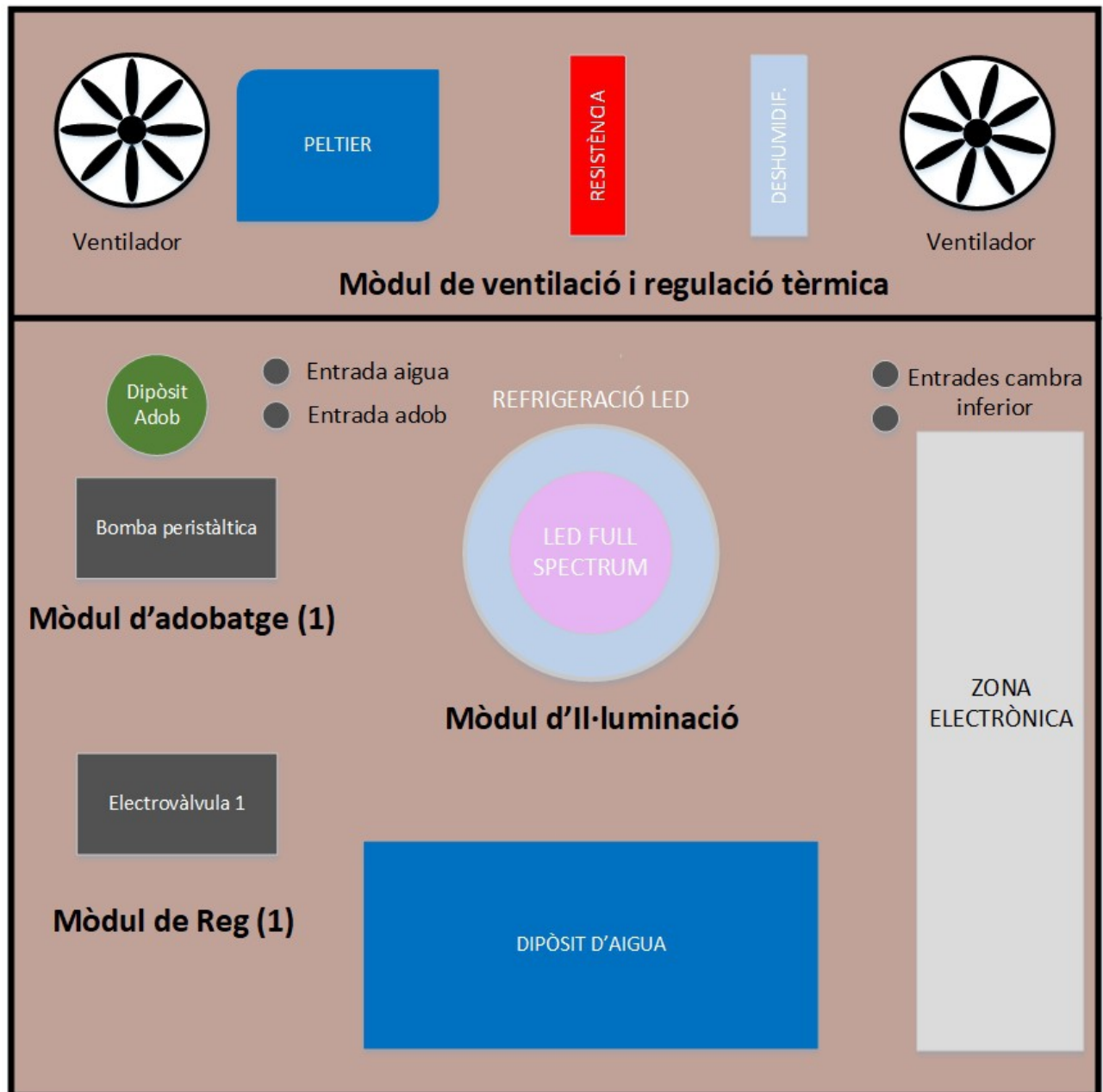


Figura 6.1.1.1. Esquema conceptual de la planta de la part superior del PlantBot. Elaboració pròpia.

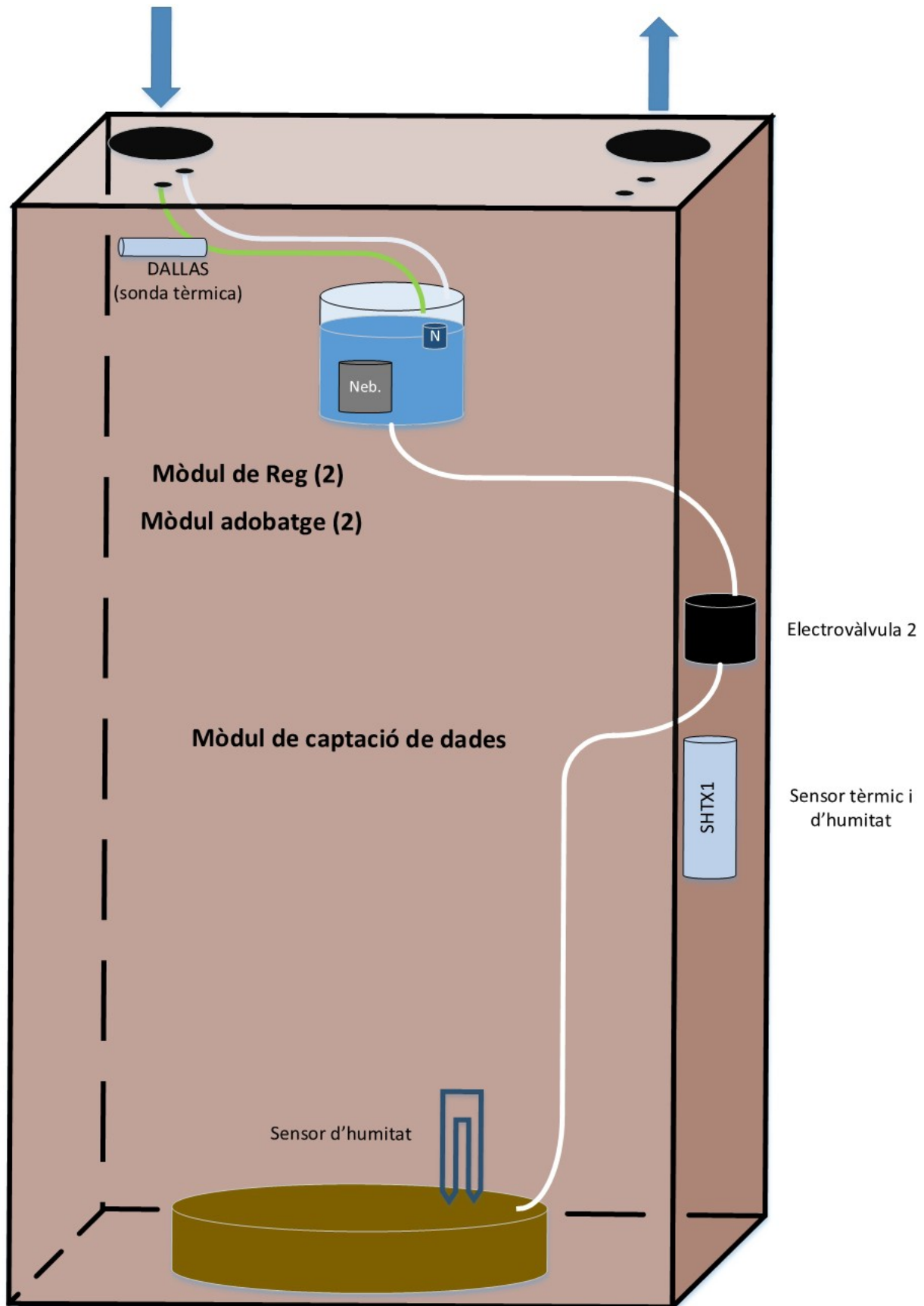


Figura 6.1.1.2. Esquema de la cambra de cultiu. Elaboració pròpia.

6.1.2. Mòdul de ventilació

La funció d'aquest mòdul és renovar l'aire interior de la cambra per mantindre una mescla de gasos adequada i poder moure l'aire quan sigui necessari. Consta de dos ventiladors per crear una conducció d'aire recirculada a l'interior de la cambra de cultiu.

Material del mòdul: 2 ventiladors

6.1.3. Mòdul de reg i adobatge

La funció d'aquest mòdul és subministrar aigua i nutrients a l'ecosistema. Consta d'un dipòsit de 1,5 litres per emmagatzemar l'aigua de reg, un altre de 0,2 litres on es barreja l'adob i es vaporitza l'aigua amb l'ajuda d'un nebulitzador ultrasònic o bé es rega de forma convencional. Per poder dur a terme tot el procés cal disposar d'altres elements: dues electrovàlvules per fer de comportes de pas i un nivell per detectar la posició del fluid dins el dipòsit petit per automatitzar el procés.

El reg per vaporització d'aigua amb adob és interessant ja que les fulles tenen capacitat d'absorció de nutrients i es pot dur a terme un reg molt eficient i simular condicions de boira i alta humitat. També és possible regar de forma convencional ja que pot ser necessària l'aportació directa d'aigua a les arrels d'alguna espècie.

Pel que fa l'adobatge, s'usarà un recipient petit, de l'ordre de mig centilitre, on es localitzarà l'adob i una bomba peristàltica per poder introduir dosis acurades i poder-ho controlar. És necessari aïllar l'adob i introduir-lo abans de regar ja que és freqüent patir variacions de pH i degradació del compost un temps després de fer la barreja.

Material del mòdul: Dipòsit de 1,5 l , dipòsit de 20 cl, dipòsit de 10 cl, dues electrovàlvules, un nivell i un nebulitzador.

6.1.4. Mòdul de regulació tèrmica

La funció d'aquest mòdul és regular la temperatura de l'aire dins la cambra i assimilar-la a la desitjada. Per fer-ho, s'usa un sistema d'escalfament resistiu i un sistema de refrigeració usant una cel·la *Peltier* per extreure calor de l'interior i alliberar-la a l'exterior. També calen dos ventiladors per amplificar la convecció amb l'aire i facilitar el procés, un a l'interior, on la *Peltier* extreu calor, i l'altre a l'exterior on s'allibera aquesta calor extreta. Com que la *Peltier* es troba dins la cambra de ventilació, s'aprofiten els dos ventiladors del mòdul per solucionar la part de convecció a la zona d'extracció de calor.

La idea inicial és aplicar un control PWM (pulse-width modulation) a la regulació tèrmica aprofitant la llibreria que disposa Arduino per aportar fiabilitat al control tèrmic. En cas de no poder-ho realitzar, s'optarà per un control PWM 'manual' que caldrà crear i posar-lo a prova.

Material del mòdul: Resistència tèrmica de 5 Ω (Ohms) i mòdul de refrigeració *Peltier* de 50 W (Watts) que consta d'una cel·la *Peltier*, aletes de dissipació tèrmiques i un ventilador per forçar la convecció.

6.1.5. Mòdul d'il·luminació

La funció d'aquest mòdul és aportar llum de qualitat a l'ecosistema per garantir que es pot dur a terme la fotosíntesi de forma adequada, que implica disposar de certa intensitat lumínica i espectre ampli de freqüències per simular la llum solar. Per aconseguir-ho s'usarà 1 LED Full Spectrum de 30 W, ideal per aquesta feina.

Es controlarà l'encesa i apagada de la sistema d'il·luminació des de l'*Industrino*, amb l'ajuda d'una classe que actua com a temporitzador.

Material del mòdul: Un LED Full Spectrum 30 W, aletes de dissipació tèrmica i un ventilador.

6.1.6. Mòdul d'alimentació elèctrica

La funció d'aquest mòdul és convertir l'energia elèctrica de la xarxa alterna en la forma desitjada. Part de la conversió necessària la efectua l'*Industrino*, que pot generar tensions sortida que oscil·len entre 0 V DC (corrent discontinuu) i 28 V DC lligats a la tensió d'alimentació del controlador, però té una limitació important: La intensitat màxima que pot consumir en total el PLC són 6 A (Ampers), amb una corrent màxima per pin de 2,6 A. La cel·la *Peltier*, per exemple, ja consumeix 6 A, i això implica que no es pot dur a terme tot el control de potència usant directament l'*Industrino* i cal aïllar part de la potència introduint relés. D'altres components, com els LED Full Spectrum treballen a 220 V AC (corrent altern) i tampoc es poden controlar directament amb el PLC.

Per donar solució a aquests aspectes, s'ha decidit definir aquest mòdul format per les proteccions elèctriques necessàries, conversos i inversors, intercalant relés allà on es desitgi controlar el pas del corrent.

6.1.7. Mòdul de captació: sensors

La funció d'aquest mòdul és captar les dades ambientals dins la cambra per poder reproduir l'entorn desitjat o saber més sobre l'estat d'altres variables que poden ser interessants de controlar en un futur. Els sensors usats seran els següents:

- Sensors tèrmics: S'usarà un sensor tèrmic que es localitzarà a la sortida d'aire de la cambra tèrmica per tenir noció d'aquesta informació i poder-la avaluar.
- Sensors d'humitat: S'usarà un sensor d'humitat resistiu per mesurar la humitat del sòl.
- Sensor combinat: S'usarà un sensor que facilita dades sobre la temperatura i la humitat de l'aire de la cambra.

Material del mòdul: Sensor tèrmic, sensor d'humitat resistiu i sensor combinat (tèrmic i d'humitat de l'aire).

6.2. El Software: Programació

Com que es tracta d'un híbrid entre PLC i Arduino, es pot programar tant en Ladder (programació en escala) com en C++ i usar les llibreries d'Arduino modificant la crida d'algun paràmetre ocasionalment. A més, es tracta d'un dispositiu de codi obert que facilita molt l'accés a informació i llibreries de qualitat creada pels usuaris. Aporta una gran versatilitat i disposa de prestacions millorades respecte un Arduino convencional, com la memòria, la freqüència de treball i l'aïllament dels diversos ports que disposa. A continuació s'exposen esquemàticament les diverses etapes que s'han anat seguint per poder arribar a un programa òptim que satisfés els objectius proposats.

0. Disposar d'una bona descripció del Hardware a usar i la funcionalitat del viver.
1. Disseny del diagrama d'entrades i sortides totals del sistema.
2. Tria del controlador a usar, amb capacitat per satisfer 0. i 1.
3. Diagrama d'estats factibles del sistema, l'esquelet del programa.
4. El programa I: Llibreries, classes i funcions a usar.
5. El programa II: Codi general

La part que resta de capítol està destinada a entrar en detall en els punts esmentats anteriorment. S'expliquen els punts més rellevants que permeten definir el Software del prototip.

Al capítol 8.2.2. *Alternatives de disseny* es poden trobar les alternatives que s'han anat tenint en compte fins arribar al resultat final.

6.2.1. Diagrama d'entrades i sortides general

S'ha decidit desenvolupar un diagrama simple d'entrades i sortides generals que sigui ràpid d'analitzar per entendre amb quins aparells es relaciona l'*Industrino* i com cal desenvolupar aquesta relació de forma particular, en funció de cada consum o tensió de treball. Aquells aparells que sobrepassen els límits de l'*Industrino* s'aïllen del control incorporant un relé que subministra l'energia de la forma desitjada, usant transformadors i convertidors si s'escau.

ESQUEMA GENERAL D'ENTRADES I SORTIDES

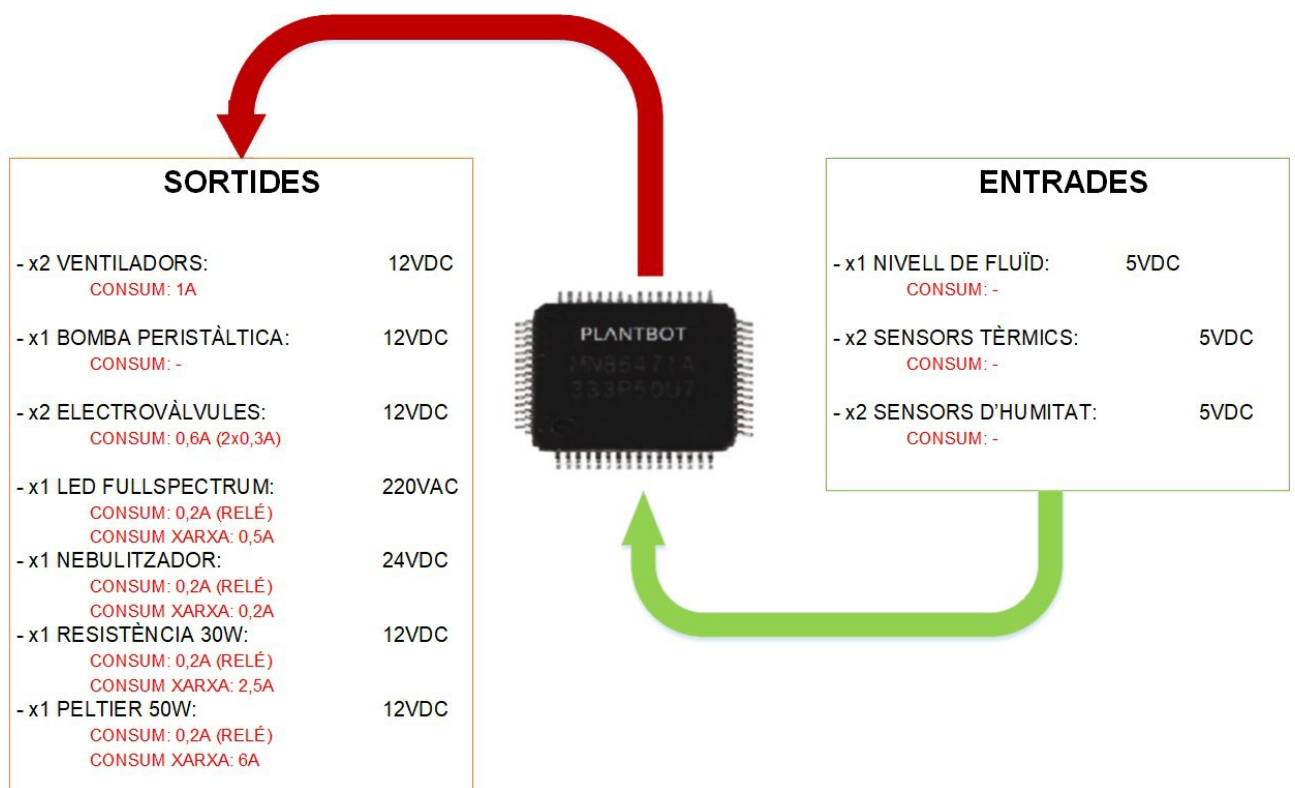


Figura 6.2.1.1. Diagrama d'entrades i sortides generals. Elaboració pròpia.

En aquest cas, ha sigut necessari aïllar la resistència tèrmica, la *Peltier*, el LED i el nebulitzador. A l'esquema es pot apreciar aquest fet observant el consum elevat d'aquests aparells i la seva tensió de treball. Tot dispositiu que presenti una intensitat superior als 2 A o bé una tensió de treball diferent a 12 V serà aïllat.

6.2.2. El controlador

Tot i que es tracta d'un aparell físic, s'ha decidit incloure aquest punt dins la secció de Software ja que es considera més interessant. És la part fonamental que permet relacionar aquests dos grans camps i fer possible el control i l'automatització del sistema.

El controlador principal triat és l'*Industrino*, l'equivalent d'un PLC compatible amb Arduino. És un model industrial amb pins aïllats i proteccions internes, fet que dona seguretat i fiabilitat de dades ja que protegeix de les anomalies i interferències provinents del medi o la xarxa.

Disposa de 8 ports digitals compartits per entrades i sortides, de 6,5 – 32 VDC, 4 entrades i 2 sortides analògiques, de 0-20 mA o bé de 0-10 V en funció del tipus de senyal que faciliti l'aparell de mesura. També disposa d'altres ports com RS485 que resulta útil, però la part més interessant per al projecte es troba al port d'expansió que es troba aïllat de la secció digital i analògica per evitar interferències. Aquest port suporta el protocol I2C, entre d'altres, fet que permet dur a terme una transmissió d'informació usant aquest protocol entre els sensors i el controlador, deixant lliures d'altres pins per dur a terme la maniobra. Finalment, porta incorporada una pantalla LCD amb tres botons. A continuació es mostra el Pinout de l'*Industrino*.

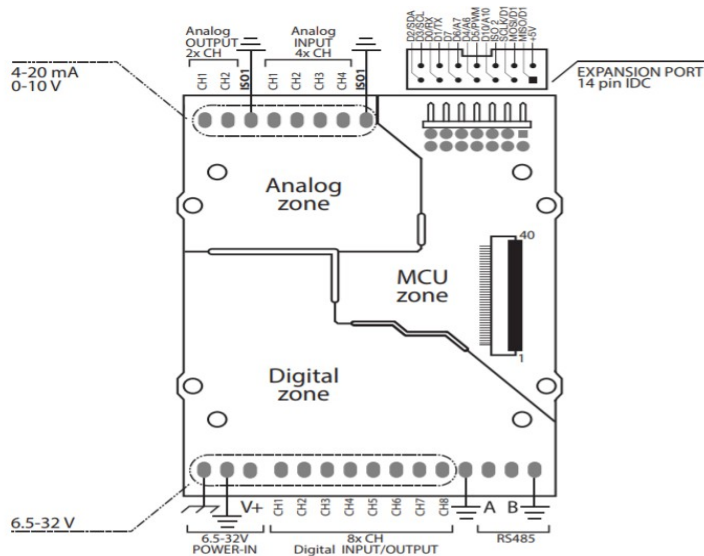


Figura 6.2.2.1. Pinout del controlador Industrino. (2016). *Industrino IND.I/O D21G*. [Figura]. Recuperat de: <https://industrino.com/shop/product/industrino-ind-i-o-d21g-2?category=2>

6.2.3. Diagrama d'estats

El diagrama d'estats és una eina necessària per garantir cert ordre i fiabilitat al programa, és l'esquelet que ha de donar forma al conjunt d'accions, funcions i captació de dades. Realitzar un diagrama d'estats clar i concís permet desenvolupar una programació més òptima.

DIAGRAMA D'ESTATS FACTIBLES

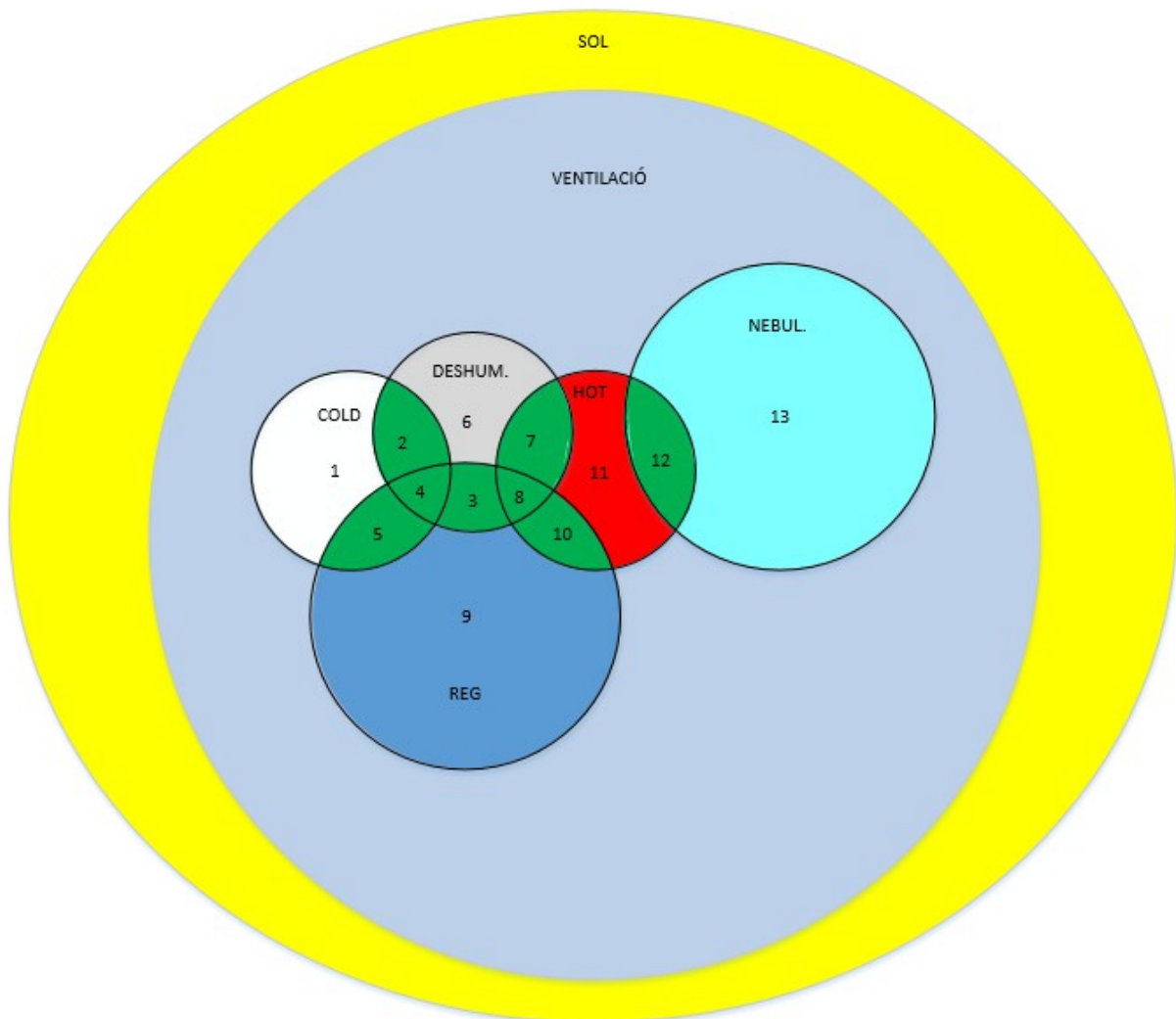


Figura 6.2.3.1. Diagrama d'estats Factibles. Elaboració pròpia.

Els 6 mòduls descrits a l'apartat 6.1.1. tenen la capacitat de dur a terme alguna de les accions de control bàsiques, que són: Reg convencional (REG), Nebulització (NEBUL.), Refredament de l'ambient (COLD), Deshumidificació (DESHUM.), Escalfament (HOT), Ventilació i il·luminació (SOL).

Cal apuntar que la Nebulització té dues funcions associades: per una banda pot servir com a sistema de reg no-convencional/estètic, i principalment desenvolupa la funció d'humidificador

de l'ambient.

Ara que s'han introduït les accions de control, és hora de definir la relació que hi ha entre elles i la seva compatibilitat. Una forma de definir aquesta relació és a través d'un diagrama d'estats de cercles. A continuació s'explica la metodologia seguida i els resultats obtinguts.

Primer de tot cal definir un cercle per a cada acció de control. Posteriorment es defineixen les relacions i prioritats existents entre elles i es genera el diagrama seguint el següent criteri:

1. Aquelles accions que es poden dur sempre a terme són les de dimensió superior, que inclouen tota la resta de relacions dins el seu domini. En aquest cas, les dues accions que es poden dur sempre a terme de forma independent són la Ventilació i l'aportació de Llum, sent aquesta última més gran per triar algun criteri.
2. Un cop es disposa de les accions independents, es defineixen la resta de relacions a l'interior. Si dos o més cercles es sobreposen (regió verda) vol dir que les dues accions es poden realitzar alhora. Si no es toquen, no es poden desenvolupar alhora i en cas de ser necessari caldrà definir una prioritat de realització.
3. Aquest pas consisteix en la definició de tots els estats factibles que pot assolir el sistema. Aquest diagrama facilita molt aquesta tasca, ja que existeixen tants estats com regions tancades degut al solapament, ampliant el conjunt amb els estats independents que actuen de forma potencial. En aquest cas existeixen 13 estats factibles que compleixen els requisits de funcionament sense contemplar els estats independents.
4. L'últim pas consisteix en solucionar els conflictes de prioritats que sorgeixen quan el sistema vol aplicar dos accions de control no compatibles al mateix instant. Per exemple, és possible arribar a un punt on el sistema demani alhora humidificar l'ambient i reduir la temperatura. Cal definir doncs quina acció presenta més jerarquia per realitzar-se primer. Aquesta decisió es troba poc definida, i cal usar una mica la lògica per trobar la millor solució. Seguint amb l'exemple, aquest cas de jerarquia s'ha resolt donant més urgència a refredar, ja que com a conseqüència d'aquest fenomen l'aire perd capacitat de retenció d'aigua i la humitat augmenta. Realitzar les dues accions alhora incrementaria molt la velocitat de modificació de la humitat i seria difícil de realitzar un control òptim.

Les restriccions i relacions que han generat el diagrama de cercles del projecte seguint la metodologia usada, de forma resumida, són:

- **Estats independents:** La ventilació i la il·luminació són estats que no depenen de cap condició més enllà del seu propi funcionament.
- **Restriccions trivials:** Si s'escalfa no es pot refredar i a la inversa. Si es deshumidifica no es pot nebulitzar i a la inversa.
- **Limitacions físiques:** Regar i nebulitzar alhora suposa un augment d'humitat excessivament ràpid i difícil de controlar. S'ha optat per fer aquests dos processos incompatibles.
- **Prioritats entre estats incompatibles:** És possible que el sistema evolucioni fins al punt de que sigui necessari refredar i humidificar alhora. Donada aquesta situació, per evitar una variació excessivament ràpida de la humitat a l'aire s'ha decidit donar més prioritat al refredament, que limitarà la quantitat d'aigua que pot acumular l'aire abans de saturar-se, incrementant la humitat relativa. Si es fa així, s'evitarà el control desmesurat i la possible saturació de l'aire. Si s'escau, un cop s'acabi de refredar l'ambient, es procedirà a nebulitzar per assolir la humitat desitjada.

6.2.4. Llibreries i classes de funcions

Un cop s'ha definit el diagrama d'estats, que representa la idea general del programa, i es té noció dels elements que cal usar, és hora de triar les llibreries de treball necessàries per comunicar-se amb els sensors triats, el propi controlador... i crear tot allò que es consideri oportú per optimitzar el codi.

Les llibreries creades tenen el conveni de terminació `_H` per definir que es tracta d'una llibreria i permetre una millor estructuració interna del codi. També es verifica que no existeixi cap altra classe definida amb el mateix nom a l'inici de la creació. A continuació es mostra un exemple real aplicat d'aquestes idees.

```
////////////////////////////////////
```

```
#ifndef SWITCHER_H
```

```
#define SWITCHER_H
```

```
////////////////////////////////////
```

Dins les llibreries és normal trobar-se crides a altres llibreries i definicions o crides a classes de funcions. Tenint això en compte, cal definir la privacitat dels membres que formen la classe per evitar conflictes.

Els membres de classe poden ser públics o privats. Els públics són accessibles i modificables des de el programa general. Els privats en canvi, només poden ser modificats per la pròpia llibreria. La informació es troba fora de l'abast de la memòria destinada a la execució del programa general i no pot manipular-la directament.

Ara que s'ha vist la idea per sobre, és hora de definir les llibreries pròpies creades i les llibreries usades no pròpies i comentar una mica la seva utilitat.

Llibreries pròpies

- **Switch_lib**: Crida llibreries standard de la placa com 'Arduino.h' i 'Wire.h'. Inclou 5 funcions, contingudes dins la classe **Switcher**.

Update(long on; long off): Funciona amb unitats de treball d'hores. Commuta el pin especificat en funció dels paràmetres long on i long off. Està destinat principalment al control de la il·luminació

Start(): Digital high al pin definit.

Pwm(Long on, Long off): Aplica control On-Off commutat al llarg del temps per modificar el valor mig que aporta una sortida digital, per exemple, en termes de potència subministrada. Està pensat per controlar la resistència i aconseguir estabilitzar millor la temperatura interna.

Stop() : Digital LOW al pin definit.

Timer(Long on) : Digital HIGH durant el temps definit, long on.

Totes aquestes funcions són de caràcter public. Els membres que s'han definit com a privats de la classe són les definicions dels pins, per evitar que es puguin reanomenar i canviar en un altra banda, i el temps anterior de consulta dels valors, que no interessa que muti ja que és essencial pel funcionament de les funcions definides.

Libreries genèriques o d'altres usuaris

- **Indio:** És la llibreria principal del controlador *Industrino*. És necessària per al funcionament general.
- **OneWire** i **DallasTemperature:** Són les llibreries encarregades del protocol de comunicació i la interpretació de les dades facilitades per la sonda de temperatura individual respectivament.
- **SHT1X:** És la llibreria encarregada del protocol de comunicació i la interpretació de les dades facilitades pel sensor de temperatura/humitat.
- **UC1701:** És la llibreria encarregada del protocol de comunicació i la interpretació de les dades facilitades pel sensor d'humitat de terra.

6.2.5. Programa general

En aquest apartat es defineix la estructuració del programa general, així com el criteri seguit per la seva generació. S'ha considerat oportú seguir la mateixa estructura d'explicació que de generació ja que aquesta manté un ordre lògic i cronològic que ajuda a la seva interpretació.

El programa principal consta de diverses parts, diferenciades entre sí amb l'ajut d'un comentari de text que serveix d'introducció del contingut que precedeix. Cal destacar que moltes de les anotacions i comentaris es troben escrits en anglès ja que el programa pretén ser codi obert, i d'aquesta manera el pot interpretar molta més gent. A continuació s'explica la funcionalitat de cadascuna de les parts que defineixen el programa.

- **LIBRERIAS INDUSTRIINO**

En aquest apartat es declaren i s'inclouen les llibreries que usa el programa per ser funcional. Les llibreries usades ja s'han explicat prèviament. A més, es defineixen variables temporals com ONESEC (un segon), TENSEC (deu segons)... que expressen aquesta durada temporal en la base temporal d'*Arduino*: els millis.

- **MENU DEFINES**

En aquest apartat es declaren totes les variables necessàries per crear el menú visual de la pantalla de l'*Industrino*. Es comença per definir els valors inicials dels cursors,

- **PIN DEFINITION**

En aquest apartat es defineixen els pins del mòdul d'extensió (són els pins D) i els botons de la pantalla de l'*Industrino*. S'associa un valor enter constant a cadascú per cridar-los d'aquesta forma quan sigui necessari.

- **DIGITAL CHANNELS**

En aquest apartat es defineixen els pins digitals i se'ls associa també una constant entera per la crida futura.

- **ANALOG CHANNELS**

En aquest apartat es defineixen els pins analògics i se'ls associa també una constant entera per la crida futura.

- **CLASS DEFINITIONS**

En aquest apartat es defineixen les actuacions de les diverses classes als pins desitjats. Per exemple, a cada canal digital, CH1, CH2... CH8 se li associa la classe SWITCHER que permetrà la seva commutació quan sigui necessari.

També s'aplica el mateix per la resta de llibreries, com Dallas Temperature, OneWire, UC1701 i SHT1X en els pins corresponents.

- **PLANTBOT CONFIG DEFAULT PARAMETERS**

Aquest apartat conté les definicions dels paràmetres de funcionament per defecte, com la durada del dia, la temperatura diürna i nocturna, el rang admissible d'humitat...

- **PLANTBOT SENSORS PARAMETERS**

Aquest apartat conté les declaracions de les variables que s'usaran per enregistrar els estats que es mesurin i els valors consigna assolir.

- **END OF PLANTBOT PRE-SETUP**

En aquest punt, s'han declarat les variables que s'usaran, s'han declarat les llibreries i funcions a usar i s'ha fet la denominació dels pins. És hora del Setup().

- **Void Setup() {**

En aquest apartat es defineix la funció de cada pin de l'*Industrino*. Es defineix quins pins digitals són sortides i quins entrades, a partir de la funció *Indio.digitalWrite(_pin , _funció)*.

També es defineixen els comportaments dels pins d'expansió D, a partir de la funció *pinMode(_pin , _funció)*. (Nota: *_funció* pot prendre com a valor OUTPUT o INPUT).

Per altra banda, s'indica la forma de la senyal a emetre / captar pels ports analògics a partir de la funció *Indio.analogWriteMode(_pin , _senyal)* i *Indio.AnalogWrite(_pin , _valor) / Indio.analogReadMode (_pin , _senyal)*. S'ha cregut convenient definir una resolució de 12 bits per dur a terme la part analògica a partir de la funció *Indio.setADCResolution(12)*.

Finalment, s'inicia la pantalla de l'*Industrino* i es dona pas al menú d'inici, que permet definir els paràmetres de control del sistema i posteriorment procedir a la seva execució.

}

- **Void Loop() {**

Aquest apartat representa el programa principal que s'executa de forma cíclica, com deixa entreveure el seu nom, a diferència del Setup() que s'executa una única vegada després de cada iniciació del codi. És la part del programa encarregada del control, la lectura de dades i l'actuació sobre el sistema.

El sistema a controlar evoluciona de forma lenta. Tant el control tèrmic, com d'humitat i la variació lumínica varien lentament, per tant, no cal fer actualitzacions d'estats al mateix ritme d'execució del Loop. Cal prendre mesures i dur a terme actuacions cada certs intervals de temps, amb durades adaptades a les necessitats particulars. Es per aquest motiu que el Loop es troba dividit en 3 intervals de temps diferents.

- **3 segons:** Aquest interval de temps actualitza els valors dels sensors, fa un refresc de la imatge de la pantalla i activa o desactiva els actuadors en funció de l'estat en que es troba el sistema. S'ha comprovat que aquest temps és prou petit com per garantir que el sistema evoluciona més lentament que el període de mostreig, fent viable l'aplicació del control discret que s'està realitzant.

- **10 segons:** Aquest interval de temps actualitza els estats possibles del sistema, definits pel vector sensors. És un vector de tres posicions, [*Tèrmic, Reg, Humitat*].

Tèrmic pot prendre com a valors: 0 si no s'actua, 1 si s'ha d'escalfar i 2 si s'ha de refredar.

Reg pot prendre com a valors: 0 si no s'actua, 1 si cal regar

Humitat pot prendre com a valors: 0 si no s'actua, 1 si cal deshumidificar i 2 si cal humidificar.

S'ha decidit modificar els estats cada 10 segons per evitar que es produeixin commutacions molt ràpides i successives entre dos estats, fet fatal per als relés.

- **5 minuts:**¹ Aquest interval de temps actualitza l'estat del mòdul d'il·luminació. Com que les unitats naturals de treball són les hores, no cal estar cada pocs segons revisant si cal apagar o no el LED. S'assumeix l'error màxim a cometre, que es donaria si només es volgués una hora de llum al dia, i seria d'aproximadament 8%, que vol dir que el dia presenta 5 minuts més de llum de la planificada.

}

6.2.6. El control dels paràmetres

La finalitat del *Plantbot* és aconseguir que les variables d'interès a la cambra de cultiu, com la temperatura de l'aire o la humitat de l'aire i del sòl, prenguin el mateix valor que el valor desitjat per l'usuari, la consigna.

Com que les variables d'interès en aquest cas són variables atmosfèriques, si no s'actua, aquestes es modificaran seguint la tendència de l'ambient exterior, ja que el sistema del *Plantbot* no és ni adiabàtic, ni aïllat (existeix fluctuació de matèria amb l'exterior). A més, a l'interior hi viuen organismes que modifiquen també aquestes variables.

Cal, per tant, un sistema de control en llaç tancat per mesurar la discrepància (l'error) existent entre la consigna i el valor mesurat a la sortida per actuar posteriorment en consonància. A continuació es mostra un esquema que reflecteix aquesta idea.

¹ A l'*Annex C, El programa general*, es pot trobar la part del programa referent a aquests apartats ressaltada en el color indicat en cada cas.

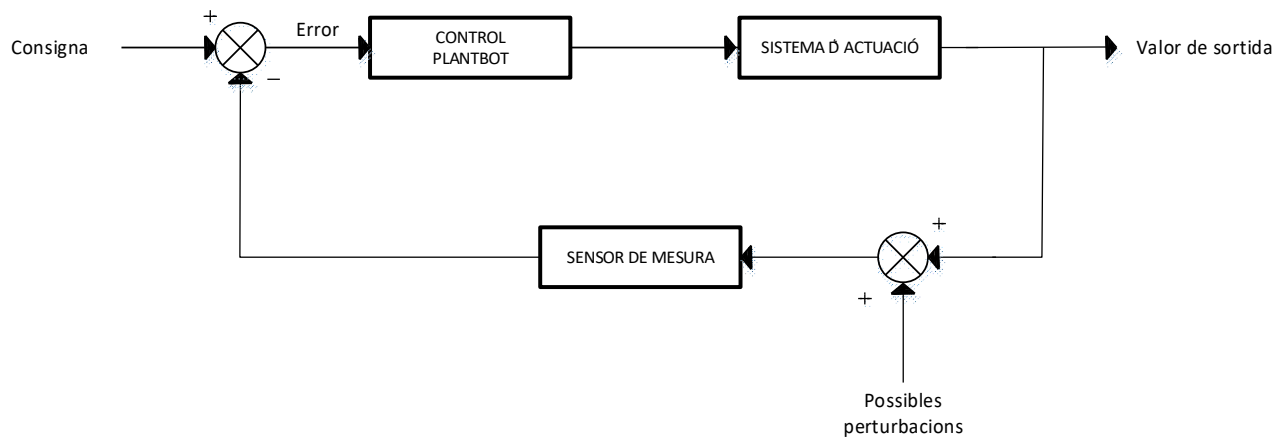


Figura 6.2.6.1. Esquema del sistema de control enllaç tancat del Plantbot. Elaboració pròpia.

Actualment, el control de les variables es realitza a partir de models 'tot o res' amb histèresi, adaptats a cada paràmetre que es desitja controlar. Si la variació que el sistema pot fer sobre un dels paràmetres és ràpida en comparació a la velocitat de reacció del sensor, el control 'tot o res' tindrà temps d'encesa curts i d'apagada llargs per aconseguir que el sistema evolucioni més lent i evitar sobrepassar excessivament el valor consigna. Contràriament, si el paràmetre evoluciona lentament, és necessari prolongar una mica més els temps d'encesa per garantir que el sistema els modifica més ràpid que l'entorn i es pot assolir la consigna. A continuació s'especifica el control realitzat de forma individual.

- **Control de la humidificació de l'aire de la cambra:** Control 'tot o res' amb cicles de 5 segons ON i 10 segons OFF, fins a arribar al valor consigna d'humitat mínima. Es torna a iniciar el cicle quan el valor de la humitat a la cambra és un 2% inferior al valor mínim definit.
- **Control de la humidificació del sòl:** Control 'tot o res' amb cicles de 2 segons ON i 20 segons OFF, fins a arribar al valor consigna d'humitat mínima del sòl. Es torna a iniciar el cicle quan el valor de la humitat a la cambra és un 2% inferior al valor mínim definit.
- **Control tèrmic:** Si la temperatura consigna es troba per sota dels 28 °C es realitza un control 'tot o res' on el temps ON i OFF varia a mesura que el sistema s'aproxima a la consigna. Concretament, 100% ON, 70% ON i finalment 50% ON. Si la consigna es troba per sobre, és necessari treballar sense commutar l'estat per vèncer les pèrdues amb l'exterior i modificar la temperatura de la cambra.

7. Plànols

7.1. Plànols constructius

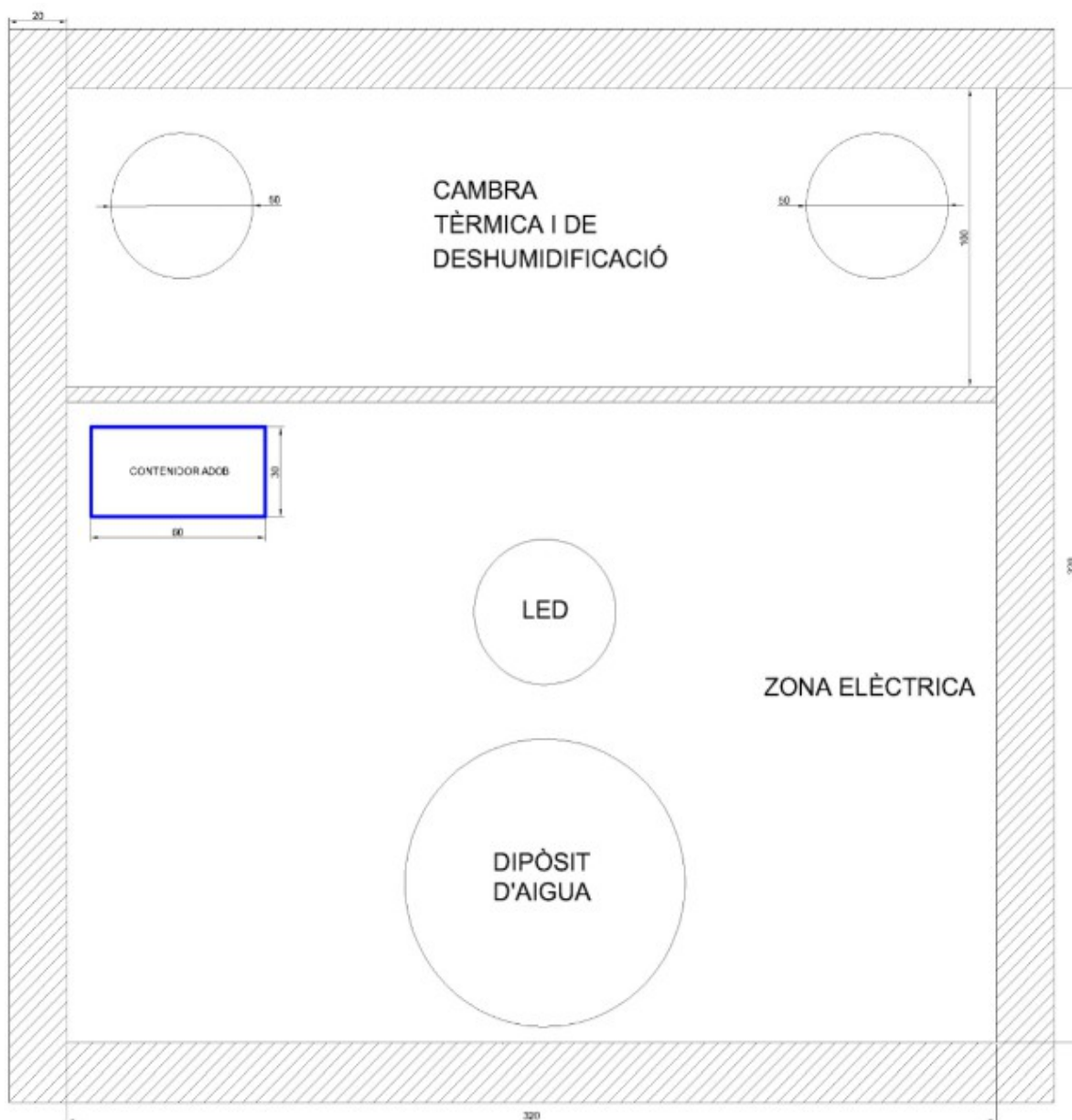


Figura 7.1.1. Vista de la planta de la distribució dels mòduls. Elaboració pròpia. Totes les cotes en mm.

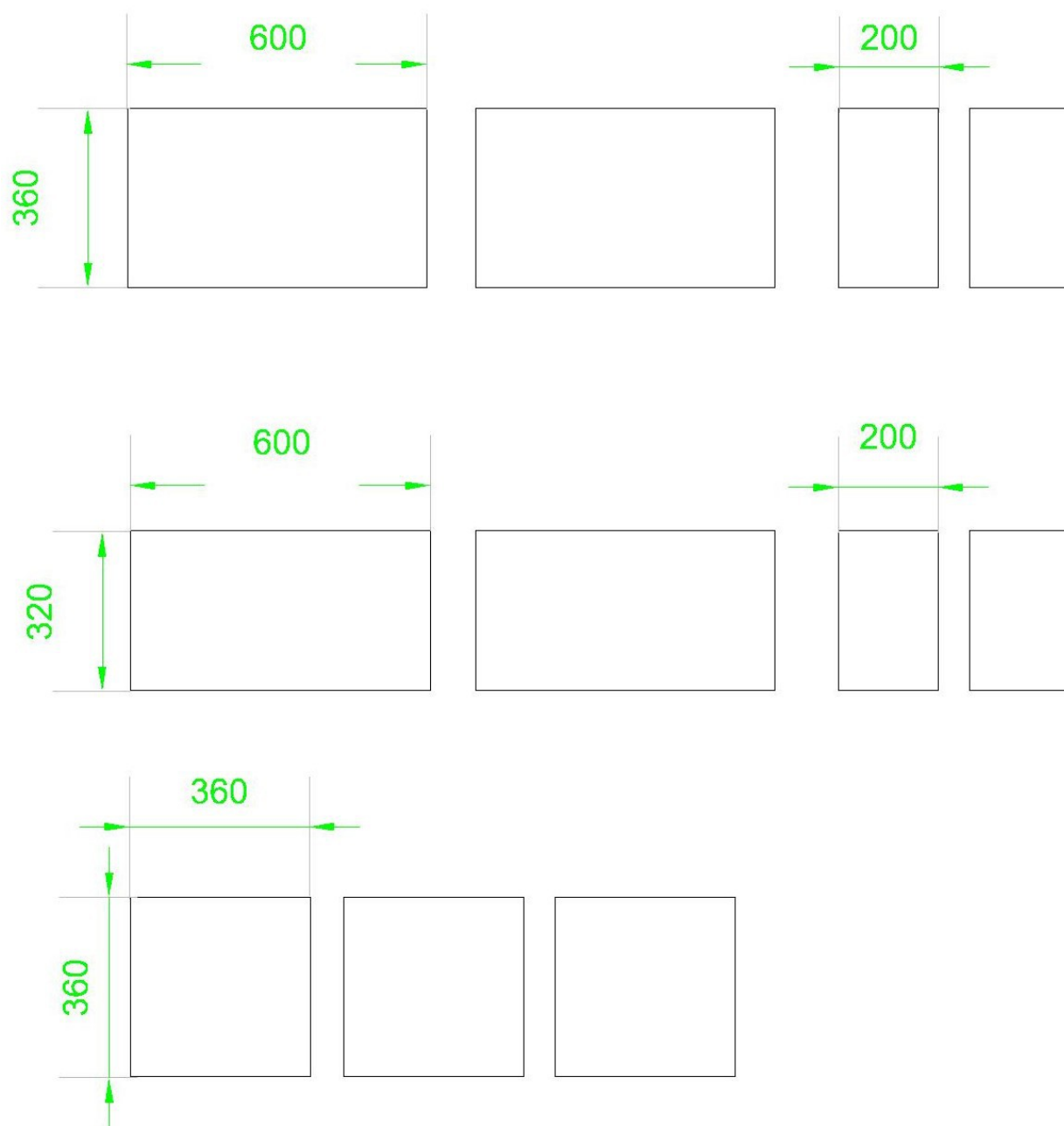
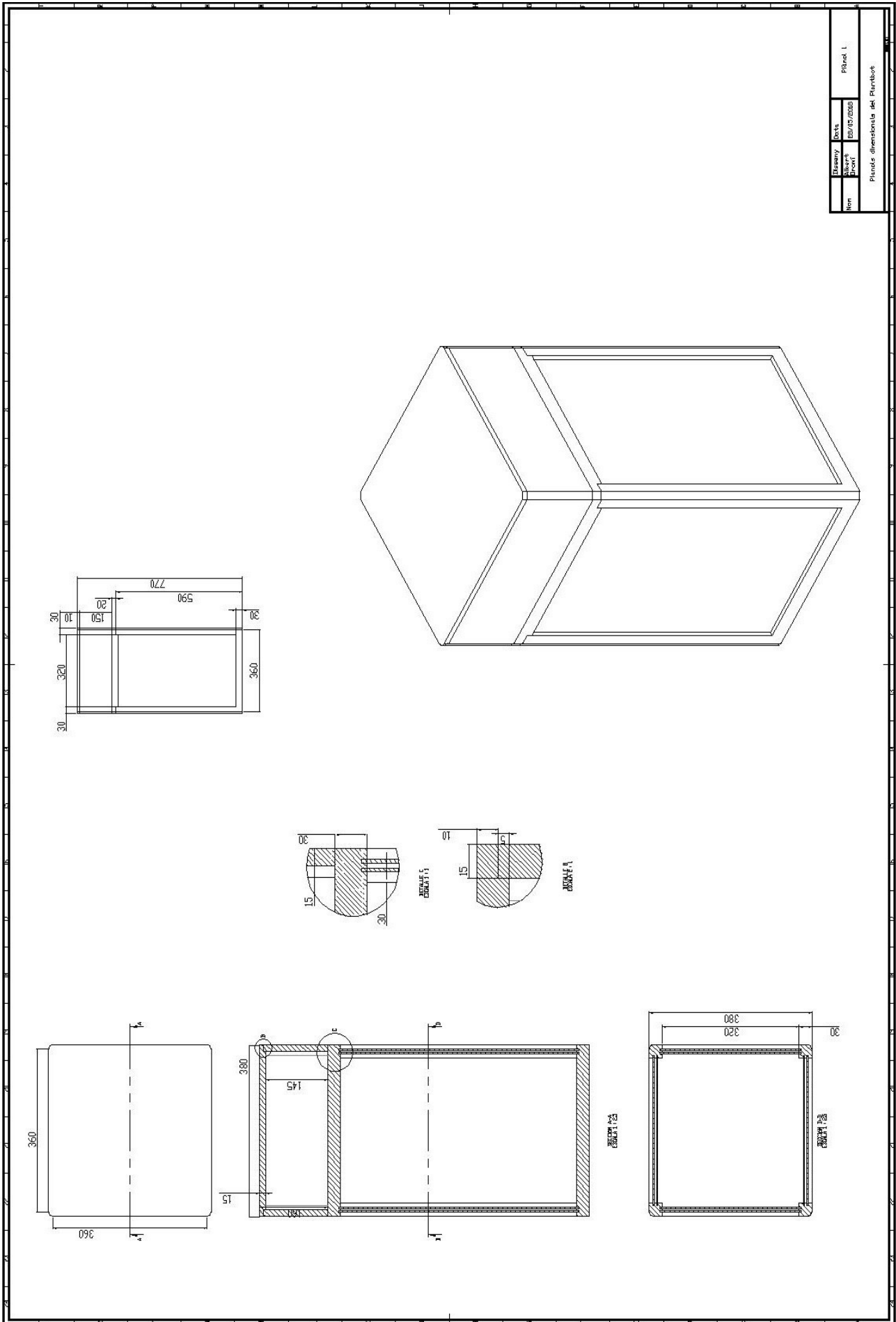
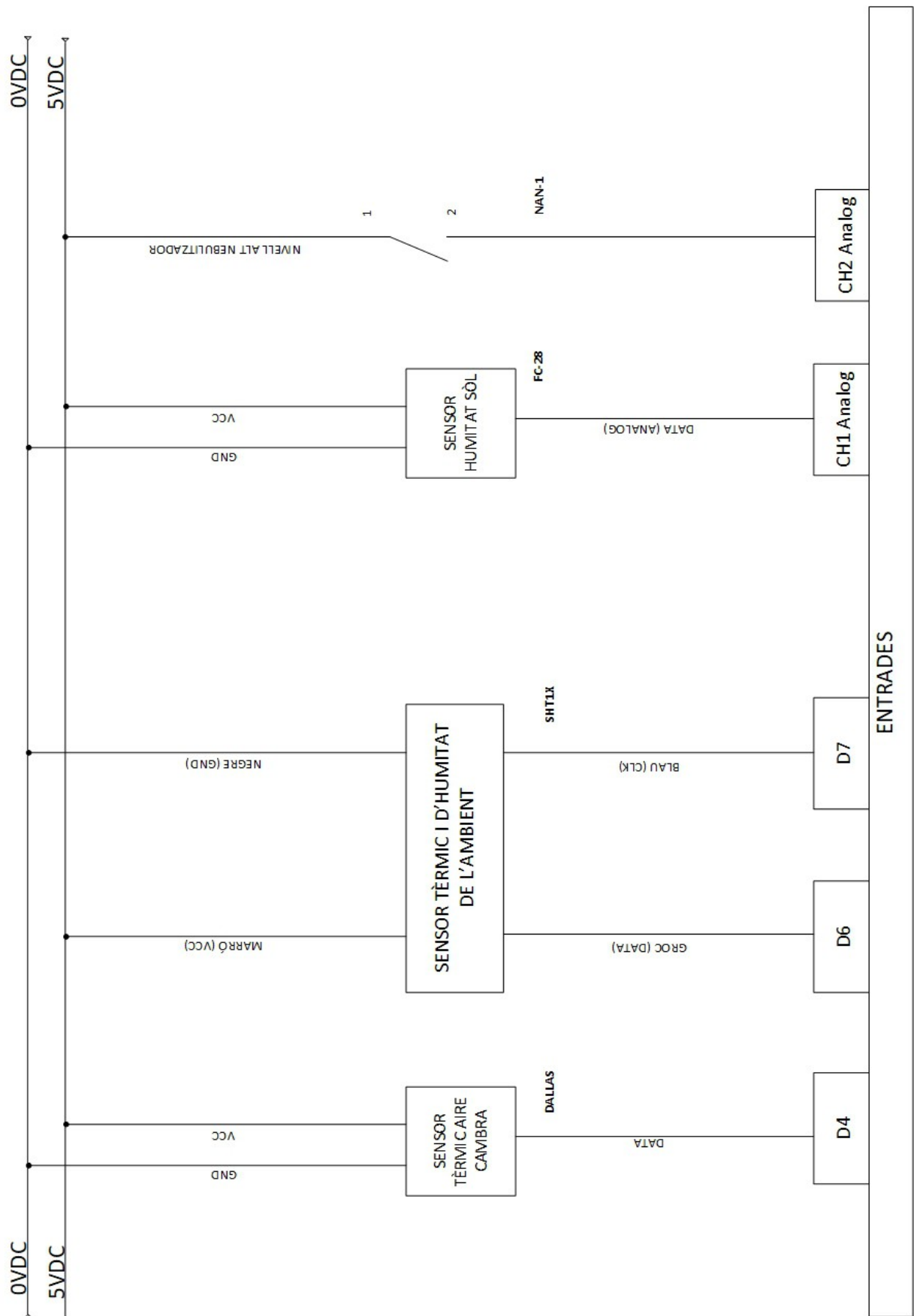


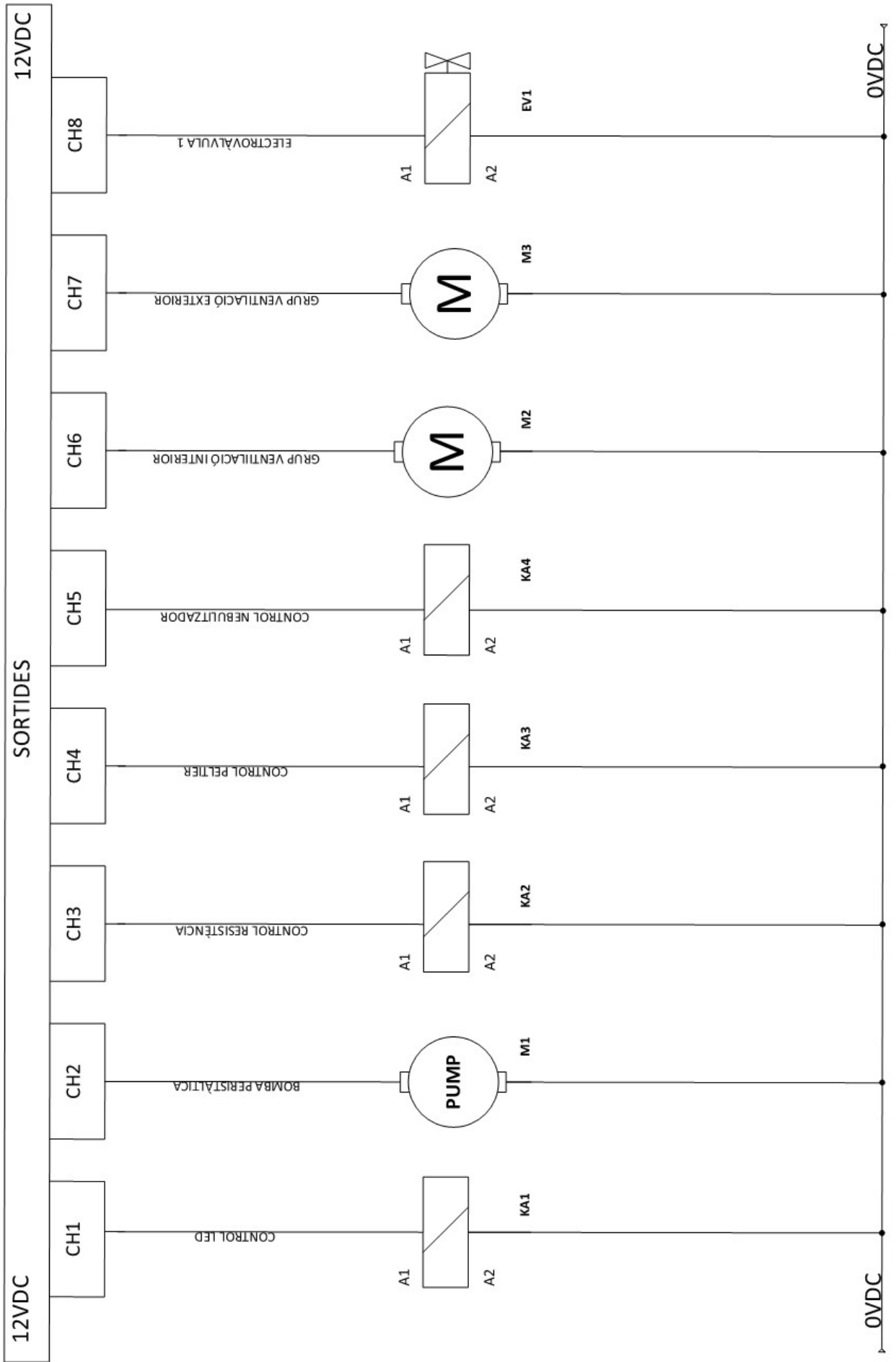
Figura 7.1.2. Especejament de totes les parts de l'esquelet del viver. Elaboració pròpia. Totes les cotes en mm.

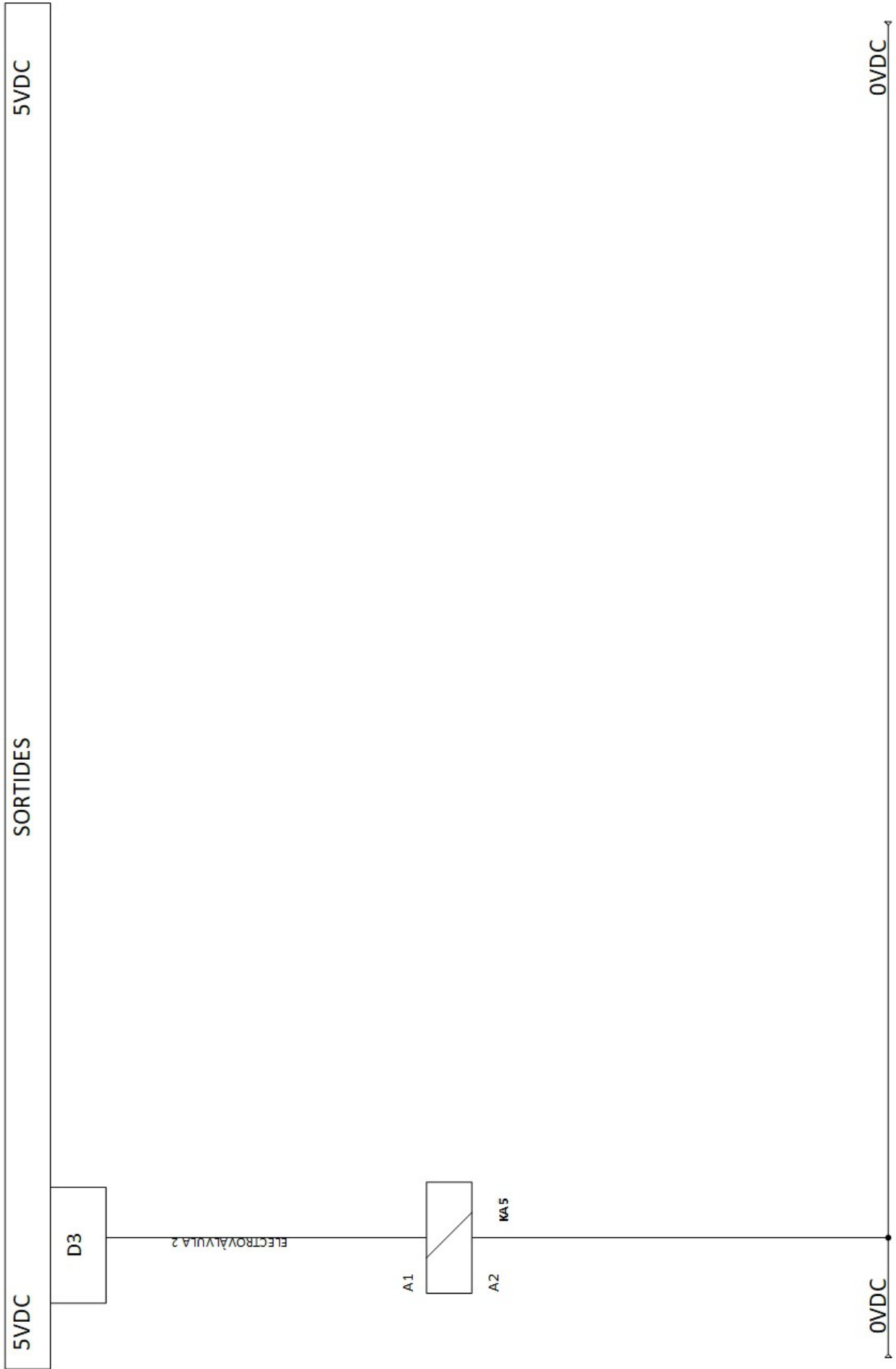


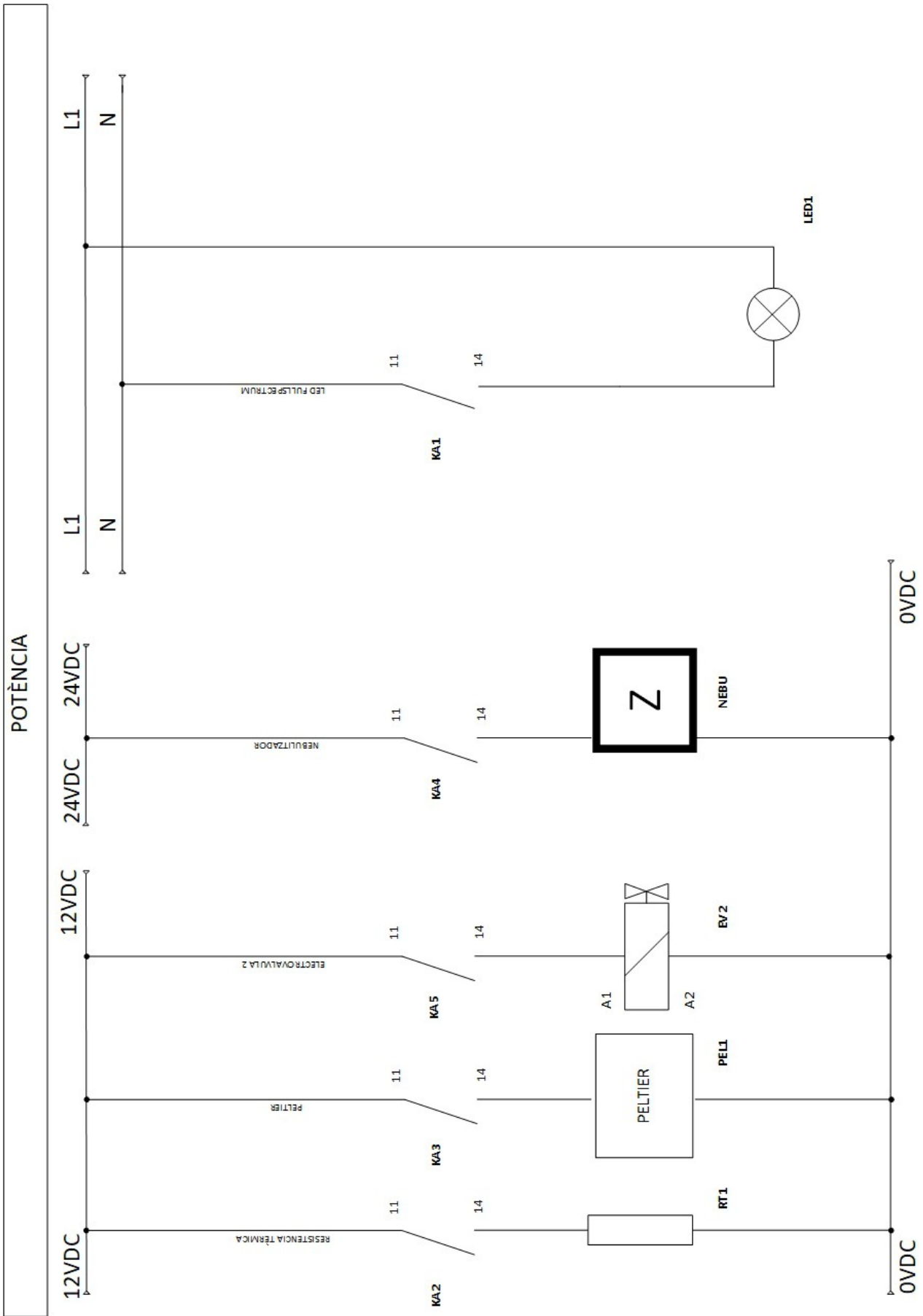
Plànol de dimensions del Planell 1	
Num:	
Disseny:	
Disseñat per:	
Data:	05/10/2008
Plànol de dimensions del Planell 1	

7.2. Esquemes elèctrics









8. Anàlisi de les alternatives de disseny

Al llarg del projecte ha estat necessari anar prenent decisions tant a nivell de hardware com de software per resoldre els objectius proposats. Aquestes, generalment, són exclusives i cal garantir que s'està triant el camí desitjat.

Aquest capítol pretén posar de manifest les decisions més importants, els canvis d'idees i les alternatives de disseny que han anat sorgint.

8.1. El hardware

El hardware ha anat patint modificacions al llarg de tot el projecte, la gran major part d'elles per simplificar la idea inicial. El disseny inicial de l'esquelet o bé la distribució dels components a l'interior del viver són clars exemples d'aquests canvis.

8.1.1. Decisions

- La primera decisió més importat que ha calgut prendre és **triar quin o quins controladors s'anaven a usar** per l'automatització del viver. Inicialment, la idea era treballar amb Arduino i si calia, incloure algun model de Raspberry Pi. Com que per assolir els objectius no era necessari disposar d'un processador potent, es va decidir no usar la Raspberry per aquest prototip.

Un cop s'havia descartat l'ús de Raspberry, calia triar quin model d'Arduino era el més adequat. Fent recerca sobre el tema es va trobar que existia un model d'Arduino encarat a la indústria: l'*Industrino*. El fet de tractar-se d'una hibridació entre un Arduino i un PLC aportava les característiques que es buscaven: Robustesa, durabilitat i precisió. A més, disposa d'un conjunt de ports addicionals per sensors que treballa a 5VDC.

Controlador	Arduino Leonardo	Rasberrri PI B+	Industrino
Tensió de treball	5 V (continua)	5 V (continua)	6,5 V a 32 V (continua)
Aïllament dels Pins	-	-	Serializador galvànicament aïllat

Entrades analògiques	12 de les 20 poden ser-ho	(*)	4 entrades analògiques
Entrades digitals	20 compartides amb sortides	(*)	8 compartides amb sortides, més port d'extensió, 8 més.
Sortides analògiques	-	(*)	2 sortides analògiques
Sortides digitals	20 compartides amb entrades, 7 amb capacitat de ser PWM	(*)	8 compartides amb entrades, més port d'extensió, 8 més.
Lògica programació	C++	C++	Ladder / C++

Taula 8.1.1.1. Taula comparativa dels tres controladors considerats. Elaboració pròpia.

(*) Degut a l'ús pel qual es planteja Raspberry PI, s'ha decidit no fer la comparativa d'entrades i sortides digitals per satisfer les necessitats d'aquest projecte.

- Seguidament, ha estat necessari **triar tots els components per realitzar el control desitjat**. Aquesta decisió ha estat la més prolongada al llarg del projecte. Com que s'han de controlar diversos actuadors i sensors, les tensions de treball poden ser molt diverses. Per abordar aquest problema, i entenent que les sortides digitals de l'*Industrino* es troben lligades a la tensió d'alimentació d'aquest, s'ha intentat aconseguir que tots els actuadors treballin a la mateixa tensió. A la pràctica però, no ha estat possible.

Inicialment es pretenia treballar a 24 V DC, però a mesura que s'han anat comendant els dispositius s'ha vist que era millor treballar a 12 V DC ja que existeix una major varietat de productes i facilita la seva adquisició en termes de temps i preu. El prototip final només disposa de dos actuadors que no treballen a 12 V DC: el nebulitzador (24 V DC) i el LED FullSpectrum (220 V AC). Es pot concloure que aquest canvi de tensió de treball ha compactat molt el disseny.

- La tercera decisió que caracteritza al prototip va relacionada amb el **reg i la localització del dipòsit de l'aigua**. Com que un dels criteris de decisió és la simplicitat del disseny, es va decidir localitzar el dipòsit a la part superior del viver per aprofitar la gravetat per desplaçar l'aigua allà on calgués. Com a conseqüència però,

ha estat necessari incloure dues electrovàlvules per controlar el seu pas, en comptes de dues bombes o bé una bomba i una electrovàlvula, per poder regar directament al sòl o bé omplir el dipòsit del nebulitzador.

Cal afegir que la innovació i la realització de solucions atípiques també ha estat un dels criteris de decisió al llarg del projecte ja que li aporta un grau de curiositat i particularitat interessant.

- Seguidament, es va **replantejar el sistema de control tèrmic**. En un inici la cambra de ventilació i el control tèrmic es trobaven separades. La *Peltier* extreia la calor directament de l'interior amb l'ajuda de les aletes de dissipació i la resistència tèrmica es trobava repartida a la cambra en petites peces de kanthal. Aquesta idea suposava dues desavantatges:
 - La resistència tèrmica quedava molt exposada a un medi humit.
 - La impossibilitat de generar moviment d'aire que creués les aletes disminuïa el rendiment tèrmic degut al baix coeficient de convecció.

Davant d'aquests fets, es va decidir modificar el sistema per aconseguir un major rendiment tèrmic. La unificació de la cambra de ventilació amb el control tèrmic suposa una millora important respecte al sistema inicial, ja que és capaç de fer passar un flux d'aire recirculat de la cambra a través de les dissipacions per aconseguir un major intercanvi. A més, la resistència i la *Peltier* poden rebre aire menys humit a la cambra ja que el flux prèviament passa a través del grup de deshumidificació. Aïllar el sistema de control tèrmic de l'interior de la cambra és un pas important de cara a la durabilitat del sistema i la repercussió sobre l'entorn e control. Ara cal posar a prova el model de cambra dissenyat per veure la seva eficàcia i pensar com millorar-ho per a prototips futurs.

8.1.2. Alternatives de disseny

En aquest apartat es recullen les diverses alternatives que s'han anat pensant al llarg del projecte, ja siguin com a millores d'aquest o simplement versions alternatives per ser provades més endavant en funció dels resultats obtinguts. Les alternatives arriben des de formes alternatives a l'esquelet del prototip fins a modificacions als mòduls del sistema. A continuació es presenten les alternatives més desenvolupades que s'han realitzat.

- Alternatives de disseny de l'esquelet:

L'esquelet ha anat adoptant diverses formes i encaixos a mesura que ha anat evolucionant el projecte. La part estructural ha estat sempre la mateixa, però la distribució dels mòduls i components a la capsa de control superior ha patit dues transformacions significatives per tal d'optimitzar el model. Aquestes transformacions es basen principalment en la simplificació del model inicial, on tots els sistemes de control es trobaven aïllats. Agrupar els actuadors en cambres comunes reduïa el nombre de cambres a fabricar i aïllar, el número de ventiladors i aportava una distribució més espaiada. A l'annex es poden consultar els plànols de les tres versions i una petita descripció del seu funcionament.

- Alternatives de disseny dels dispositius:

Els dispositius finals triats són només una de les solucions factibles al problema plantejat. Existeixen altres possibilitats que també resolen el problema. A continuació s'expliquen les alternatives que s'han plantejat respecte als dispositius triats en aquest projecte.

L'ús de bombes en comptes d'electrovàlvules per moure l'aigua pel circuit de reg i nebulització. Aquesta opció evita la necessitat de foradar el recipient del dipòsit d'aigua per la part inferior, com passa amb el sistema de gravetat, evitant possible fuites. Com a contra però, cal garantir que la bomba pugui aixecar la columna d'aigua necessària per fer el circuit.

L'ús de més LED de menor potència distribuïts al sostre en comptes d'un central. Aquest fet podria crear una il·luminació més homogènia, però donada la mida reduïda de la zona de treball i la gran potència lumínica dels LED FullSpectrum, s'ha decidit que per ara no era necessari i dificultava el muntatge del prototip.

8.1.3. Treballs Futurs

En aquest apartat es defineixen aquelles feines de Hardware que queden pendents a realitzar però no tenen cabuda dins les hores destinades a aquest projecte. Poden servir per a projectes futurs, que tinguin com a finalitat ampliar el *Plantbot* o bé re-versionar-lo.

- **Millora de la cambra tèrmica**

La cambra tèrmica funciona correctament. Permet refredar, escalfar l'ambient i deshumidificar-lo. Tot i això, encara queda marge de millora, sobretot pel que fa a la deshumidificació i la refrigeració.

Les propostes de millora són les següents:

- Incrementar la potència de refrigeració al doble, un total de 120 W per poder reduir la temperatura per sota dels 22 °C. Per realitzar aquesta tasca cal afegir una segona *Peltier*, i dimensionar de nou el consum d'amperatge total que es necessita.
- Afegir un ventilador més a l'interior de la cambra per aconseguir encara més convecció per incrementar l'intercanvi tèrmic.
- Motoritzar el pas de l'aire a través de la deshumidificació per triar quan actuar i donar una major durabilitat al gel de sílice usat per a aquesta tasca.
- Desenvolupar un sistema de deshumidificació basat en la condensació de l'aigua a l'aire i l'acumulació d'aquesta al dipòsit per guanyar encara més autonomia.

- **Sobirania energètica**

Un altre punt molt interessant a tractar és la optimització del sistema d'alimentació, que actualment es troba poc compacte. La idea consisteix en aconseguir l'energia necessària per al sistema a partir de l'aportació solar mitjançant l'ús de plaques solars i una bateria. Controlar aquest aspecte però és molt important ja que la supervivència de l'ecosistema depèn d'això.

8.2. El software

La programació del dispositiu ha anat patint també modificacions al llarg de tot el projecte. Moltes d'elles a causa de les modificacions de hardware, d'altres per millorar la idea inicial. A continuació es mostren les decisions més significatives que ha calgut prendre per definir el programa fins a la versió final.

8.2.1. Decisions

- La primera decisió que va caldre prendre va venir condicionada per la decisió de hardware d'usar l'*Industrino* com a controlador de l'aparell. Aquest disposa d'una pantalla incorporada i tres polsadors, fet que dona la possibilitat de realitzar una interfície gràfica senzilla on l'usuari pogués interaccionar i moure's per l'interior. Així doncs, aprofitant aquest fet es va triar **desenvolupar un menú visual que permetés definir i visualitzar els paràmetres del sistema.**
- Seguidament es va decidir amb l'ajut del diagrama d'estats que, degut al nombre limitat d'estats assolibles pel sistema, era possible **programar totes les possibilitats factibles** per garantir que no es dona cap estat no previst, si no es produeix cap anomalia. A més, es defineixen totes les relacions de prioritat en cas de necessitar realitzar dues o més accions incompatibles.
- Per optimitzar el programa general, es va creure convenient **crear la llibreria Switcher**, que conté la definició de la classe Switcher, entre d'altres. Aquesta llibreria permet realitzar commutacions d'estats digitals de les sortides temporitzades i enceses programades a moments concrets, entre d'altres, que aporten molta utilitat per desenvolupar el codi.
- Finalment, s'ha decidit realitzar una **opció de test manual per als diferents dispositius del sistema.** Disposar d'aquest mode és essencial per comprovar que els dispositius actuen correctament sense necessitar de carregar un programa de test específic. Quan el sistema es troba sota funcionament autònom, és complicat esbrinar quin és el causant d'un error al sistema, ja que pot provindre de l'actuador, d'un error al sistema que el faci actuar quan no toca o bé d'un error de lectura.

8.2.2. Alternatives de disseny

El Software té la capacitat de millorar-se de forma continuada, i més en el cas de sistemes de control de variables reals, com ho poden ser les ambientals. Suposant que es disposés d'un algoritme de control pràcticament perfecte, encara es podria millorar el sistema implementant un sistema de verificació de les dades captades i del comportament del sistema per Software, a partir d'un historial de dades enregistrat i el seu posterior tractament, per exemple. Hi ha una infinitat d'alternatives en aquest àmbit, i la millor part és que es possible realitzar diverses alternatives i quedar-se amb la millor, sense que suposi un esforç extra excessiu. Fer canvis de Hardware, per exemple, es una tasca molt més feixuga. Les alternatives que s'han donat al projecte es troben en format de comentari al programa.

8.2.3. Treballs futurs

En aquest apartat es defineixen aquelles feines de Software que queden pendents a realitzar però no tenen cabuda dins les hores destinades a aquest projecte. Poden servir per a projectes futurs, que tinguin com a finalitat ampliar el *Plantbot* o bé re-versionar-lo.

- **Control de seguretat per Software**

Queda pendent desenvolupar un sistema de seguretat per Software que permeti validar el funcionament del *Plantbot* i actuar com a mecanisme de parada de seguretat i/o alarma.

És necessari crear un registre de dades per establir patrons i normalitats, i posteriorment, comparar-ho amb l'estat actual del sistema per detectar possibles anomalies.

Degut a la seva extensió, no ha estat possible desenvolupar aquesta idea. La creació de l'algoritme queda com a treball futur a realitzar degut al seu alt interès.

- **Millora dels sistemes de control usats**

Actualment s'usen sistemes de control 'tot o res', amb cicles de treball commutats per modificar la potencia mitja entregada, o bé, reduir la velocitat d'actuació del sistema evitant sobrepuigs grans. Tot això es pot millorar emprant sistemes de control més

elaborats i robustos, com per exemple el control PID. Amb aquests tipus de control es pot ajustar de forma més adequada la velocitat d'actuació del sistema, si es vol tenir o no sobrepuig, quin error s'espera tenir entre la consigna i la variable mesurada entre d'altres.

La precisió que es necessita en aquest primer prototip és baixa, les toleràncies són grans, les variables de treball són poc extremes (temperatures entre 24 °C i 34 °C) i el control usat 'tot o res' és capaç de controlar el sistema. Ara be, quan l'entorn de proves realitzi alguna experimentació amb més exigències, el sistema de control actual es queda curt. És per aquest motiu que queda com a treball futur d'interès desenvolupar un sistema de control més potent de les variables del sistema i de la seva actuació.

- **Connectar el sistema a la xarxa:**

Connectar el sistema a la xarxa és una tasca pendent d'alt interès. Per limitació temporal no s'ha pogut desenvolupar en aquest projecte, però es determina com a treball futur a realitzar.

Existeixen mòduls *WIFI* econòmics, com per exemple el ESP8266 ESP-12E, que permeten habilitar l'accés d'un xip *Arduino* a la xarxa, i d'aquesta forma, disposar de la informació actual del sistema i poder actuar sobre ell. Incorporar aquesta possibilitat al *Plantbot* incrementa la seguretat del sistema, ja que l'usuari pot supervisar la situació sense necessitat d'estar-hi físicament i pot prendre decisions d'actuació quan ho cregui convenient. És possible desenvolupar un sistema d'alarmes que alerti a l'usuari quan es detecta una anomalia, des de indicar que ha caigut alguna de les proteccions elèctriques del sistema fins a que hi ha algun valor mesurat anòmal. A més, si s'estableix connexió amb la xarxa es pot pensar en recollir i tractar les dades de forma més eficient i autònoma. Amb aquestes dades es pot, per exemple, desenvolupar el sistema de seguretat per software per detectar anomalies.

En definitiva, establir connexió entre la xarxa i el controlador és essencial per aportar més potència al disseny i poder extreure el màxim profit. Disposar d'un registre de dades permet verificar la bondat dels estudis i disposar de dades suficients per realitzar estudis estadístics, fet necessari en un entorn de proves.

9. Pressupost

A continuació es troba el pressupost del projecte, que contempla el cost del material, les hores treballades amb categoria de formació professional (FP) i les hores treballades amb categoria de projectista.

Material	Quantitat	Preu unitari	Preu total
Fusta	2 m ²	13,00 € /m ²	26,00 €
Cargols de fusta M4,5 45mm	40	0,06 € / unitat	2,40 €
Cargols de fusta M1,5 15mm	40	0,03 € / unitat	1,20 €
Frontisses	4	1,20 € / unitat	4,80 €
Planxa de PVC transparent 4mm	1,5 m ²	6,00€ / m ²	9,00 €
Vinil per folrar fusta blanc	4 m	2,00 € / m	8,00 €
Silicona de bany	1	7,70 € / unitat	7,70 €
Cartró-suro	1 m ²	-	-
Dipòsit d'aigua 1,5l	1	1,50 €/unitat	1,50 €
Tub 6mm	3m	1,50 € / m	4,50 €
Recordatge rosca 1/4', per tub 6mm	4	1,15 € / unitat	4,60 €
Dipòsit nebulitzador	1	10,00 € / unitat	10,00 €

Industrino	1	138,00 € / unitat	138,00 €
Electrovàlvules 12VDC	2	11,50 € / unitat	23,00 €
LED FullSpectrum	1	3,40 € / unitat	3,40 €
Ventiladors 12VDC	4	3,96 € / unitat	15,84 €
Aletes de dissipació	3	4,43 € / unitat	13,30 €
Relé 12VDC	4	1,50 € / unitat	6,00 €
Relé 5VDC	1	1,50 € / unitat	1,50 €
Cable per l'electrònica	20 m	0,42 € / m	8,40 €
Punteres	100	0,02 € / unitat	2,00 €
Regletes 8 terminals	4	1,00 € / unitat	4,00 €
Bomba peristàltica	1	5,20 € / unitat	5,20 €
Font d'alimentació PC	1	46,60 € / unitat	46,60 €
Nebulitzador	1	7,65 € / unitat	7,65 €
Sensor tèrmic Dallas	1	3,65 € / unitat	3,65 €
Sensor humitat/temperatura	1	3,80 € / unitat	3,80 €
Sensor humitat terra	1	2,37 € / unitat	2,37 €
Convertidor 220VAC a 24VDC	1	13,70 € / unitat	13,70 €
Convertidor 220VAC a 12VDC	1	9,95 € / unitat	9,95 €
Hores mà d'obra FP	20 h	30,00 € / h	600,00 €

Hores mà d'obra projectista (sense contemplar test i redacció memòria)	246 h	60,00 € / h	14 760,00 €
Cost total material			388,06€
Cost total projectista			15 360,00€
Cost Total			15 748,06€

Taula 9.1. Pressupost del projecte. Elaboració pròpia.

Nota: Els materials escrits en color verd han estat reciclats alhora de confeccionar aquest primer prototip.

10. Impacte mediambiental

Estudiar l'impacte mediambiental d'un projecte de forma rigorosa no és una tasca trivial. En aquest apartat s'intenten trobar mètodes intuïtius per donar a conèixer l'impacte associat. A més, s'explica quines mesures s'han pres per reduir l'impacte d'aquest primer prototip.

Com que es tracta de crear un primer prototip orientatiu, s'ha considerat oportú reutilitzar el màxim de material sempre i quan aquest encara presenti vida útil. A més, tant el cablejat com el muntatge permeten assolir altres configuracions diferents gràcies a la seva flexibilitat. Els dispositius disposen de cable extra emmagatzemat en forma d'espines per permetre modificar la seva posició sense necessitat de refer el cablejat. També és possible fer recanvis, recuperar o incorporar nous dispositius fàcilment ja que les connexions mai són directes als terminals de l'*Industrino*.

El material reciclat es troba indicat al llistat de materials i costos del pressupost. A continuació es poden consultar els mètodes que s'han usat per definir l'impacte.

Consum del sistema: El consum màxim del sistema es produeix a l'estat número 4 (Figura 6.2.3.1.), amb un valor de **10,6 A i 240 W**, potència que equival al consum de 4 bombetes incandescentes estàndard (són quasi sempre de 60 W). S'ha estimat el consum global del dispositiu com el consum màxim * 0,7 per obtenir un valor estimatiu. El resultat obtingut és de **7,4 A i 170 W**.

Impacte dels materials usats:

Material	Efecte hivern.	Contam. Atmosf.	Ozó	Metalls pesats	Acidificació	Energia	Residus sòlids
Fusta de pi	+	+	+	+	+	+	+
PVC	++	+++	+	++	++	++	++
Acer	++	+++	+	++	++	++	+

Taula 10.1. Impacte ambiental dels materials principals usats.

on + implica lleu impacte, ++ impacte moderat i +++ gran impacte. Els valors obtinguts a la taula s'han extret de dades facilitades per la fundació sindical ISTAS.

La informació referent a la *Taula 10.1.* ha estat extreta de [1] (*Segura Plaza, Beatriz. (08/06/2016). Decisiones a tener en cuenta en la construcción con madera/acero/hormigón*). Per a més informació es pot consultar l'article original a la bibliografia.

Tractament al final de la vida útil: Un cop s'acabi la vida útil del material, és essencial tractar els components de la millor forma possible per evitar part de l'impacte que aquests ocasionen al medi. El fet de tractar-se d'un dispositiu completament desmuntable, facilita la deposició dels components al lloc pertinent. A continuació s'explica breument on s'han de portar aquells components que ja no serveixin.

- **Fusta:** Pot desmuntar-se la estructura traient els cargols que la fixen i retirar el vinil fàcilment. Al tractar-se d'un material orgànic, el seu processament és senzill i es pot dipositar als punts de recollida de mobles.
- **PVC:** Es tracta d'un plàstic reciclable però contaminant. En un futur, seria interessant substituir-lo per vidre.
- **Cablejat i components electrònics:** Aquests components són els més difícils de reciclar i per això existixen punts específics, sovint anomenats punts verds. En aquests punts es poden dipositar aquells components electrònics que ja no presenten vida útil. Com que es pot desmuntar de forma individual cada component, és fàcil extreure aquells que estiguin malmesos i reciclar-los.

Així doncs, es pot concloure que el prototip inclou diverses mesures per atenuar l'impacte ambiental, com per exemple que la part més voluminosa, l'esquelet, està fet de fusta, o que és possible separar tots els materials que conformen el prototip per realitzar un reciclatge òptim.

11. Resultats

En aquest capítol es recullen els resultats obtinguts i s'explica com és el control final que s'aplica sobre el sistema, comentant els avantatges i inconvenients que presenten.

Variable	Valor mínim	Valor màxim	Condicions exteriors
Temperatura [°C]	25 °C	36 °C	29 °C
Humitat relativa aire	50%	100%	70%
Humitat relativa sòl	0%	100%	-

Taula 11.1. Rang de valors orientatius assolits durant el període de testeig en funció de les condicions exteriors. Elaboració pròpia.

- Control tèrmic:** La cambra tèrmica ha anat modificant-se fins a la seva configuració final, amb la finalitat d'optimitzar el rendiment tèrmic. Escalfar, com era d'esperar, és una tasca més senzilla i arribar als 36 °C permet replicar una gran quantitat de climes càlids. **Pel que fa al refredament, es conclou que cal millorar el sistema ja que no és possible replicar condicions de climes freds.** Cal més potència de refrigeració i aïllament del sistema per mantindre temperatures tan baixes. Per altra banda, la *Peltier* no està pensada per treballar sota els 15 °C. Així doncs, amb la cambra tèrmica actual i en el millor dels casos, el rang de temperatures pot oscil·lar entre els 15 °C i els 40 °C. Cal repensar el sistema de refrigeració si es volen assolir temperatures per sota dels 15 °C.
- Control d'humitat a l'aire:** El control d'humitat es divideix en dues parts, la d'humidificació, amb l'ajuda del nebulitzador, i la de deshumidificació, amb l'ajuda del gel de sílice. El nebulitzador actua de forma aïllada i té capacitat per saturar l'ambient si és necessari. Desenvolupa la seva tasca perfectament, de fet, es un sistema que s'usa de forma recurrent per humidificar diversos indrets, sobre tot terraris i vivers. La deshumidificació es dona dins la cambra tèrmica, per reduir la humitat a la que s'exposen els dispositius tèrmics. El problema que comporta aquest fet es que no es pot aïllar la deshumidificació de forma completa. Com a resultat, el gel de sílice satura amb rapidesa, en funció de la humitat ambiental consigna.

El fet de no disposar del sistema de deshumidificació aïllat accelera el recanvi del gel de sílice² i disminueix la capacitat de retenció d'aigua. **Cal aïllar el sistema de deshumidificació per assolir valors d'humitat inferiors amb més autonomia o bé replantejar la forma en que s'extreu l'aigua.**

- **Control d'humitat del sòl:** El control d'humitat del sòl només efectua la funció d'humidificació mitjançant el reg. Permet assolir tot el rang possible, actua de forma estable i tan pausada com es desitgi. Tot i això, cal trobar uns sensors d'humitat més robustos, com els resistius banyats en or, ja que els resistius estàndard s'oxiden molt fàcilment, en qüestió de dues setmanes depenent de l'ambient de treball.
- **Control de l'adob:** El control de l'adobatge es pot realitzar mitjançant l'activació de la bomba peristàltica, introduint una quantitat determinada de producte amb cada impulsó dins el dipòsit de reg. **No s'ha pogut incloure dins el programa general ara per ara. És una tasca pendent.** Tot i això, es pot adobar de forma manual usant el menú de Test que ofereix el sistema.
- **Control de la lluminació i la durada del temps a la cambra:** Ambdós controls s'han realitzat de forma satisfactòria, aportant la capacitat al sistema de commutar la lluminació quan l'usuari desitgi i la possibilitat de definir al programa cada quan es vol repetir el cicle. Queda incloure aquesta última opció al menú visual per poder-ho modificar per pantalla.
- **Ventilació de la cambra:** La ventilació de la cambra es realitza amb l'ajuda de dos ventiladors, que provoquen la recirculació de l'aire de la cambra de cultiu passant a través de la cambra tèrmica. Gràcies a aquest moviment es pot forçar la convecció per donar lloc a l'intercanvi tèrmic i la deshumidificació. A més, ajuda a garantir una bona qualitat ambiental gràcies a aquest moviment.

S'ha verificat el funcionament global del sistema en diverses ocasions, sumant en total més de 70 hores de règim autònom. Si les variables consigna es troben dins el domini de possibilitats factibles, el sistema s'estabilitza entorn les variables consigna.

2 El gel de sílice recupera les seves propietats d'absorció si s'escalfa a 110 °C, fins que recupera la tonalitat blava inicial.

12. Conclusions

El projecte ha culminat amb la creació del primer prototip funcional de la idea. És capaç de controlar de forma autònoma la temperatura i la humitat de l'aire de la cambra de cultiu, la humitat del sòl, el reg, l'aportació de nutrients, l'aportació de llum de qualitat i la ventilació.

Per altra banda, s'ha desenvolupat un menú visual que facilita la comunicació entre l'usuari i el controlador. Disposa d'un mode de testeig manual de tots els actuadors, un mode de definició de les condicions ambientals consigna i el mode de control automàtic.

Gràcies a això, l'usuari pot definir de forma senzilla les condicions atmosfèriques que vol recrear i iniciar el mode automàtic per assolir-les. També pot realitzar modificacions o proves puntuals amb l'ús del mode de testeig. No obstant, el conjunt d'atmosferes recreables està limitat. Per garantir un bon control és necessari que les variables consigna es trobin dins el domini de possibilitats factibles, que depenen de les condicions ambientals externes. Al capítol 11. *Resultats* es pot consultar un resum del funcionament final de cada control, així com els seus rangs d'actuació factibles. També es pot consultar el domini de possibilitats factibles per unes condicions exteriors concretes a la *Taula 11.1*.

El fet de que les possibilitats factibles d'aquest primer prototip depenguin de l'entorn exterior era inevitable. Cal disposar d'un model aïllat i altament adiabàtic per aconseguir-ho. Tot i això, aquest primer model és capaç de fer una cosa molt important. Pot cultivar al seu interior tot allò que es pugui cultivar a l'exterior de forma autònoma i totes aquelles altres espècies que ho poden fer a la resta de domini de possibilitats factibles. Pot garantir sol en dies de pluja i humitat en períodes secs. I tot en funció dels interessos de l'usuari.

Amb aquest primer prototip s'assenten els mínims assolibles i es dona inici al procés de millora. Com que el prototip ja s'ha dissenyat tenint present aquesta idea, resulta fàcil fer modificacions tant a nivell de *hardware* com de *software* i comprovar els resultats obtinguts.

13. Agraïments

Arribar fins al nivell de funcionalitat on s'ha arribat no és fàcil entenent la limitació temporal del projecte i la gran quantitat de feina a fer. Assolir-ho ha estat possible gracies a la dedicació de diverses persones que han estat donant suport en àmbits molt diferents però essencials al llarg d'aquest temps.

Joaquim i Clara per donar-me suport a l'edició visual. A en Jose Luis Eguía i en Lluís Solano per haver dirigit el projecte, fent les correccions oportunes i solucionant els problemes que anaven sorgint. A tota la resta de persones i família que m'han donat suport continu, han fet crítiques constructives de les idees, n'han aportat de noves i m'han donat un cop de mà quan ho he necessitat. Que se senti al·ludida tota persona que hagi col·laborat, ja sigui subjectant-me una peça durant la mecanització o revisant el codi.

Finalment, voldria agrair a l'Oriol tota la dedicació que ha tingut al llarg d'aquests mesos. Per tot el que m'has ensenyat i supervisat durant el desenvolupament del projecte. Sense tu això no hagués estat possible.

El saber que tanta gent et dona un cop de mà en tants àmbits diferents i de forma desinteressada m'encoratja i m'emociona. Aquesta confiança m'ha permès seguir endavant en els moments més crítics. Gràcies per insistir.

Albert Oromí Esteller

14. Bibliografia

14.1. Referències bibliogràfiques

[1] Impacte ambiental:

Segura Plaza, Beatriz. (08/06/2016). *Decisiones a tener en cuenta en la construcción con madera/acero/hormigón*. Maderea. Madrid, Espanya. Recuperat de:

<https://www.maderea.es/decisiones-a-tener-en-cuenta-en-la-construccion-con-maderaacerohormigon/>

Última consulta: 30/07/2018

[2] Viver arduino

MEGA DAS. (03/01/2018). *INDOOR GARDEN, ARDUINO PROJECT*. ARDUINO Project Hubb. Recuperat de:

<https://create.arduino.cc/projecthub/mega-das/arduino-indoor-garden-5d975c>

Última consulta: 22/05/2018

[3] BiorbAIR Terrarium

biOrbAIR Terrarium. BiOrb.(17/03/2016). Recuperat de:

<http://www.biorb.com/en-us/shop/terrariums/>

Última consulta: 22/05/2018

14.2. Bibliografia complementària

PVC porta:

(10/10/2014). *Consumo de energía y emisión de CO2 asociados a la producción de ventanas de PVC*. Laboratorio de modelización Ambiental. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Espanya. Recuperat de:

<http://www.karpenterium.com/consumo-de-energia-y-emision-de-co2-asociados-la-produccion-de-ventanas-de-pvc/>

Última consulta: 25/06/2018

Manual per a vivers de plantació forestals

Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Volum 1, capítol 4. Recuperat de:

http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/manual_prod_planta_forestal_contenedor_volumen1_cap4.pdf

Annex

A. Galeria d'imatges

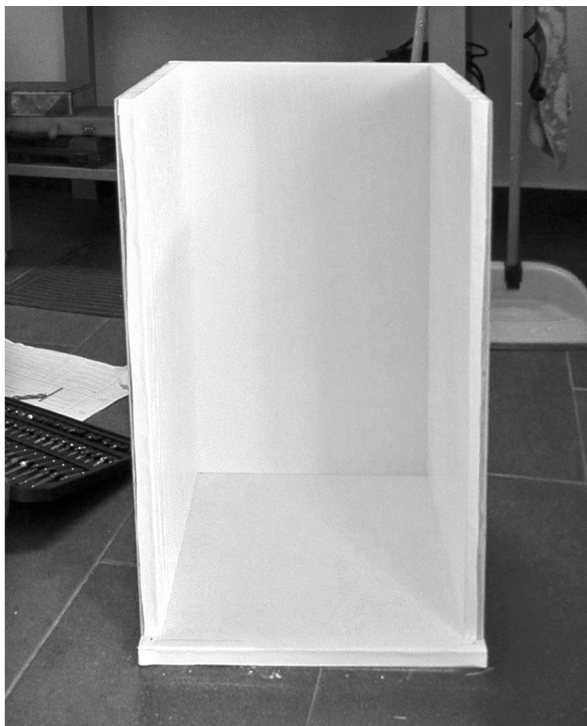


Figura A.1. Esquelet folrat

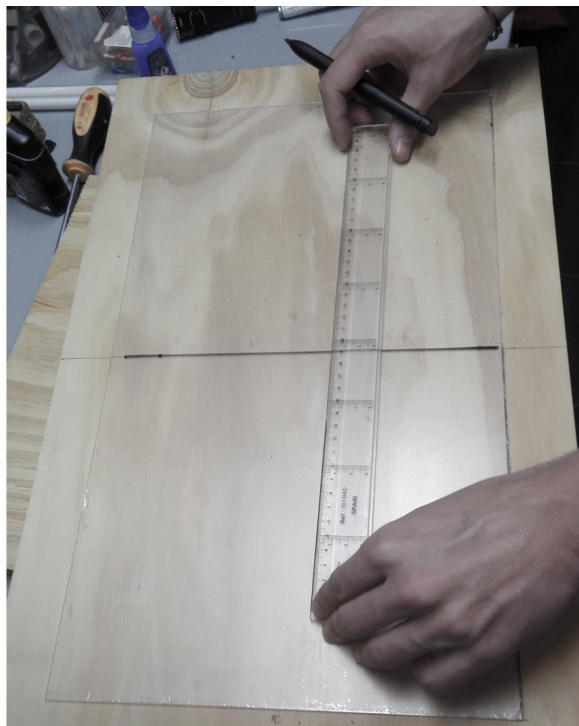


Figura A.2. Porta I



Figura A.3. Porta II



Figura A.4. Porta III



Figura A.5. Esquelet complet



Figura A.6. Esquelet i caps superior



Figura A.7. Focos del LED



Figura A.8. Ventilació i il·luminació



Figura A.9. LED activat

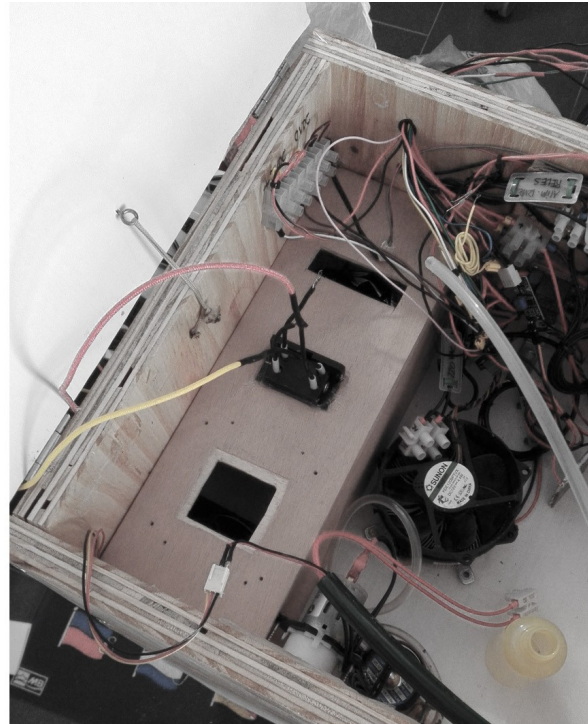


Figura A.10. Capsa tèrmica

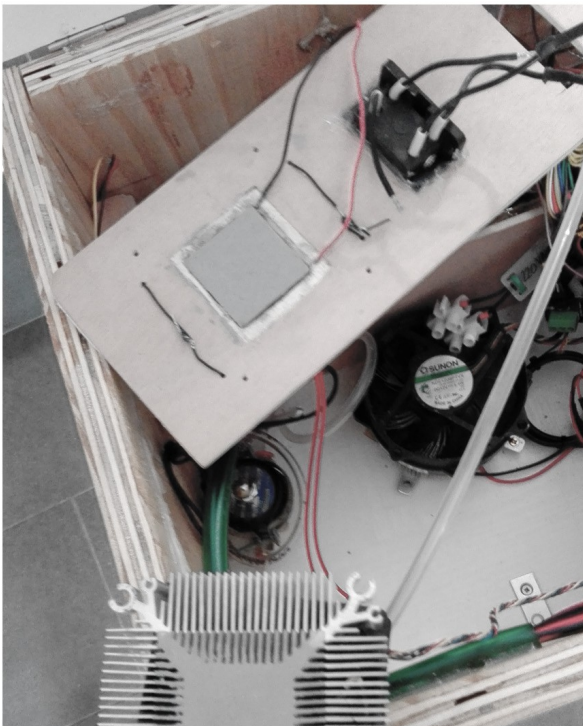


Figura A.11. Pasta tèrmica entre aleta i Peltier



Figura A.12. Planta de la capsa superior

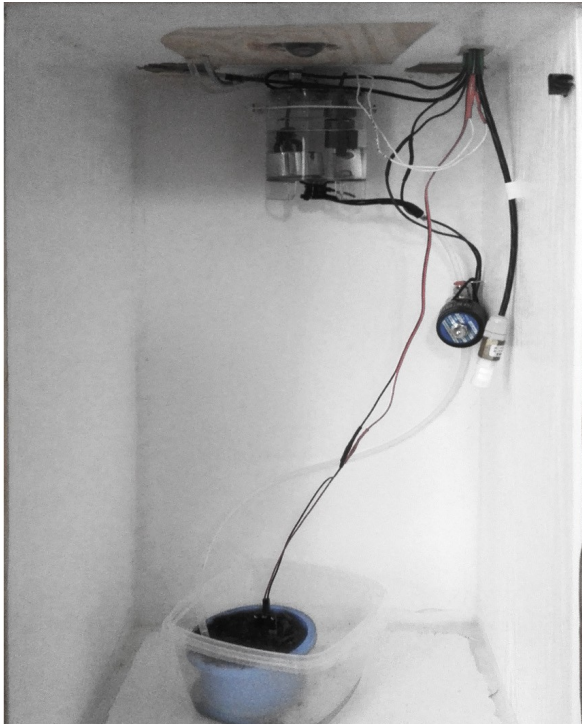


Figura A.13. Cambra de cultiu



Figura A.14. Dipòsit interior



Figura A.15. Calibratge sensor d'humitat I



Figura A.16. Calibratge sensor d'humitat II

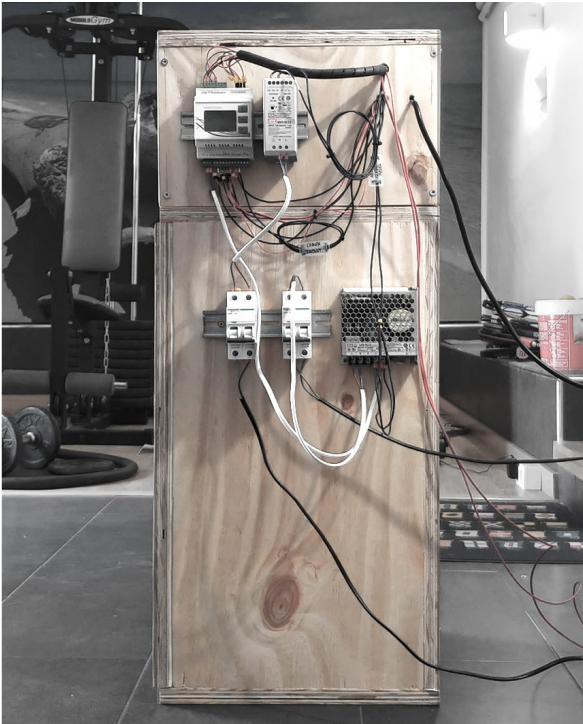


Figura A.17. Proteccions, convertidors i control



Figura A.18. Vista frontal del dispositiu



Figura A.19. Model 3D elaboració pròpia

B. Alternatives de Disseny

B.1. Distribució dels mòduls

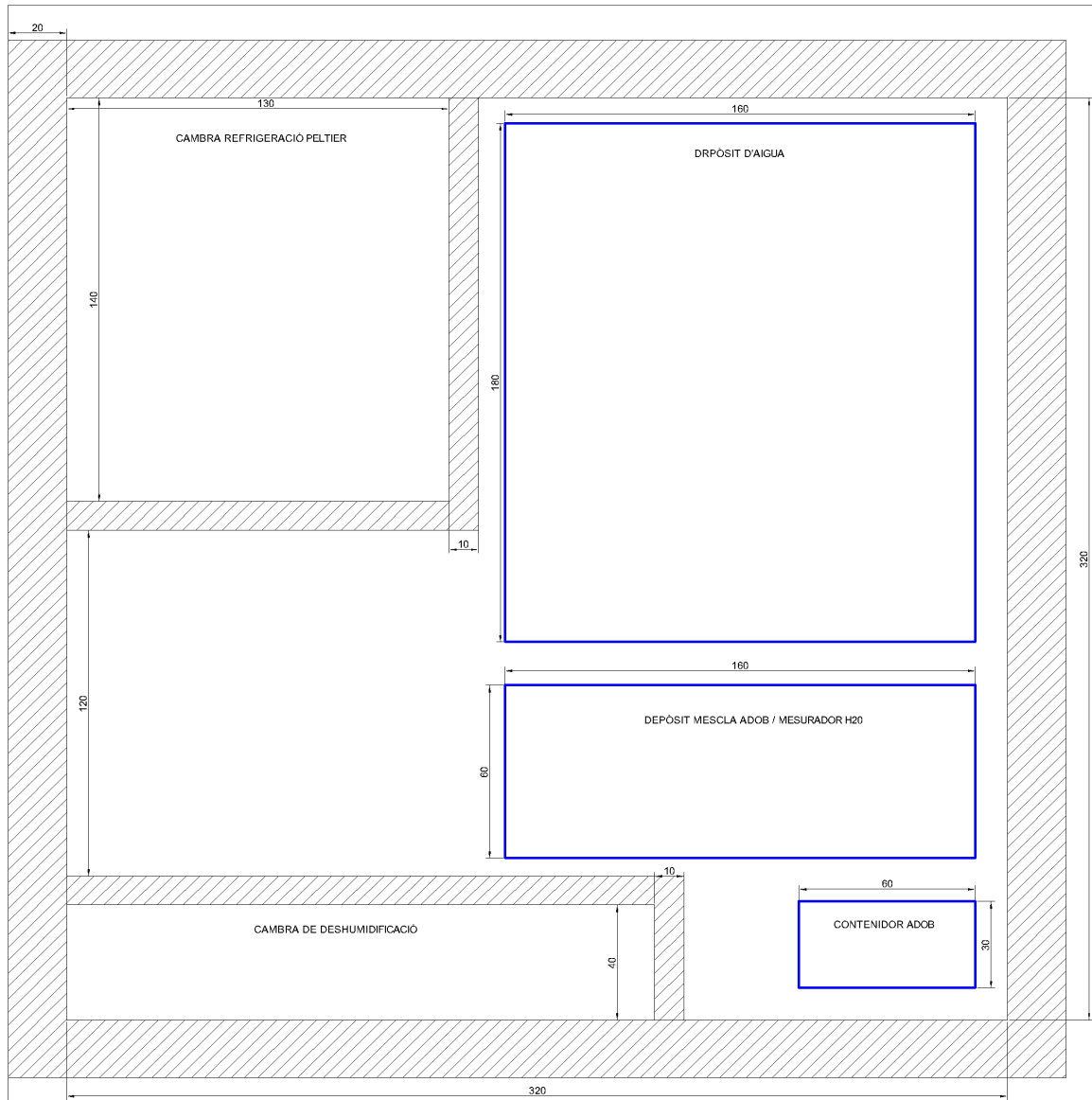


Figura B.1.1. Primera distribució dels mòduls

Aquest primer model disposava de dues cambres aïllades, la de control tèrmic i la de ventilació i deshumidificació. A més, els dos dipòsits es trobaven localitzats a la cambra superior. L'espai lliure per la part electrònica és molt limitat, cal un major nombre de ventiladors per realitzar les funcions objectiu. És necessari disposar d'un ventilador dins la cambra per generar convecció forçada i incrementar el rendiment tèrmic de la *Peltier* i la resistència, que es troben en contacte directe amb la cambra de cultiu.

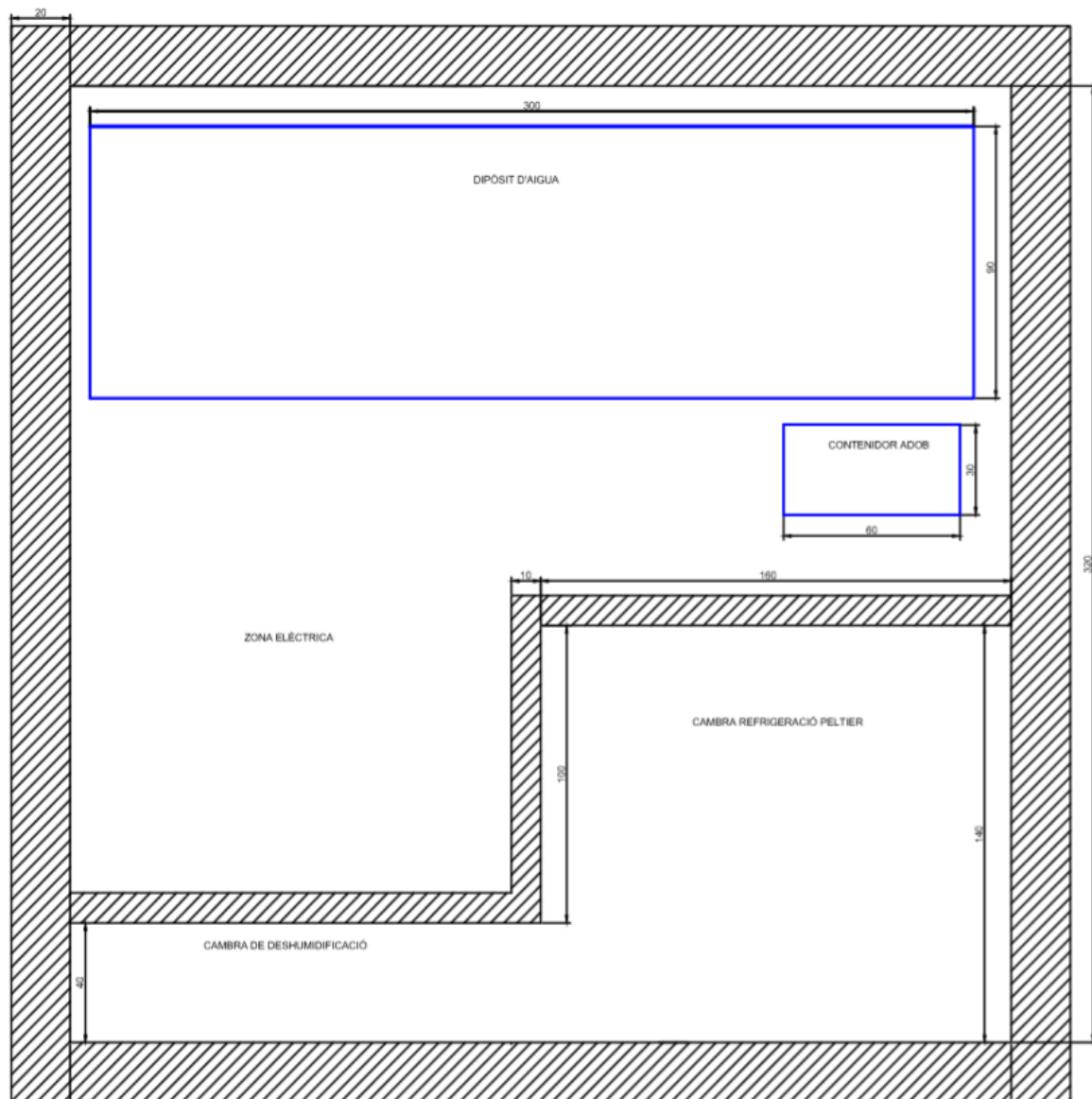


Figura B.1.2. Segona distribució dels mòduls.

El segon model ja presenta les dues cambres unides. A més, la *Peltier* ja es troba aïllada de la cambra de cultiu. La resistència segueix trobant-se a l'interior, igual que al primer model, i està formada per diverses espirals de dissipació tèrmica de kanthal.

El segon dipòsit, on es barreja l'adob amb l'aigua i on es localitza el nebulitzador, ja es troba dins la cambra de cultiu. D'aquesta manera queda més espai lliure per la electrònica i la resta de components que necessàriament han d'anar a la part superior del *Plantbot*. Gràcies a aquesta nova localització, el nebulitzador pot humidificar l'interior de la cambra només amb la seva actuació, ja que el dipòsit es troba ranurat per la part superior.

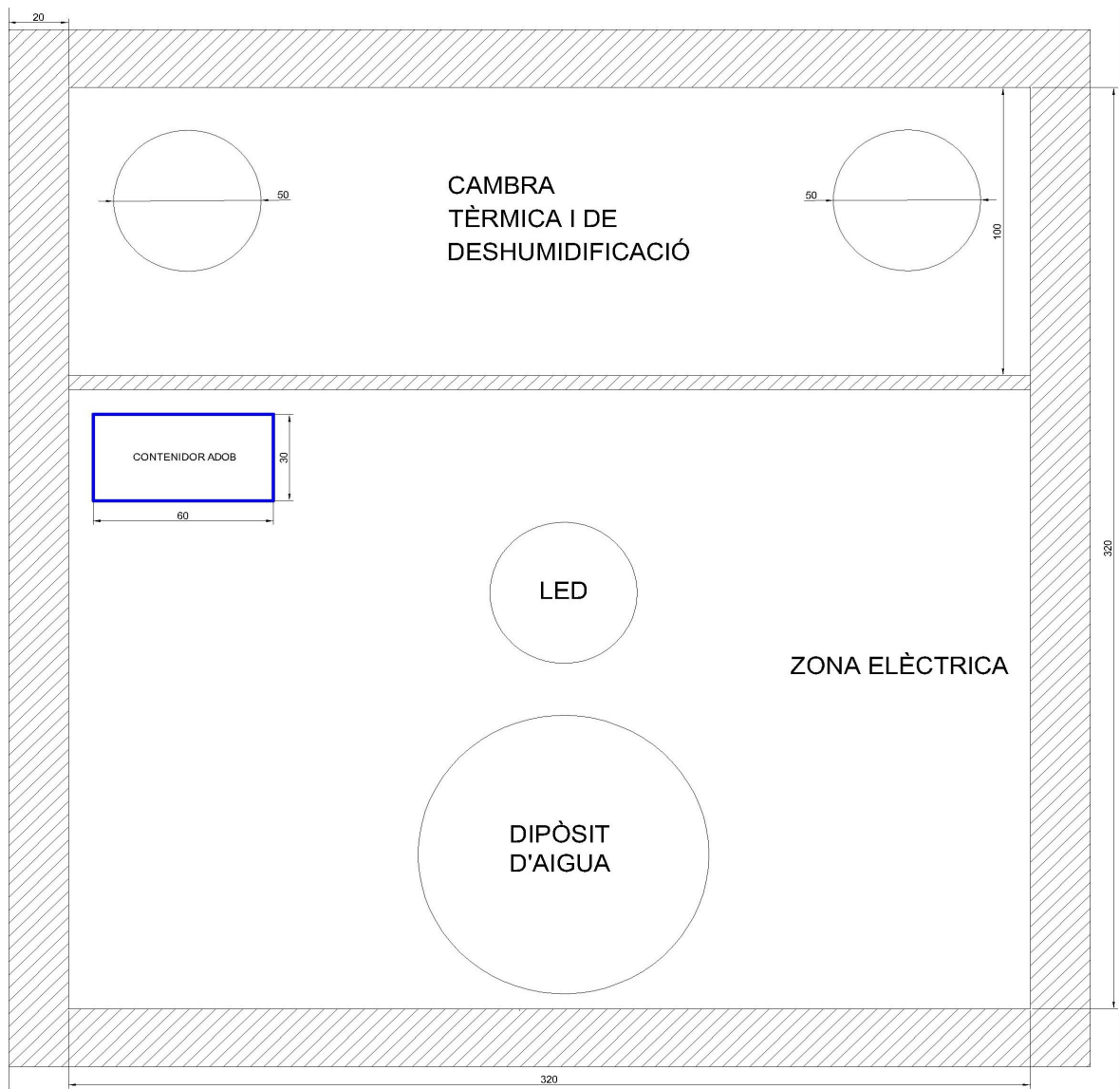


Figura B.1.3. Distribució definitiva dels mòduls

Aquesta és la darrera versió de la disposició dels mòduls. La resistència es troba dins la cambra tèrmica, on l'ambient és menys agressiu ja que l'aire que entra passa prèviament a través d'una bossa amb gel de sílice, que absorbeix part de la humitat. A més, com que la cambra tèrmica és més reduïda que la cambra de cultiu, l'aire que circula al seu interior presenta una velocitat major per al mateix nombre de ventiladors, i facilita l'intercanvi tèrmic entre els actuadors resistència/*Peltier* i l'ambient.

Constructivament és el model més simple i d'espai més optimitzat.

C. El programa general

```
// LIBRERIAS INDUSTRIINO //

#include <Indio.h>

#include <Wire.h>

#include <UC1701.h> //Screen library

#include <Switcher.h> // Temporizators for Digital Channels

#include <SHT1x.h> // SHT10 sensor Library

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#define ONESEC (1000UL * 1)

#define TENSEC (1000UL * 10)

#define ONEMIN (1000UL * 60 * 1)

#define FIVEMIN (1000UL * 60 * 5)

#define TEMP_READ_DELAY 800 //can only read digital temp sensor every ~750ms

void setup() {

//DIGITAL PIN SETUP DECLARATION

Indio.digitalMode(1,OUTPUT);

Indio.digitalWrite(1,LOW);

Indio.digitalMode(2,OUTPUT);

Indio.digitalWrite(2,LOW);

Indio.digitalMode(3,OUTPUT);

Indio.digitalWrite(3,LOW);

Indio.digitalMode(4,OUTPUT);

Indio.digitalWrite(4,LOW);

Indio.digitalMode(5,OUTPUT);

Indio.digitalWrite(5,LOW);

Indio.digitalMode(6,OUTPUT);

Indio.digitalWrite(6,LOW);
```



```
Indio.digitalMode(7,OUTPUT);
Indio.digitalWrite(7,LOW);
Indio.digitalMode(8,OUTPUT);
Indio.digitalWrite(8,LOW);

pinMode(buttonEnterPin, INPUT);

pinMode(buttonUpPin, INPUT);

pinMode(buttonDownPin, INPUT);

pinMode(backlightPin, OUTPUT); //set backlight pin to output

analogWrite(backlightPin, (map(backlightIntensity, 5, 1, 255, 0))); //convert backlight intensity from a value of 0-5 to a value of 0-255 for PWM.

pinMode(5, INPUT);

pinMode(2, OUTPUT);

pinMode(10, OUTPUT);

// ANALOG PIN SETUP DECLARATION

Indio.setADCResolution(12);

Indio.analogReadMode(ai_CH1, V10_raw); // Set Analog-In CH1 to % 5V mode (0-10V -> 0-100%).

Indio.analogReadMode(ai_CH2, V10_p);

// Set Analog-In CH4 to % mA mode (4-20mA -> 0-100%)

Indio.analogWriteMode(1,V10);

Indio.analogWriteMode(2,V10);

Indio.analogWrite(1,5,true);

Indio.analogWrite(2,5,true);

//LCD init

lcd.begin(); //sets the resolution of the LCD screen

for (int y = 0; y <= 7; y++) {

  for (int x = 0; x <= 128; x++) {

    lcd.setCursor(x, y);

    lcd.print(" ");

  }

}

//debug

SerialUSB.begin(9600); //enables port for debugging messages

//Menu init
```

```

Welcome(); // Welcome message

while ( conf == 1 ) {

  ReadButtons(); //check buttons

  Navigate(); //update menus and perform actions

}

dallas.begin();

  checktime1 = millis() + TENSEC;

  checktime5 = millis() + FIVEMIN; }

//////////////////////////////////// Inici del Loop //////////////////////////////////////

void loop() {

//-----

// Every 3 seconds

//-----

if((long)(millis() - checktime3s) >= 0) {

// Get sensor data //

temp = soil.readTemperatureC();    // SHTXX SENSOR Humidity and Temp air

humAir = soil.readHumidity();      // SHTXX SENSOR Humidity and Temp air

dallas.requestTemperatures();      // Send the command to get temperatures out of the cooling box

tempBox = dallas.getTempCByIndex(0); // Send the command to get temperatures out of the cooling box

humSoil = Indio.analogRead(1); //Read Analog-In CH1 (output depending on selected mode)

humSoil = map(humSoil,1811,240,0,100);

wLevel = Indio.analogRead(2); //Read Analog-In CH1 (output depending on selected mode)

Visual();

deltaT = tempDay - temp;

//////////////////////////////////// START TEMP CONTROL //////////////////////////////////////

if ( sensors[0] == 1 && tempDay< 28) { // ACTIVAMOS HEAT

  if (deltaT >= 2*tempTolerance)

  {

    //PWM A TOPE, NO COMMUTA

    pwm=1;

    Heat.Start();

    FanIn.Start();

```

```

}
else if (deltaT >= tempTolerance && deltaT < 2*tempTolerance)
{
    pwm = 0.7;
    Heat.Pwm(unity*pwm, unity*(1 - pwm) );
    FanIn.Start();
}
else if (deltaT < tempTolerance && deltaT >= 0.3 )
{
    //PWM a 50%
    pwm = 0.5;
    Heat.Pwm(unity*pwm, unity*(1-pwm) );
    FanIn.Start();
}
else {
    Heat.Stop();
    FanIn.Stop();
} }
else if ( sensors[0] == 1 && tempDay >= 28) { // ACTIVAMOS HEAT sin PWM, a tope
    Heat.Start();
    FanIn.Start();
    if ( temp >= 40) {
        Heat.Stop();
    } }
else if ( sensors[0] == 2 ) { //ACTIVAMOS COLD
    Cold.Start();
    FanIn.Start();
}
else {
    Cold.Stop();
    Heat.Stop();
    if (sensors[2] != 1){

```

```

    FanIn.Stop();

  } }

  //////////////////////////////////// END TEMP CONTROL ////////////////////////////////////

  //////////////////////////////////// START HUMIDITY CONTROL ////////////////////////////////////

  if ( sensors[2] == 1 ) {

    FanIn.Start();

  }

  else if ( sensors[2] == 2 ) {

    FanIn.Stop();

    if ( wLevel == 49 ){

      Humidify.Pwm(5,10); //Usamos la funcion Pwm de la clase Switcher para alternar 5s ON y 10 OFF para controlar la subida
      de humedad

    } }

  else {

    Humidify.Stop();

    if ( sensors[0] == 0 ) {

      FanIn.Stop();

    } }

  if ( wLevel == 49 ) {

    Valve.Stop();

  }

  //////////////////////////////////// END HUMIDITY CONTROL ////////////////////////////////////

  //////////////////////////////////// START SOIL HUMIDITY CONTROL ////////////////////////////////////

  if ( sensors[1] == 1 ) {

    Fill(); // we call Fill()function to verify the water lever of the tank and refill if necessary.

    if ( wLevel == 49 or wState == 1 ) {

      ValveFloor.Pwm2(1,20); // Commutates the state of pin D10 that controls floor watering, to make the changes slower.

      wState = 1;

    } }

  else {

    digitalWrite(10, LOW); // Stops floor watering when it's enough humid

    wState = 0;

```

}

```
//////////////////////////////////// END SOIL HUMIDITY CONTROL //////////////////////////////////////
```

```
    checktime3s = millis()+3*ONESEC; }
```

```
//-----
```

```
// Every 10 secs;
```

```
//-----
```

```
if((long)(millis() - checktime1) >= 0) {
```

```
//////////////////////////////////// Air Humidity //////////////////////////////////////
```

```
    if ( humAir - hMax >= hTolerance ) { // Humedad Aire superior a la humedad m xima + tolerancia = deshumidificar
```

```
        sensors[2] = 1; //Hay que Deshumidificar
```

```
    }
```

```
    else if ( ( hMin - humAir >= hTolerance ) && sensors[0] == 0 ) { //Humedad mínima superior a la Humedad Aire + Tolerancia = nebulizar
```

```
        sensors[2] = 2; // Hay que nebulizar
```

```
    }
```

```
else {
```

```
    sensors[2] = 0;
```

```
}
```

```
//////////////////////////////////// Air Humidity //////////////////////////////////////
```

```
//////////////////////////////////// Soil Humidity //////////////////////////////////////
```

```
    if (hsMin > humSoil - hSoilTolerance ) { // Cuando la humedad del suelo est  cerca del valor mínimo, tanto como indique la tolerancia, debemos regar
```

```
        if ( sensors[2] != 2 ){
```

```
            sensors[1] = 1; // Debemos Regar
```

```
        }
```

```
        else if ( sensors[2] == 2){
```

```
            sensors[1] = 0;
```

```
        } }
```

```
else {
```

```
    sensors[1] = 0;
```

```
}
```

```
//////////////////////////////////// Soil Humidity //////////////////////////////////////
```

```

//////////////////////////////////// Temperature //////////////////////////////////////

    if ( temp + tempTolerance <= tempDay ) { // Activamos HEAT cuando temp está 'tantos grados como la tolerancia' por
debaajo de la consigna

        sensors[0] = 1; //activamos HEAT

    }

    else if ( tempDay + tempTolerance <= temp ) { // Activamos COLD cuando temp está 'tantos grados como la tolerancia'
por encima de la consigna

        sensors[0] = 2; //activamos COLD

        if ( sensors [2] == 2 ) {

            sensors [2] = 0; // No nebulizamos

        } }

    else if ( abs(temp-tempDay) <= 0.3 ) {

        sensors[0] = 0; // Cuando las temperaturas coinciden, es hora de Resetear sensors[0] a estado parado

    }

//////////////////////////////////// Temperature //////////////////////////////////////

//////////////////////////////////// Water Level //////////////////////////////////////

    if ( sensors[2] == 2 && wLevel == 0 ) {

        Fill();

    }

    checktime1 += TENSEC;

}

//////////////////////////////////// Water Level //////////////////////////////////////

//-----

// Every 5 minute

//-----

if((long)(millis() - checktime5) >= 0) { // Stuff we check every 5 minutes

//////////////////////////////////// Lights //////////////////////////////////////

    Lights.Update(hoursLight, hoursDark);

    FanLed.Update(hoursLight, hoursDark);

//////////////////////////////////// Lights //////////////////////////////////////

        checktime5 += FIVEMIN;

    }

```

```
//-----  
// Interruptors rutines  
//-----  
  
if (conf == 1) { // Show config menu if ENTER is pressed  
  
    MainMenu();  
  
    while ( conf == 1 ) {  
  
        ReadButtons(); //check buttons  
  
        Navigate(); //update menus and perform actions  
  
    } }  
  
if (refresh == 1) { // Refresh screen values if DOWN is pressed  
  
switch (screen) {  
  
    case 0:  
  
        Visual();  
  
        screen = 1;  
  
        break;  
  
    case 1:  
  
        Visual1();  
  
        screen = 0;  
  
        break;  
  
    default:  
  
        // if nothing else matches, do the default  
  
        // default is optional  
  
        break;  
  
    }  
  
    refresh = 0;  
  
} }  
  
////////////////////////////////////// Fi del Loop ////////////////////////////////////////
```