



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

Disseny i realització d'un control automàtic per a una màquina destil·ladora d'alcohol

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Industrial en Electrònica Industrial.

AUTOR: Josep Espelta
DIRECTOR: Hugo Valderrama

DATA: febrer de 2010.

Índex

1	Introducció.....	4
1.1	Objectius del Projecte.....	4
1.2	Antecedents.....	4
1.3	Diagrama de Blocs del Sistema Desenvolupat.....	5
2	Teoria de la Destil·lació.....	7
2.1	Introducció a la Destil·lació.....	7
2.1.1	La Destil·lació Simple:.....	7
3	Modelat Tèrmic del Sistema.....	12
3.1	Equivalent Elèctric de la Transferència de Calor.....	12
3.2	Anàlisi Tèrmic.....	15
3.2.1	Anàlisi de la Caldera.....	16
3.3	Model del Radiador.....	24
3.4	Model dels Ventiladors.....	26
3.5	Model del Sistema.....	27
3.6	Càlcul del Cabal Necessari d'Aigua.....	32
4	Implementació.....	34
4.1	Alimentacions.....	34
4.1.1	Primera Proposta de Font:.....	34
4.1.2	Solució Adoptada per a la Font d'Alimentació:.....	37
4.2	Circuit d'Actuació sobre el Fogó, la Bomba, i els Ventiladors.....	38
4.3	Tractament de les Senyals de Temperatura i Visualització. Descripció:.....	39
4.4	Càlculs del Tractament dels Senyals:.....	40
4.5	Variació de la Tensió al Voltímetre en Funció de la Temperatura, Suposant una Alimentació Constant.....	48
4.6	Càlcul dels Comparadors amb Histèresis.....	49
4.6.1	Per al Control del Fogó.....	49
4.6.2	Per al Control dels Ventiladors:.....	51
4.6.3	Conclusions:.....	53
4.7	Circuit d'Actuació.....	56

4.8 Placa de Control Externa.....	57
5 Resultats Experimentals i Conclusions.....	59
6 Pressupost.....	65
6.1 Quadre de Preus:.....	65
6.1.1 Placa de Control Interna.....	65
6.1.2 Placa de Control Externa.....	66
6.1.3 Comandaments de Control:.....	66
6.1.4 Planta:.....	67
6.1.5 Placa d'Actuació.....	67
6.1.6 Mà d'Obra.....	67
6.1.7 Resum del Pressupost.....	68
7 Plec de Condicions: Manual D'usuari.....	69
7.1 Elements de Control:.....	69
7.2 Tipus de Control.....	70
7.3 Precaucions.....	71
8 Possibles Millores.....	72
9 Annexos.....	73
9.1 Pressions de Vapor.....	73
9.2 Codi de Matlab del Comportament de Mescles Ideals:	76
9.3 Codi de Matlab Comportament Real de Mescles (Correcció de Margules):.....	77
9.4 Codi de Matlab de l'Anàlisi de la Caldera.....	78
9.5 Anàlisi de la Caldera amb les Resistències Tèrmiques Variables.....	81
9.6 Mesures de l'Aigua de Refrigeració.....	84
9.6.1 Amb els Ventiladors Apagats.....	84
9.6.2 Amb els Ventiladors Encesos.....	85
9.7 Fulls de característiques de les alimentacions i del voltímetre.....	86
9.8 Característiques dels Sensors.....	94
9.9 Programa de la Placa de Control Externa.....	98
9.10 Fotolits de la Placa de Control Interna.....	102
9.11 Fotolits de la Placa de Control Externa.....	104
10 Bibliografia.....	106

1 Introducció

1.1 Objectius del Projecte

- Conèixer les bases d'un procés de destil·lació.
- Identificar les variables a controlar i els actuadors i sensors adequats a la planta.
- Modelat del procés de destil·lació automàtic implementat en el sistema.
- Construcció d'una interfície amb sensors i actuadors que permetin seleccionar entre un control manual, automàtic intern, i un d'extern per a provar diversos tipus de control en un laboratori de pràctiques. La interfície ha de permetre la visualització de la temperatura de destil·lació, la del refrigerant del bescanviador de calor, la selecció i visualització de les consignes de les temperatures anteriors, així com escollir els diferents tipus de control: manual, automàtic intern, o extern.
- Regular la concentració alcohòlica de la beguda produïda, i la temperatura de l'aigua del bescanviador de calor utilitzat per a condensar els vapors destil·lats.
- Disseny del control analògic intern, sensors i actuadors de la planta, i d'un control digital extern basat en un PIC.
- Muntatge del sistema i verificació experimental. Es parteix d'un alambic comercial amb un greu inconvenient pràctic a l'hora d'utilitzar-lo. Aquest inconvenient es detalla a l'apartat 1.2. El sistema desenvolupat ha de corregir aquest inconvenient i automatitzar la destil·lació.

1.2 Antecedents

Es parteix d'un alambic comercial de coure que consta d'una caldera de dos litres i mig de capacitat per al líquid a destil·lar. Aquesta està unida a un bescanviador de calor per a la condensació del líquid format per un serpenti dins un pot que conté el líquid refrigerant (aigua). El sistema d'aportació de calor per a l'evaporació del líquid de la caldera és un fogó elèctric de 500 W .

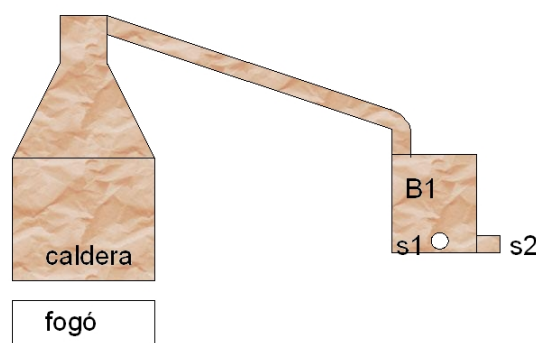


Figura 1.1: Alambic

L'inconvenient que hi ha és que un cop ha començat a arribar vapor al bescanviador de calor B1, l'aigua del bescanviador s'escalfa fins a assolir una temperatura excessiva per a la condensació dels vapors en uns tres minuts. Llavors s'ha d'apagar el fogó, interrompre la destil·lació, destapar la sortida S1 per a evacuar l'aigua, i tornar a omplir el got. Aquest procediment és extremadament feixuc pel fet d'haver d'estar pendent contínuament de la temperatura del bescanviador, pel temps empleat en realitzar aquesta operació, i per la quantitat d'aigua que es malgasta. El resultat del destil·lat surt en forma de líquid per la sortida S2.

Es desitja automatitzar el procés de destil·lació mitjançant el control de la temperatura de destil·lació, i millorar el sistema de refrigeració, evitant el problema anterior i automatitzant-lo, per assegurar que el líquid evaporat es condensi totalment.

1.3 Diagrama de Blocs del Sistema Desenvolupat.

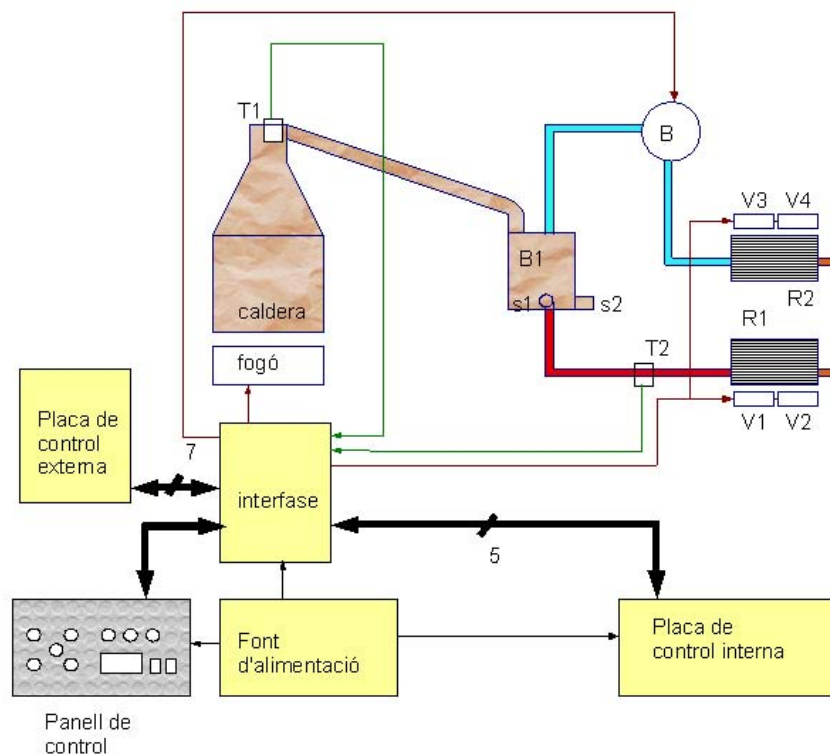


Figura 1.2: Diagrama de blocs del sistema

Els vapors generats a la caldera gràcies al fogó arriben al bescanviador, i escalfen l'aigua d'aquest, que és refredada en els radiadors R1 i R2 que disposen de dos ventiladors cadascun. La bomba mou l'aigua del circuit de refrigeració per transmetre als radiadors la calor generada al bescanviador. A més, per a què el sensor de temperatura T2 marqui correctament la temperatura del circuit de refrigeració, és necessari que l'aigua estigui en moviment, per tal de minimitzar les diferències de temperatura en el circuit.

1 Introducció

La interfície està format per diverses plaques, entre les quals hi ha la de selecció de visualització de temperatura i la placa d'actuació sobre els diferents elements mitjançant relés. Des del panell de control es pot dur a terme el control manual o ajustar les consignes del control extern, i decidir quin control actuarà sobre el sistema. A més s'ha fabricat una placa de control externa governada per un PIC. Les senyals procedents dels sensors són utilitzats tant en la placa de control interna com externa.

2 Teoria de la Destil·lació

2.1 Introducció a la Destil·lació

La destil·lació és una operació unitària (de les de transferència de matèria és la més utilitzada en l'enginyeria química) que consisteix en separar dos o més components d'una mescla líquida, aprofitant les diferències en les seves pressions de vapor. La mescla líquida en el seu punt d'ebullició desprenderà vapors més rics en components volàtils que el líquid. Els vapors es condensaran apart constituint el destil·lat. Quan la mescla a destil·lar conté només dos components es parla de destil·lació binària.

Hi ha dos tipus bàsics de destil·lació: destil·lació sense reflux o destil·lació simple, i destil·lació amb reflux o rectificació.

2.1.1 La Destil·lació Simple:

És l'operació de bullir el líquid en un recipient (caldera) condensant-se apart els vapors que constituïran el destil·lat, quedant en la caldera el residu. Aquesta operació es pot dur a terme de forma contínua (alimentant la caldera i extraient residu contínuament) o de forma discontinua, amb el qual els composicions del vapor i del líquid aniran canviant amb el temps. Realment no és una operació de transferència de matèria, ja que el vapor i el líquid estan en equilibri. Es descriu millor com operació de transmissió de calor, com en el cas d'un evaporador.

Equilibri líquid-vapor en mescles binàries : llei de Raoult, Henry i Dalton

Quan un líquid està en equilibri amb el seu vapor existeixen una sèrie de relacions entre les composicions de les fases que concorren. Donat que només es consideraran mescles completament miscibles, el número de fases presents seran dues: líquida i vapor. Així doncs, i d'acord amb la regla de fases, existiran per a un sistema binari dos graus de llibertat. És a dir, que per a una pressió i una temperatura donades, les composicions en ambdues fases estaran fixes. Els sistemes binaris ideals posseeixen una sèrie de relacions senzilles que permeten conèixer el valor d'aquestes composicions. Així, la llei de Raoult estableix que la pressió parcial d'un component en equilibri amb la seva dissolució és directament proporcional a la seva fracció molar:

$$p_j = P_j \cdot x_j \quad (2.1),$$

on P_j és la pressió de vapor del component j pur a la temperatura especificada.

Per altra banda la llei de Dalton estableix que la pressió parcial d'un component en una mescla gasosa és proporcional a la seva fracció molar:

$$p_j = P \cdot y_i \quad (2.2),$$

sent P la pressió total de la mescla gasosa.

Quan el sistema no és ideal, la llei de Raoult no es compleix en tot l'interval de composicions. No obstant, per a dissolucions diluïdes, es pot seguir complint per al component majoritari. Quan això és així, per al component minoritari es compleix la llei de Henry, que expressada en funció de les concentracions és:

$$p_j = H_j \cdot c_j \quad (2.3),$$

on H_j és la constant de Henry, i c_j la concentració del component minoritari. Així, per a una temperatura donada, el diagrama isotèrmic pot tenir un aspecte com el de la *Figura 2.1*.

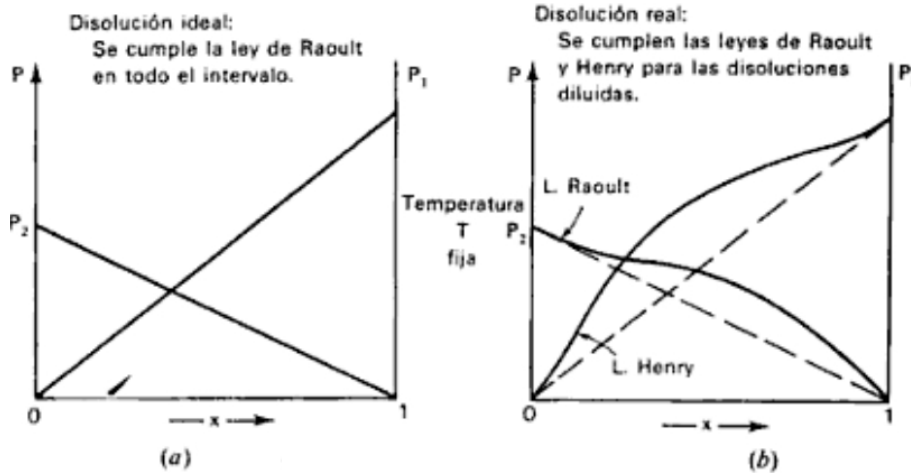


Figura 2.1: Diagrama isotèrmic

A més a més del diagrama isotèrmic, existeixen el diagrama isobàric (o de punt d'ebullició) i el diagrama d'equilibri.

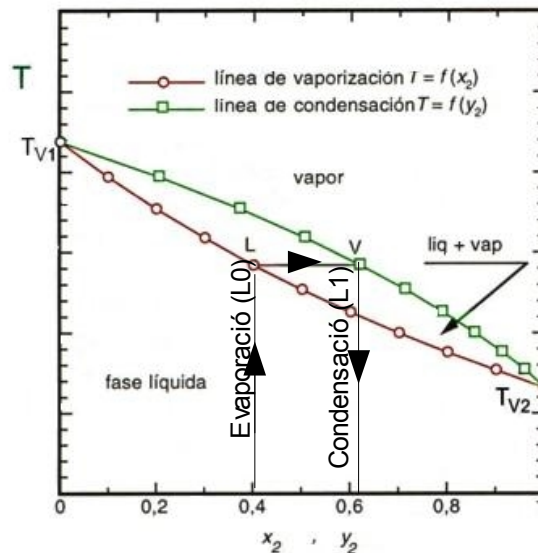


Figura 2.2: Diagrama de punt d'ebullició

El diagrama isobàric o de punt d'ebullició, a una pressió determinada, es representen les temperatures de bombolla i de rosada davant la composició del líquid i del vapor.

Cal observar que el vapor V1 obtingut a partir del líquid L0, una vegada condensat proporcionarà un líquid L1 més ric en el component volàtil. Etapes successives d'evaporació i condensació conduiran a l'increment de puresa del component volàtil.

En el diagrama d'equilibri es representa la fracció molar del component més volàtil en la fase de vapor, davant a la mateixa fracció molar d'aquest en la fase líquida. Aquest diagrama és molt útil en el càlcul de columnes de rectificació

Com es pot observar en el diagrama isotèrmic de la *Figura 2.2*, la pressió de vapor total del sistema a una temperatura donada, augmenta a mesura que augmenta la proporció del component més volàtil. No obstant, hi ha dissolucions binàries que difereixen tant de la idealitat que la pressió del sistema a una temperatura donada presenta un màxim o un mínim. Com a conseqüència, presenten punts d'ebullició màxims o mínims, denominades aquestes dissolucions azeotròpiques.

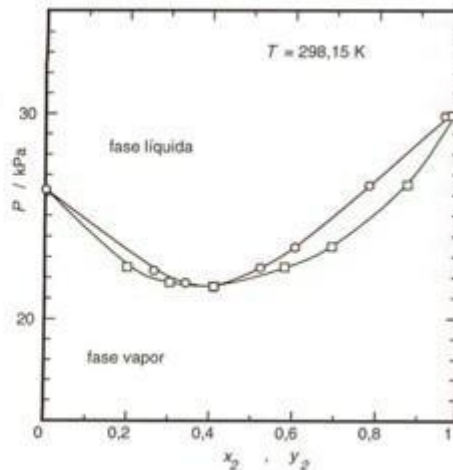


Figura 2.3: Diagrama isobàric d'una mescla azeotròpica

En aquests sistemes, no es podrà arribar mai a obtenir un component pur, ja que en el punt en què es forma l'azeotrop, la fracció molar del component més volàtil en el vapor és la mateixa que la del líquid. En el sistema representat a la *Figura 2.3*, es pot veure que per destil·lació no es podrà purificar el component més volàtil de més de 0,4 de fracció molar.

Per a realitzar el diagrama isobàric de la mescla etanol-aigua, es comença per calcular les pressions de vapor dels components. Com que una atmosfera és aproximadament un bar, la pressió total del sistema seran 10^{-2} kPa

Les pressions de vapor es calculen per l'equació d'Antoine:

$$P_{vap}(T) = \exp\left[A - \frac{B}{C + T}\right] \quad (2.4)$$

A on A, B i C són les constants d'Antoine específiques per a cada substància, T la temperatura en °C, i P_{vap} en kPa.

Per a l'alcohol i l'aigua les equacions són les següents:

$$P_{vap}(T) = \exp\left[16.6758 - \frac{3674.49}{226.45 + T}\right] \quad (2.5)$$

$$P_{vap}(T) = \exp\left[16.2620 - \frac{3799.89}{226.35 + T}\right] \quad (2.6)$$

Les pressions de vapor calculades estan a l'Annex 9.1.

Com es pot observar en l'annex, la temperatura d'ebullició de l'alcohol està al voltant dels 78 °C, que és quan la pressió de vapor a aquesta temperatura iguala a la del sistema (100 kPa=1atm)

La pressió total és la suma de les pressions parcials:

$$P = p_1 + p_2 = P_1 x_1 + P_2 x_2 = P_1 x_1 + P_2 (1 - x_1) \quad (2.7)$$

D'on:

$$x_1 = (P - P_2) / (P_1 - P_2) \quad (2.8)$$

$$y_1 = P_1 / P = x_1 \cdot P_1 / P \quad (2.9)$$

Comportament ideal de la mescla etanol-aigua:

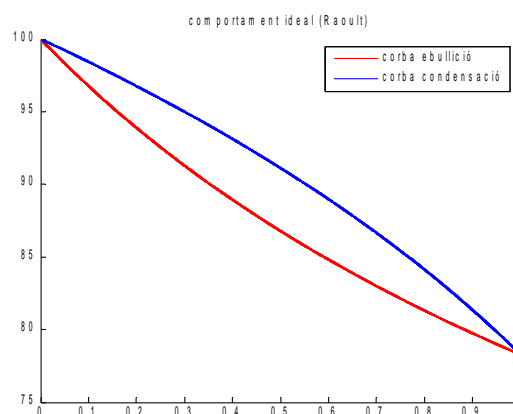


Figura 2.4: Comportament ideal (etanol-aigua)

El codi utilitzat en el Matlab està en l'Annex 9.2.

Comportament real (Margules)

És una fórmula semi-empírica del comportament real de mescles no ideals. És un bon model aproximat per a una barreja d'alcohol en un dissolvent no polar. Aquest model, juntament amb el de Van Laars, són els més senzills, i són una bona aproximació per a baixes pressions. La fórmula dels coeficients d'activitat en una solució binària és:

$$\ln \gamma_1 = [A_{12} + 2(A_{21} - A_{12})x_1]x_2^2 \quad (2.10)$$

$$\ln \gamma_2 = [A_{21} + 2(A_{12} - A_{21})x_2]x_1^2 \quad (2.11),$$

on A_{12} i A_{21} són les constants de Margules per a cada element.

El procediment per a realitzar la gràfica de la *Figura 2.5* és similar a l'explicat anteriorment. Només cal substituir l'expressió de la pressió de vapor, multiplicant aquesta mateixa pel paràmetre gamma de l'expressió de Margules. Com que aquesta expressió depèn de la concentració en el líquid dels elements, aquesta es troba a partir de la pressió de vapor, el càlcul per trobar les concentracions cal fer-lo mitjançant tècniques de resolució d'equacions no lineals. En el cas del Matlab tenim la funció “*solve*”, i si es volgués fer amb Excel, es podria resoldre amb la tècnica de mínims quadrats.

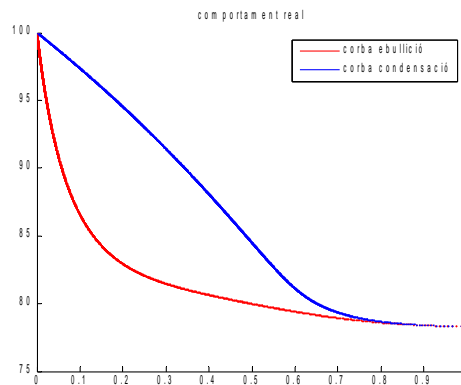


Figura 2.5: Aproximació del comportament real (etanol-aigua)

El codi utilitzat per a generar la gràfica anterior està a l'Annex 9.3.

Comparació del comportament ideal i real:

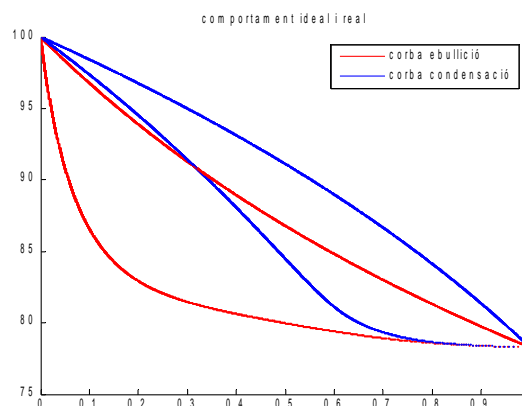


Figura 2.6: Comportament ideal i real

3 Modelat Tèrmic del Sistema

3.1 Equivalent Elèctric de la Transferència de Calor

Conducció

Per a un pla d'una dimensió s'usa la fórmula empírica de Fourier:

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

El flux de calor q'' (W/m²) és la velocitat de transmissió de calor en la direcció x per unitat d'àrea perpendicular a la direcció de transferència, i és proporcional al gradient de temperatura dT/dx en aquesta direcció. La proporcionalitat de la constant k és la conductivitat tèrmica (W/m·K), que és característica del material.

El signe negatiu és pel fet que la calor està transferida en la direcció del decreixement de la temperatura. En estat estacionari, a on la distribució de temperatura és lineal, el gradient de temperatura pot ser expressat com:

$$\frac{dT}{dx} = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3.2)$$

I el flux de calor :

$$q'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3.3)$$

o

$$q'' = -k \frac{\Delta T}{L} \quad (3.4)$$

L'equació anterior determina el flux de calor, que és el ritme de la transmissió de calor per unitat d'àrea. Per tant, el ritme de conducció q (W) a través d'una paret d'àrea A és el producte del flux i l'àrea.

$$q = q'' \cdot A = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.5)$$

Convecció:

Una forma apropiada per la transferència apropiada per la transferència de calor en la condensació és de la forma:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (3.6),$$

a on q'' és el flux de calor per convecció (W/m^2), que és proporcional a la diferència de temperatura entre la superfície (T_s) i el fluid (T_∞). Aquesta expressió és coneguda com la llei de refredament de Newton, i la proporcionalitat de la constant h ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) és anomenada coeficient de transferència de calor en convecció. La fórmula anterior s'utilitza si $T_s > T_\infty$, i per tant, si el flux de calor es transmet des de la superfície cap al fluid. En el cas contrari, si $T_s < T_\infty$, la fórmula utilitzada és:

$$q'' = h(T_\infty - T_s) \quad (3.7)$$

Com es veurà posteriorment, el flux de calor en convecció no és proporcional a la temperatura, encara tant en règim estacionari o com aproximació les expressions anteriors són vàlides.

Radiació:

A diferència de la conducció i convecció, en la transferència de calor per radiació no es requereix d'un material intermig, i la seva màxima eficiència es duu a terme en el buit. El límit màxim de la potència d'emissivitat està definit per la llei d'Stefan-Boltzman:

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad (3.8),$$

a on T_s és la temperatura absoluta (en $^\circ\text{K}$) de la superfície, i σ és la constant d'Stefan-Boltzman ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^4$). Aquesta superfície s'anomena radiador ideal o cos negre.

El flux de calor emès per una superfície real és menor que la d'un cos negre a la mateixa temperatura, i està definida per:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (3.9),$$

on ε és la propietat radiativa anomenada emissivitat. El seu rang va de $0 \leq \varepsilon \leq 1$, i mesura com d'eficient és la superfície emetent energia respecte a un cos negre. Depèn de la superfície del material i del seu acabament.

Si un cos petit emet energia cap a un altre molt més gran que l'absorbeix, l'expressió de la transferència de calor per unitat de superfície és:

$$q''_{rad} = \frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (3.10)$$

Per a poder expressar la transferència de calor proporcionalment amb la temperatura es pot usar la fórmula:

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{sur}) \quad (3.11),$$

sent h_r :

$$h_r \equiv \varepsilon \sigma (T_s + T_{sur})(T_s^4 + T_{sur}^4) \quad (3.12)$$

Cal fixar-se que es pot utilitzar l'equivalent elèctric del flux de calor.

En els tres casos de transmissió de calor es poden expressar en una expressió de la forma:

$$q = h A (\Delta T) \quad (3.13)$$

I en l'analogia elèctrica:

$$\text{voltatge} \equiv \Delta T$$

$$\text{intensitat} \equiv q$$

$$\text{resistència} \equiv \frac{1}{hA} \quad (3.14)$$

Per tant, es pot introduir el terme de resistència tèrmica i analitzar els circuits tèrmics com a circuits elèctrics. L'objectiu d'aquest capítol és trobar un equivalent elèctric del sistema, per tant, les magnituds elèctriques exposades en realitat són magnituds tèrmiques.

També cal fixar-se que les fonts de tensió en el model elèctric equivalen a una diferència de temperatura, i les fonts de corrent equivalen a un flux de calor (W). Per tant, en un model elèctric que representi el comportament tèrmic, el fogó de 500 W, suposant que converteixi tota la potència elèctrica consumida en calor, equivaldria a una font de corrent de 500 A. De la mateixa manera la temperatura ambient es modelarà com una font de tensió del mateix voltatge que la seva temperatura.

Per tal de modelar la quantitat de calor que un cos pot emmagatzemar es recórrer al mètode de la capacitat de constants localitzades. Aquest mètode negligeix els gradients de temperatura que hi han dins d'un cos, i analitza la variació de la temperatura de les parets del cos amb el seu entorn, analitzant el flux d'energia interna d'un cos en ser situat en un ambient a diferent temperatura. D'aquesta manera es pot analitzar el flux de calor en règim transitori.

Per tant, tenint en compte que la transferència d'energia dins del cos durant dt ha de ser igual a l'increment d'energia del cos durant dt , es té que:

$$hA_s (T_\infty - T) dt = mc dT \quad (3.15)$$

Com que la massa és igual a la densitat pel volum, i $dT = d(T - T_\infty)$, com que T_∞ és constant, l'expressió anterior es pot arreglar com:

$$\frac{d(T - T_\infty)}{T - T_\infty} = \frac{-hA_s}{\rho V c_p} dt \quad (3.16)$$

Integrant des de $t=0$, en la que $T=T_i$, en tot el temes t , en la que $T=T(T)$, dóna:

$$\ln \frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \frac{-hA_s}{\rho V c_p} t \quad (3.17)$$

Multiplicant per l'exponencial ambdós costats i arreglant:

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}, \text{ a on } \frac{hA_s}{\rho V c_p} \quad (3.18)$$

Aquesta expressió recorda la càrrega d'un condensador. Així doncs, es modela la transferència d'energia d'un cos en l'ambient, com una capacitat calorífica d'aquest cos amb una resistència tèrmica.

Cal recordar que en aquest mètode es considera que en l'interior del cos no hi ha diferències de temperatura. Aquesta aproximació no és descabellada, pensant que la transferència de calor dins del cos per conducció serà major que les pèrdues amb l'exterior.

Per tant, es pot dibuixar un circuit elèctric equivalent de les pèrdues que hi ha al pot:

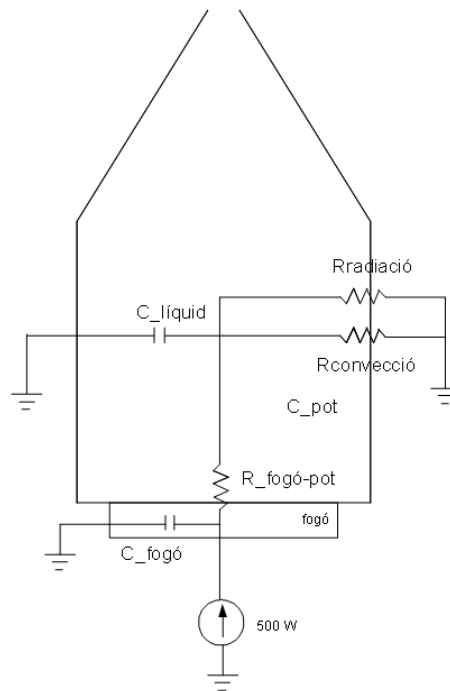


Figura 3.1: Equivalent elèctric

3.2 Anàlisi Tèrmic

Convecció lliure. Correlacions empíriques:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = CRa_L^n \quad (3.19),$$

on el nombre de Rayleigh és:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\alpha \cdot V} \quad (3.20)$$

Normalment, $n=1/4$ per a corrents laminars, i $1/3$ per a corrents turbulents. Per a un corrent turbulent es troba que h_L és independent de L . Totes les propietats han estat avaluades a la temperatura de film, $T_f = (T_s + T_\infty)/2$.

L'expressió 3.19 ha estat desenvolupada per a un pla vertical. El coeficient C i l'exponent n depenen del rang del nombre de Rayleigh.

L'expressió que pot ser aplicada en tot el rang de Ra_L ha estat recomanada per Churchill i Chu, i és de la forma:

$$Nu_L = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad (3.21)$$

Encara que l'equació anterior és adequada per la majoria de càlculs en l'enginyeria, una millor aproximació per al règim laminar és :

$$Nu_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}, \quad Ra_L \leq 10^9 \quad (3.22)$$

3.2.1 Anàlisi de la Caldera

La transferència de calor per convecció lliure està donada per la llei de refredament de Newton:

$$q = h \cdot \Delta s (T_s - T_\infty) \quad (3.23)$$

Busquem h a partir del nombre de Rayleigh:

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\alpha \cdot V} \quad (3.24a)$$

$$Ra_L = \frac{9.8 \text{ m/s}^2 / 300 \text{ K} (80 - 20) \text{ }^\circ\text{C} 0.25^3}{22.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \cdot 15.89 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 8.565 \cdot 10^7 \quad (3.24b)$$

$$Nu_L = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad (3.25a)$$

$$Nu_L = \left(0.825 + \frac{0.387 \cdot (8.565 \cdot 10^7)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.707)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 = 58.282 \quad (3.25b),$$

a on:

$$h = \frac{Nu_L \cdot k}{L} = \frac{58.282 \cdot 26.3 \cdot 10^{-3}}{0.25} = 6.1312 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (3.26)$$

Llavors la transmissió de calor per convecció serà:

$$q = h \cdot \Delta s (T_s - T_\infty) \quad (3.27a)$$

$$q = 6.1312 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 2\pi \cdot 0.1 \cdot 0.25 \text{ m}^2 (80 - 20)^\circ\text{C} = 57.785 \text{ W} \quad (3.27b)$$

Cal observar, però, que la resistència tèrmica depèn de la temperatura.

Les pèrdues per radiació seran:

Suposant el coeficient d'emissivitat $\varepsilon = 0.07$ (per a coure polit):

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \Delta s \cdot \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (3.28a)$$

$$q_{rad} = 0.07 (0.25 \cdot 2\pi \cdot 0.1) \text{ m}^2 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot (353^4 - 293^4) \text{ K}^4 = 2.54 \text{ W} \quad (3.28b)$$

Cal observar que les pèrdues per radiació no depenen linealment amb la temperatura, i per tant, si el rang de temperatura és elevat, no es pot modelar com una resistència.

Els resultats són els següents:

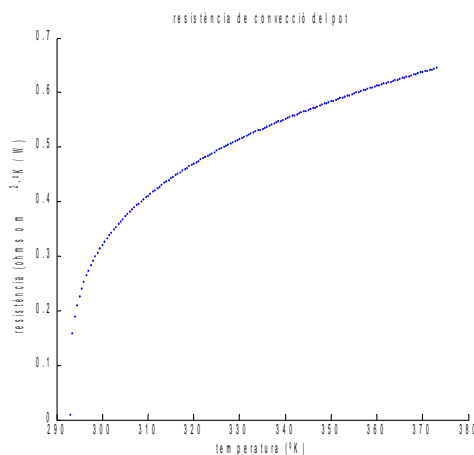


Figura 3.2: Resistència tèrmica de convecció

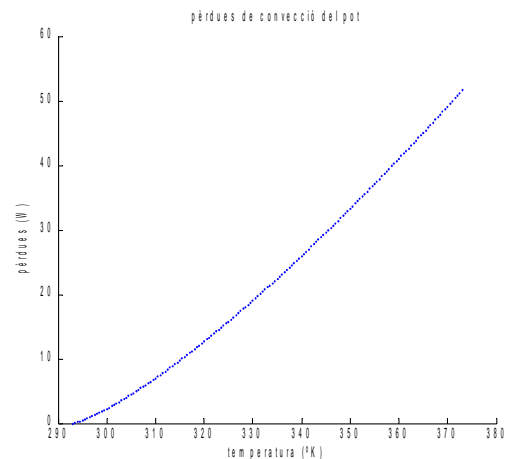


Figura 3.3: Pèrdues per convecció

3 Modelat Tèrmic del Sistema

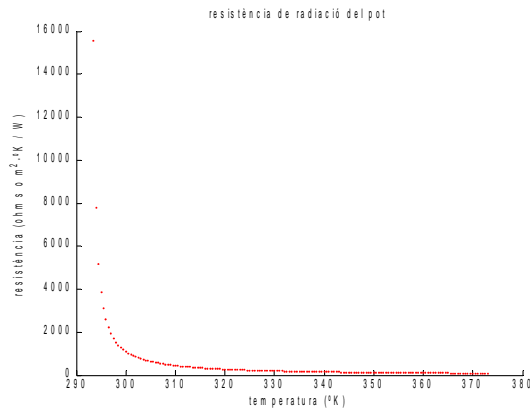


Figura 3.4: Resistència tèrmica de radiació

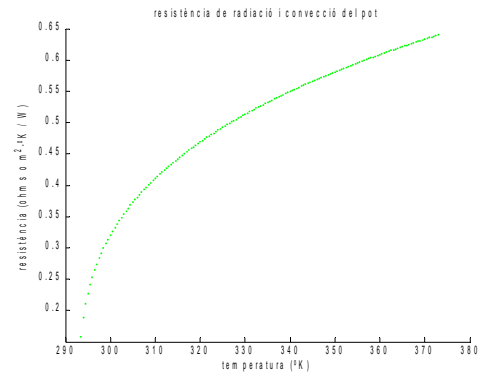


Figura 3.5: Resistència tèrmica de la caldera

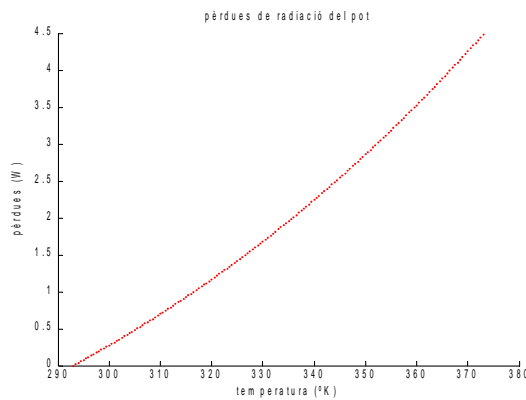


Figura 3.6: Pèrdues per radiació de la caldera

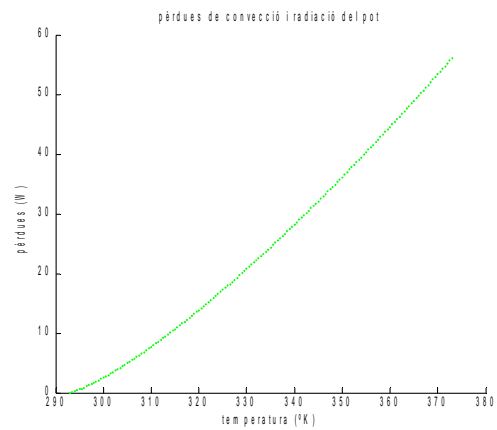


Figura 3.7: Pèrdues en la caldera

El codi del Matlab on s'han realitzat els càlculs estan a l'Annex 9.4.

Ara que se sap la resistència tèrmica en funció de la temperatura, es pot dibuixar l'equivalent elèctric del circuit tèrmic de la part del pot, tenint en compte la resistència tèrmica per conducció i convecció, i la capacitat calorífica de l'aigua:

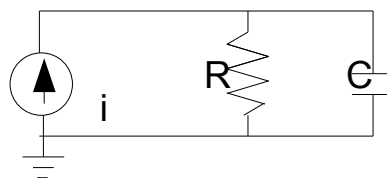


Figura 3.8: Circuit equivalent de la caldera

I fent l'equivalent de Thevenin:

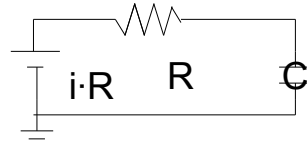


Figura 3.9: Equivalent de Thevenin

En el domini de Laplace:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{\frac{1}{Cs}}{\frac{1}{Cs} + R}$$

$$V_o(s) = \frac{i \cdot R}{s} \frac{\frac{1}{Cs}}{\frac{1}{Cs} + R} = \frac{i \cdot R}{s} \frac{1}{1 + RCs} = \frac{i \cdot R}{s} \frac{\frac{1}{RC}}{\frac{1}{RC} + s} \quad (3.29)$$

Per a la transformada inversa de Laplace ho descomponem en fraccions parcials:

$$V_o(s) = \frac{i \cdot R}{s} \frac{\frac{1}{RC}}{\frac{1}{RC} + s} = \frac{A}{s} + \frac{B}{\frac{1}{RC} + s} \quad (3.30a),$$

a on:

$$A = (i(s)R/RC)/(1/RC)$$

$$B = (i(s)R/RC)/(-1/RC)$$

Substituint A i B:

$$V_o(s) = \frac{(iR/RC)/(1/RC)}{s} - \frac{(iR/RC)/(-1/RC)}{\frac{1}{RC} + s} \quad (3.31a)$$

$$V_o(s) = \frac{\frac{i}{C}}{\frac{1}{RC}} + \frac{\frac{i}{C}}{\frac{-1}{RC}} = \frac{i \cdot R}{s} - \frac{i \cdot R}{\frac{1}{RC} + s} \quad (3.31b)$$

$$V_o(s) = i \cdot R \cdot L^{-1} \left[\frac{1}{s} \right] - i \cdot R \cdot L^{-1} \left[\frac{1}{\frac{1}{RC} + s} \right] \quad (3.31c)$$

La transformada inversa de Laplace de l'equació anterior és:

$$V_o(t) = i \cdot R - i \cdot R \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (3.32)$$

Per tal de veure l'evolució de la temperatura del amb les resistències variables en funció d'aquesta, s'ha afegit el següent codi al programa que calcula les resistències tèrmiques:

```
Tout=1;
for t= 1 : 1 : 1800,
    Ts=373;
    while Tout<Ts,
        Tout=293+500*Rtotal (Ts) -500*Rtotal (Ts) *exp (-t/ (Rtotal (Ts) *C) );
        Ts=Ts-1;
    end
    hold on;
    plot (t, Tout) ;
end
```

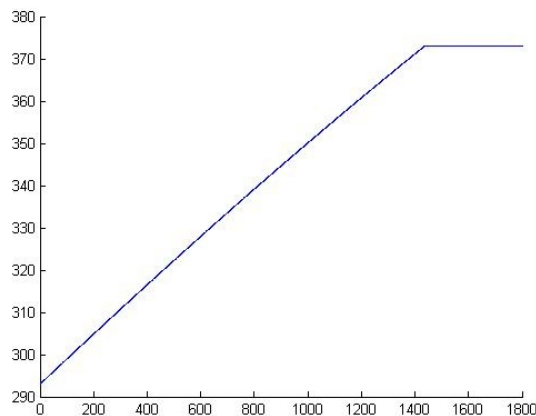


Figura 3.10: Evolució en el temps de la temperatura de la caldera variant la resistència tèrmica

El que fa aquesta rutina és anar provant valors de resistències en cada temperatura ($R_{total}(T_s)$). Mentre que la temperatura del líquid (T_{out}) sigui més baixa que la temperatura T_s que està el sistema, es van provant les resistències a aquesta temperatura. Quan la temperatura de la resistència coincideix amb T_{out} , es té el valor de la temperatura al temps definit t . És a dir, es comença calculant la temperatura, suposant la resistència a 100 °C (373 °K). Mentre que la resistència a la temperatura T_s sigui més gran que la calculada, es va disminuint T_s fins que es troba la temperatura del líquid. El resultat és el següent:

La part plana del final de la gràfica és perquè no s'han calculat les resistències tèrmiques a més de 373 °K . No obstant, el comportament de la gràfica correspon amb la realitat, ja que l'aigua no superarà els 373 °K , que és on entrarà en ebullició.

El codi complet està a l'Annex 9.5.

Tot seguit es calculen les pèrdues en el tub que va des de la caldera fins al condensador:

Per a un cilindre llarg:

$$q = q_{conv} + q_{rad} \quad (3.33)$$

a on:

$$q_{conv} = h \pi D (T_s - T_\infty) \quad (3.34)$$

$$q_{rad} = \varepsilon \pi D \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (3.35)$$

Per a un cilindre horitzontal llarg:

$$Nu_D = \frac{hD}{k} \quad (3.36)$$

D'on en podem saber el valor de h:

$$h = \frac{k}{D} Nu_D \quad (3.37)$$

El nombre de Nusselt serà:

$$Nu_D = \left(0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad (3.38)$$

I Ra serà:

$$Ra_D = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) D^3}{\alpha \cdot V} = \frac{9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 1/300 \text{ K} (80 - 20) \text{ }^\circ\text{C} \cdot 0.25^3 \text{ m}}{15.89 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \cdot 22.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \quad (3.39)$$

Fent els càlculs amb Matlab, la resistència tèrmica i les pèrdues del tub depenent amb la temperatura són els següents:

3 Modelat Tèrmic del Sistema

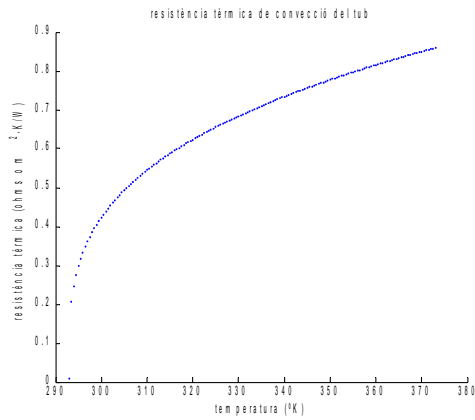


Figura 3.11: R tèrmica de convecció del tub

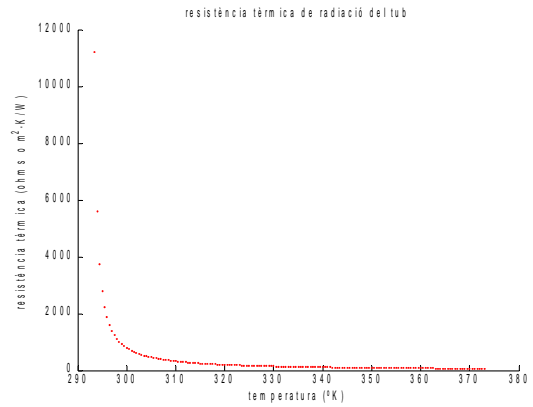


Figura 3.12: R tèrmica de radiació del tub

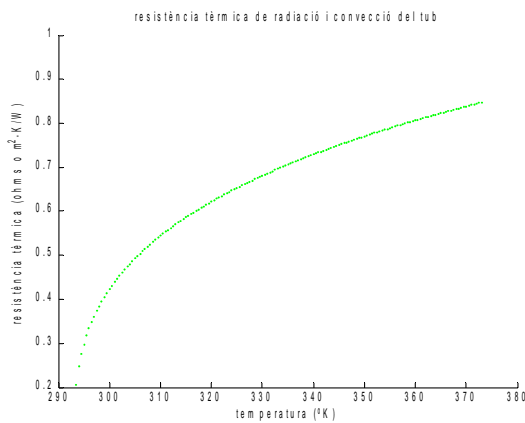


Figura 3.13: R tèrmica del tub

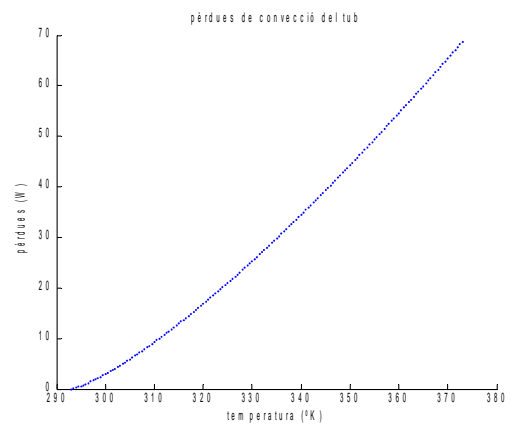


Figura 3.14: Pèrdues per convecció

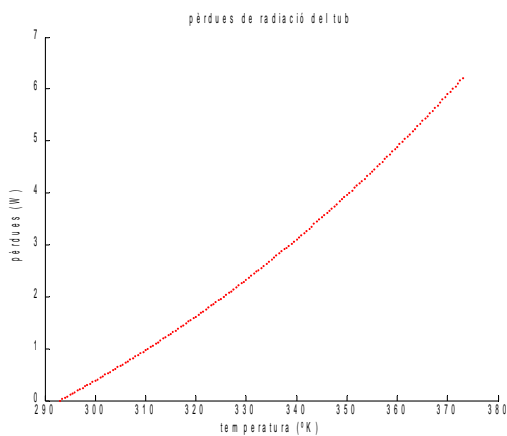


Figura 3.15: Pèrdues per radiació

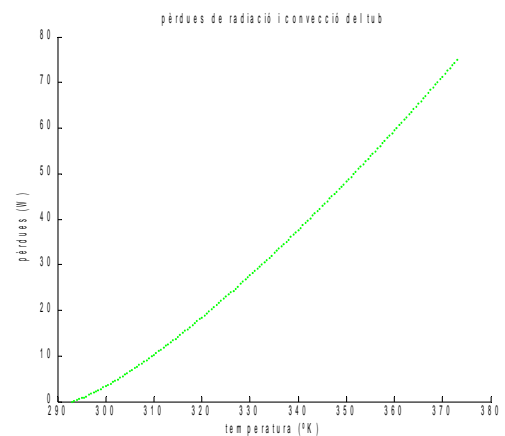


Figura 3.16: Pèrdues totals en el tub

Com que les resistències tèrmiques no varien massa amb la temperatura, es simularà l'equivalent elèctric amb les resistències tèrmiques calculades a 80 °C. El codi del Matlab està al mateix fitxer que l'anàlisi de la caldera, a l'Annex 9.4.

Per a simular elèctricament el fenomen de l'evaporació, se situarà un zener o un circuit equivalent que limiti l'increment de temperatura a la temperatura d'ebullició. El flux de calor (o equivalentment, la intensitat) que arribi al pot, es destinarà a generar vapor.

Càlculs de la generació de vapor:

Es pot considerar aproximadament la velocitat en què la massa destil·lada arribarà al condensador serà la intensitat (la potència calorífica en l'analogia elèctrica) que travessa el zener, que serà l'energia destinada a crear vapor, dividida per l'energia necessària per evaporar una unitat de massa.

En el cas que el líquid a destil·lar fos aigua:

$$Vel_{evap} = I_z [J/s] \cdot \frac{1 [g_{H2O}]}{2253 [J]} = \frac{I_z}{2253} [g/s] \quad (3.40)$$

L'energia que arribi al condensador serà la que s'ha necessitat per elevar la temperatura del líquid fins al punt d'ebullició, més la necessària per a l'evaporació.

En el cas de l'aigua:

$$P_{cond} = \frac{I_z}{2253} [g/s] \cdot (2253 [J/g] + (T_{eb} - T_{amb}) 4.18 [J/g]) \quad (3.41)$$

Suposant la temperatura ambient de 20°C i la del destil·lat de sortida 35:

$$P_{cond} = I_z \cdot \frac{2253 + (100 - 20) 4.18}{2253} = I_z \cdot 1.14842 W \quad (3.42)$$

Cal fixar-se que la potència que arriba bescanviador de calor on es condensarà el vapor és major (114.8%) que la subministrada a l'entrada, ja que encara que l'energia subministrada a l'entrada es dissipi en la seva totalitat entre les pèrdues, la refrigeració i el destil·lat, aquesta té un desfasament en el temps abans no arriba el vapor al bescanviador.

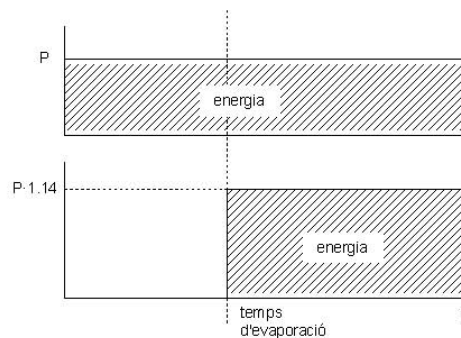


Figura 3.17: Transmissió de l'energia

La calor que s'hagi d'evacuar en el bescanviador serà la que s'ha necessitat per elevar la temperatura del líquid fins al punt d'ebullició, més la necessària per a l'evaporació, menys la diferència entre la temperatura de sortida del líquid i l'ambient:

$$P_{dis} = \frac{I_z}{2253} [g/s] \cdot (2253 [J/g] + (T_{eb} - T_{amb}) 4.18 [J/g] - (T_{dest} - T_{amb}) 4.18 [J/g]) \quad (3.43)$$

Suposant la temperatura ambient de 20°C i la del destil·lat de sortida 35 °C:

$$P_{dis} = I_z \cdot \frac{2253 + (100 - 20) 4.18 - (35 - 20) 4.18}{2253} = I_z \cdot 1.12059 W \quad (3.44)$$

L'energia acumulada en la sortida del destil·lat serà la quantitat de massa que s'ha evaporat multiplicada per la diferència de temperatura entre el destil·lat i l'ambient:

$$P_{dest} = I_z \cdot \frac{(35 - 20) 4.18}{2253} = I_z \cdot 27,83 \cdot 10^{-3} W \quad (3.45)$$

D'aquesta manera es pot modelar la calor acumulada en el líquid destil·lat, substituint-lo al circuit equivalent com una font de corrent que tingui com a referència I_z , i amb un guany de $27.83 \cdot 10^{-3}$.

L'inconvenient que té utilitzar aquest model, és que la temperatura del líquid resultant és independent del sistema de refrigeració. Per a solucionar-ho s'hauria de multiplicar el guany pel rendiment del dissipador, que dependria del flux d'aire dels ventiladors i del cabal d'aigua. Una manera més senzilla de modelar aquest comportament, veient que la temperatura del resultat del destil·lat augmenta amb la temperatura de l'aigua de refrigeració, suposant que els dos elements estan a la mateixa temperatura, seria modelant-ho com una resistència en la qual el valor del seu corrent a 30° és igual a la potència que es dissipa, calculada anteriorment.

3.3 Model del Radiador

Al no disposar de les característiques tècniques per part del fabricant, s'ha pres la temperatura de l'aigua de refrigeració un cop havent destil·lat aigua, deixant un temps prudencial de 15 minuts per a què els vapors de la caldera no aportin un calor significatiu al bescanviador de calor. La bomba s'ha deixat activada per a possibilitar la circulació de l'aigua, i els ventiladors s'han apagat per a què l'energia sigui dissipada únicament en els radiadors, els tubs del circuit, i el bescanviador de calor en contacte amb l'ambient.

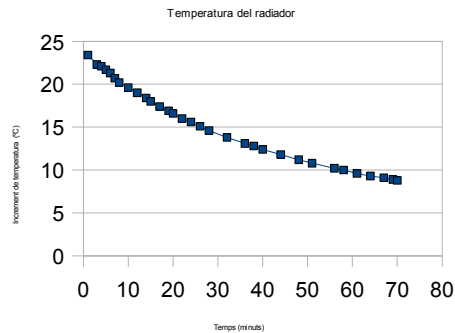


Figura 3.18: Evolució de la Temperatura del radiador

L'equivalència elèctrica del circuit és la següent:

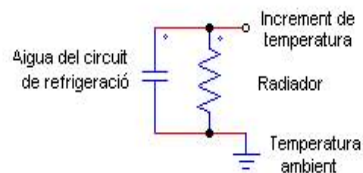


Figura 3.19: Equivalent elèctric

Les mesures de la temperatura s'han pres utilitzant el sensor de temperatura del circuit de refrigeració. Degut a què el circuit de lectura de la temperatura no té un error uniforme en tot el rang de mesures, hi pot haver diferències entre les temperatures preses i la real. Aquestes dades estan a l'Annex 9.6.

Com que la superfície de contacte amb l'aire és molt més gran en els dos radiadors que en els tubs i el bescanviador de calor, es menysprea l'existència d'aquests últims per als supòsits en els càlculs.

La descàrrega del condensador segueix la següent expressió:

$$V_C = V_0 \cdot e^{(-t/\tau)} \quad (3.46)$$

Al minut 10 l'increment de la temperatura és de 30 °C, i al minut 76 és de 10.2 °C.

El temps entre les dues mostres és de 3960 segons.

El valor inicial del condensador de l'equivalent elèctric és l'increment de temperatura respecte l'ambient en el minut 10 del mostreig. Per tant:

$$10.2 = 30 \cdot e^{(-3960/\tau)} \quad (3.47)$$

$$\ln \frac{10.2}{30} = \frac{-3960}{\tau}$$

$$\tau = \frac{-3960}{\ln \frac{10.2}{30}} = 3670.71 \text{ s} \quad (3.48)$$

Tenint en compte que la capacitat és la capacitat calorífica de l'aigua de refrigeració, i en el circuit de refrigeració hi caben aproximadament 0.8 litres, el valor del condensador serà de 3344 F.

$$\text{Com que } \tau = R \cdot C \text{ ,} \tag{3.49}$$

La resistència tèrmica del radiador és de:

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{3670.71}{3344} = 1.0977 \Omega \tag{3.50}$$

3.4 Model dels Ventiladors

Els passos a seguir seran els mateixos per als càlculs del model del radiador. Els ventiladors, en activar-se, faran baixar la resistència tèrmica dels radiadors. Per a modelitzar aquest fenomen, els modelarem mitjançant una resistència que quedarà en paral·lel amb la dels radiadors, de manera que a partir dels càlculs de la resistència tèrmica dels radiadors amb els ventiladors engegats, es podrà deduir el valor d'aquesta resistència. Cal que quedi clar que en sí mateixos els ventiladors no tenen resistència tèrmica en la qual es dissipa el calor.

Els resultats de les mesures preses són les següents:

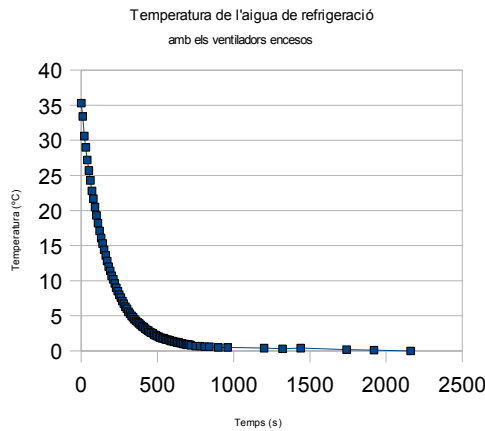


Figura 3.20: Evolució de la temperatura

L'equivalència elèctrica del circuit és la següent:

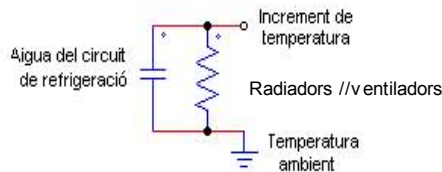


Figura 3.21: Equivalent elèctric

3 Modelat Tèrmic del Sistema

La descàrrega del condensador segueix la següent expressió:

$$V_C = V_0 \cdot e^{(-t/\tau)} \quad (3.51)$$

En l'inici l'increment de la temperatura és de 35.3 °C, i al segon 540 és de 1.8 °C. Per tant:

$$1,8 = 35,3 \cdot e^{(-540/\tau)} \quad (3.52)$$

$$\ln \frac{1,8}{35,3} = \frac{-540}{\tau}$$

$$\tau = \frac{-540}{\ln \frac{1,8}{35,3}} = 181,45 \text{ s} \quad (3.53)$$

$$\text{Com que } \tau = R \cdot C, \quad (3.54)$$

la resistència tèrmica dels radiadors en paral·lel amb la dels ventiladors és de:

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{181,45}{3344} = 54,26 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (3.55)$$

Com que en l'apartat anterior s'havia calculat la resistència tèrmica dels radiadors, es pot saber la que aporten els ventiladors:

$$R = \frac{R_{vent} \cdot R_{rad}}{R_{vent} + R_{rad}} \quad (3.56)$$

$$R_{vent} = \frac{-R \cdot R_{rad}}{R - R_{rad}} = \frac{-54,26 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0977}{54,26 \cdot 10^{-3} - 1,0977} = 57,08 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (3.57)$$

3.5 Model del Sistema

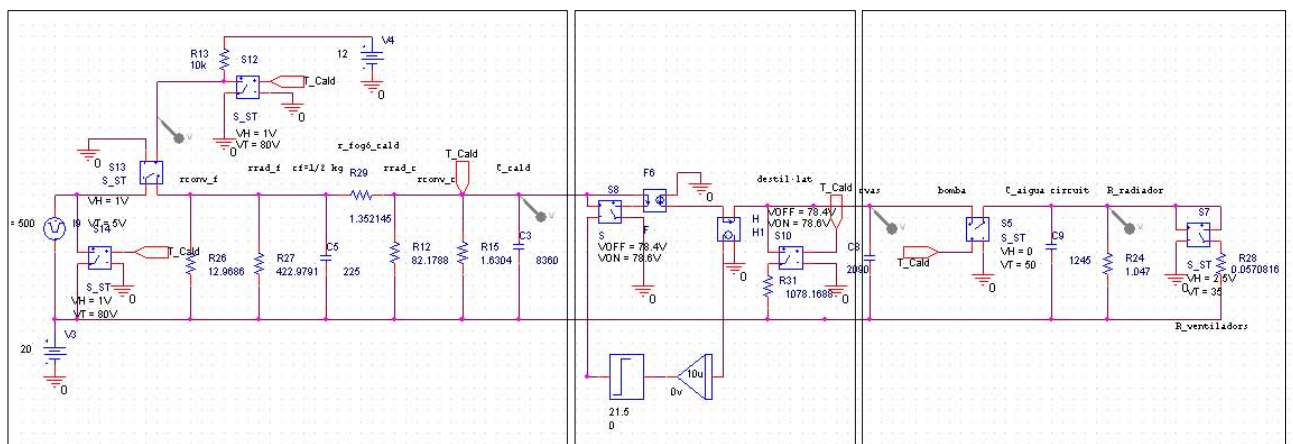


Figura 3.22: Equivalent elèctric del sistema

Mostrem el circuit per parts:

Primera part:

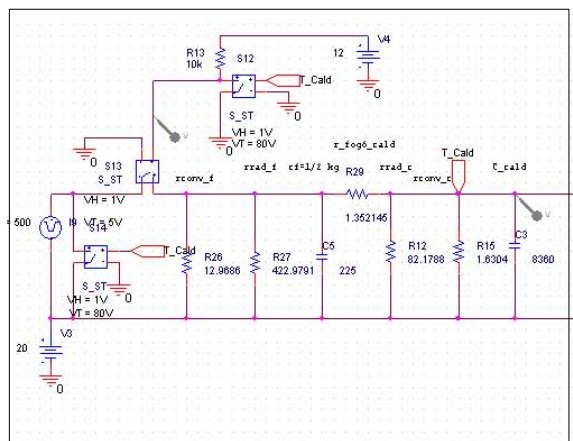


Figura 3.23: Caldera

La font de tensió de 20 V modelitza la temperatura ambient (20 °C). El fogó està representat per la font de corrent, que injecta un flux de calor al sistema. La font de calor escalfa el fogó (carrega C5), i en part es dissipa pel contacte del fogó amb l'aire, tant per convecció com per radiació (R26 i R27). A mesura que s'escalfa el fogó, la calor és transferida a través de la resistència de contacte entre el fogó i la caldera, escalfant així el líquid a destil·lar (C3) i perdent-se alhora pel contacte de la caldera amb l'aire (R12 i R15). Cal fixar-se que les resistències que dissipen la calor queden en paral·lel amb la font de calor, i les que en limiten la transferència, queden en sèrie.

Els interruptors controlats que queden en sèrie i en paral·lel amb la font de calor simulen l'efecte del control sobre el fogó, apagant aquest quan la temperatura supera la desitjada, curtcircuitant la font i desconnectant-la de la resta del circuit.

Segona part:

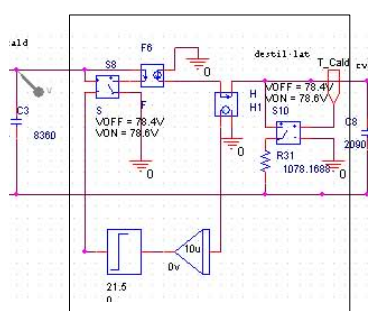


Figura 3.24: Condensació

Quan el líquid ha arribat a la temperatura d'ebullició (o a la temperatura que es consideri que es genera vapor), l'interruptor controlat (S8) permet que la calor marxi de la caldera en forma de vapor. D'aquesta manera la temperatura deix d'incrementar-se, i s'injecta energia al circuit de refrigeració gràcies a la font de corrent controlada per corrent,

que representa l'energia emmagatzemada al vapor i que s'ha de dissipar. Cal recordar que aquesta font té un guany major que 1, ja que a més de l'energia destinada a generar el vapor, conté la que s'ha utilitzat per a escalfar el líquid fins al punt d'ebullició. A l'hora de realitzar la les simulacions, s'ha vist que utilitzant el guany calculat d'aquesta font, la temperatura de l'aigua de refrigeració s'elevava en excés. Baixant el guany de la font a la meitat, les dades de la simulació concorden amb les reals. Una possible explicació és que no tot el vapor que es genera arriba a sortir de la caldera, sinó que aproximadament la meitat d'aquest, en tocar les parets de la caldera, es torna a condensar en el seu interior.

Part de l'energia a dissipar-se ho farà degut a la diferència de temperatura que tingui el destil·lat respecte la temperatura ambient. Això està representat per l'interruptor S10. L'integrador que sensa la quantitat de calor (o vapor) que arriba al circuit de refrigeració modela el fet que a mesura que es va avançant en el procés de destil·lació, la temperatura d'ebullició de la mescla augmenta, degut a què cada vegada la concentració és més pobre en alcohol. El limitador de la sortida de l'integrador evita que la temperatura augmenti per sobre de la d'ebullició de l'aigua.

El guany del sensor de l'entrada de l'integrador s'ha calculat de la següent manera:

Suposant que la variació del punt d'ebullició és lineal, i que en una mescla del 10% d'alcohol la temperatura d'ebullició és de 86 °C, i que en una del 0% és de 100 °C, es té que el guany del sensor ha de ser de 0.16. A fi de poder observar millor aquesta contribució a la temperatura d'ebullició, en les simulacions s'ha utilitzat un guany unitari.

Tercera part:

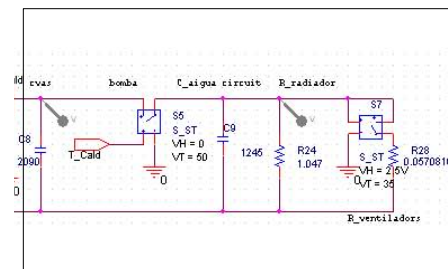


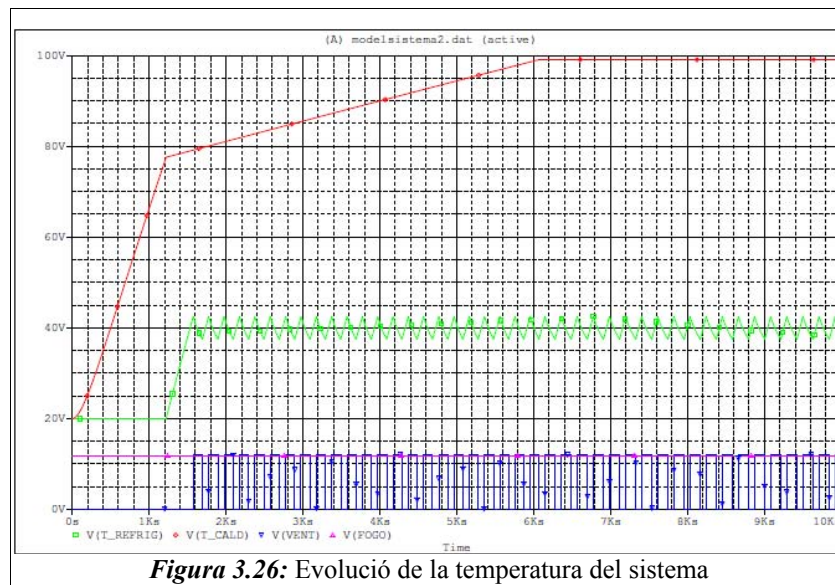
Figura 3.25: refrigeració

El vapor que arriba al bescanviador de calor, escalfa l'aigua d'aquest (C8). A partir dels 50 °C de la temperatura en la caldera engegarem la bomba (S5), que posa en contacte l'aigua del vas amb la de la resta del circuit (C9). La calor es dissipa en els radiadors (R24). Quan la temperatura de l'aigua de condensació arriba a uns 35 °C, s'activen els ventiladors (S7), que fan baixar la resistència tèrmica dels radiadors connectant R28 en paral·lel d'aquesta.

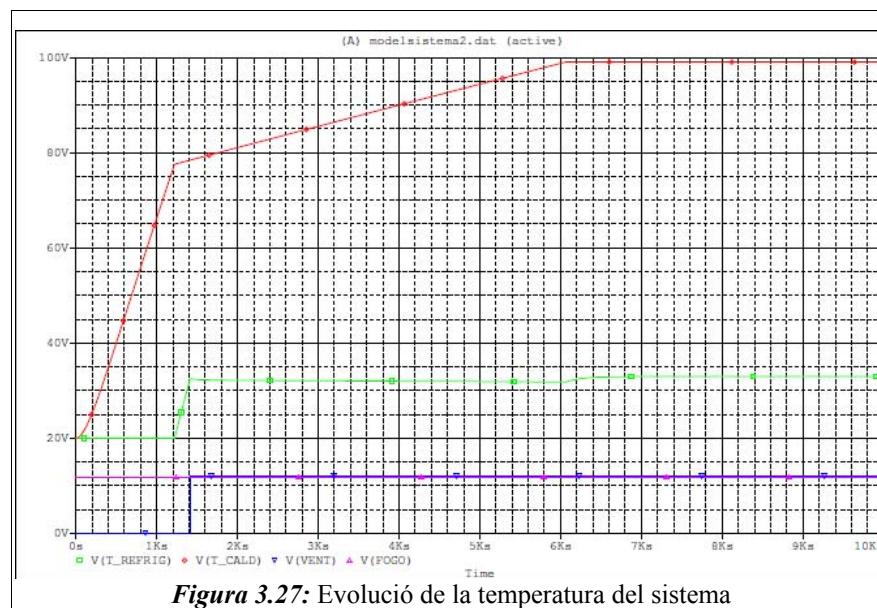
Resultats de la simulació:

En les simulacions s'ha utilitzat un guany de 2 en el sensor situat a l'entrada de l'integrador que simula l'increment de la temperatura d'ebullició de la mescla, a fi d'accelerar-ne aquest procés per veure'n els canvis en el sistema de refrigeració.

3 Modelat Tèrmic del Sistema

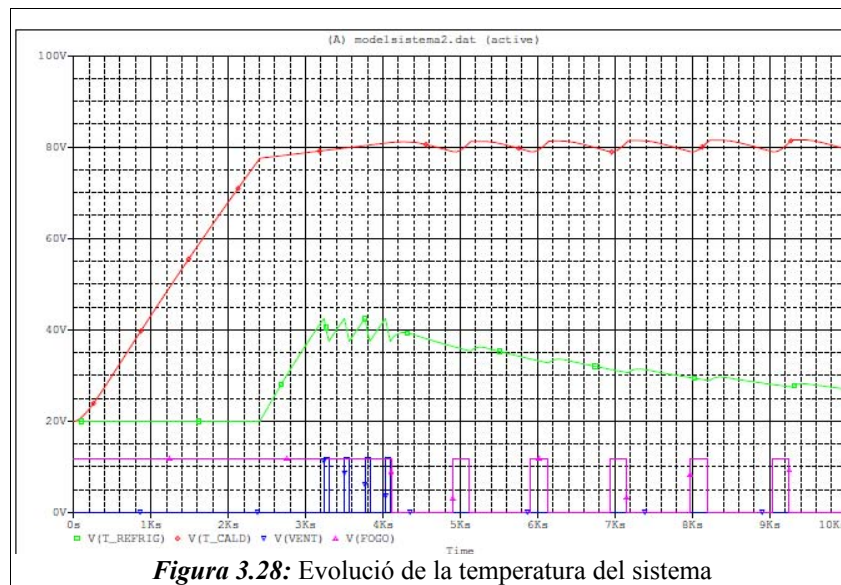


La *Figura 3.26* mostra la simulació amb el foc engat i la consigna d'activació dels ventiladors a 40 °C. Els ventiladors es van engenant i apagant, i es pot observar la seva contribució a la temperatura de l'aigua de refrigeració, baixant-la ràpidament.

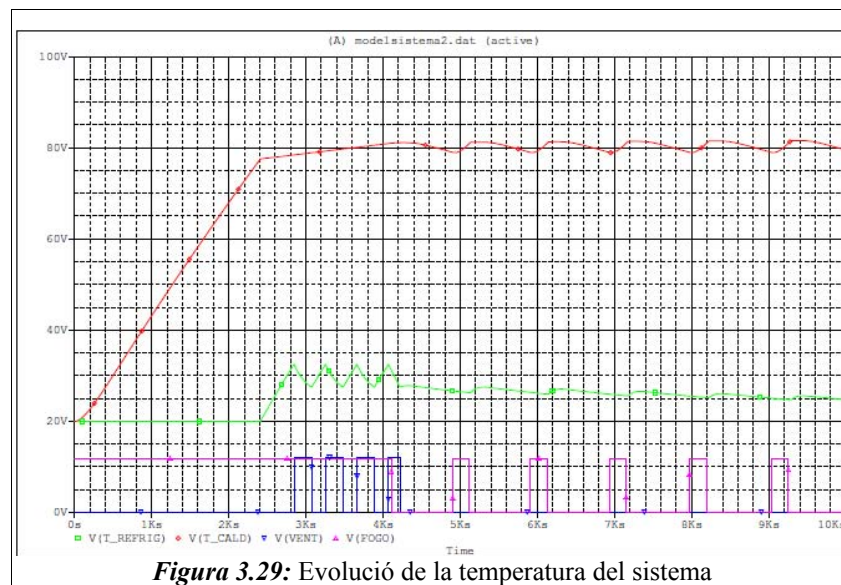


La *Figura 3.27* mostra la simulació amb el foc encès i la consigna dels ventiladors a 30 °C. Els ventiladors, un cop es comença a generar vapor, funcionen contínuament.

3 Modelat Tèrmic del Sistema



Amb la consigna d'activació del foc a 80 °C per al foc i 40 per als ventiladors, aquests últims s'activen un temps després de començar a generar-se vapor, i ja no es tornen a encendre. En les proves experimentals no succeeix el mateix, sinó que es van activant de tant en tant.



Amb la consigna d'activació del foc a 80 °C i 30°C per als ventilados, aquests últims es connecten abans que en el cas anterior. Al cap d'un temps ja no es tornen a activar. El senyal d'activació del foc, en quant al cicle de treball, coincideix amb els resultats experimentals, ja que està més temps apagat que engegat.

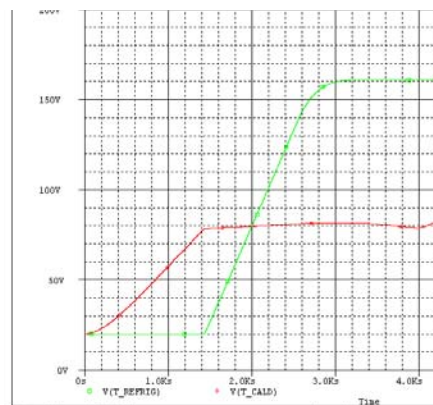


Figura 3.30: Bomba apagada

Si no s'activa la bomba es pot veure com la temperatura de l'aigua del vas de condensació augmenta bruscament .

3.6 Càlcul del Cabal Necessari d'Aigua

Es calcularà la quantitat necessària d'aigua de refrigeració suposant que no hi ha pèrdues de calor amb l'ambient, i que per tant, la potència aportada al sistema serveixi per evaporar el líquid. Es farà així perquè la calor cedida per part del vapor amb l'aigua de refrigeració tampoc serà perfecte.

Anteriorment s'ha calculat que la potència que arribaria al condensador seria un 112.05% de la potència que arribaria al dissipador seria de:

$$P_{cond} = 500 \text{ W} \cdot 1.1205 = 560.25 \text{ W} \quad (3.58)$$

Degut a no disposar d'un full de característiques de la bomba, s'ha mesurat experimentalment el cabal que aquesta pot moure:

alçada	litres a omplir	temps (min)	litres/min
0	20	10	2
45	20	13,5	1,48
85	20	23	0,87
140			0

Taula 3.1: Cabal experimental de la bomba

3 Modelat Tèrmic del Sistema

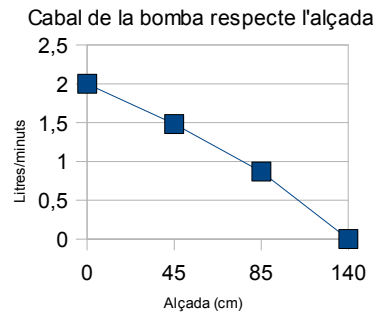


Figura 3.31: Cabal experimental de la bomba

A 45 cm la bomba pot moure 1.5 litres/minut, que són 0.025 kg/s en el cas de l'aigua. Això correspon a una capacitat calorífica de:

$$C = m \cdot c \cdot \Delta T = 25 [g/s] \cdot 4.18 [j/g \cdot K] \cdot 10 [K] = 1040 W \quad (3.59)$$

El resultat anterior seria correcte si el sistema de refrigeració tingués un rendiment del 100%. Com que això no serà així, la capacitat de refredament de l'aigua serà menor, ja que aquesta no sortirà del radiador a la temperatura ambient, sinó que ho farà a una temperatura més elevada. De totes maneres, encara que el rendiment fos del 60%, el cabal hauria de ser el suficient per aconseguir que no s'evapori el resultat del destil·lat.

4 Implementació

4.1 Alimentacions

4.1.1 Primera Proposta de Font:

S'ha pensat en utilitzar reguladors lineals per al subministrament de les diferents tensions (+12, -12, i 5 V). Partim d'un transformador simètric de 15+15. EL regulador de al font de 5V es podria penjar de la font de 12 V, crear un debanat addicional al transformador d'entrada per a que sigui, per exemple: 15+15+7, o intentar una reducció de la tensió a dissipar pel regulador mitjançant els dos condensadors que s'observen en el circuit de la *Figura 4.1*. Aquesta és potser l'opció més exòtica i intentarem veure si pot funcionar. L'avantatge d'aquesta opció es que no cal afegir el debanat al transformador, cosa que és difícil si el transformador no és toroïdal.

El disseny del circuit és el següent:

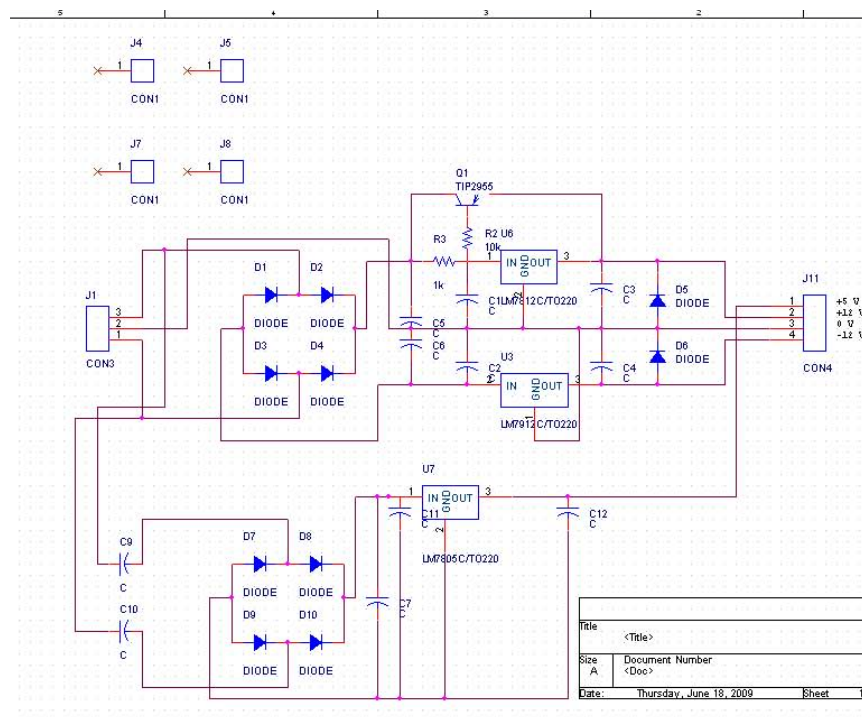


Figura 4.1: Primera proposta de font

Ja que l'integrat LM7812, que subministra els 12 V pot oferir un corrent màxim a la sortida de 0.5 A, que és el mateix corrent que consumeix la bomba:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{6W}{12V} = 0.5 A \quad (4.1)$$

Per tant, es necessitaria un integrat per a la bomba, un altre per als ventiladors, i un altre per a l'alimentació dels operacionals en el circuit de control. L'alternativa és utilitzar la següent configuració:

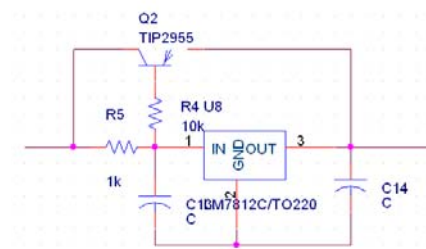


Figura 4.2: Augment de corrent en l'alimentació

Aquest circuit permet elevar el corrent de sortida en l'alimentació de 12 V. S'utilitza un transistor de potència per subministrar el corrent extra a la càrrega del regulador, mantenint-ne constant el voltatge. Els corrents de fins a 0.5 A són subministrats pel regulador, i quan se supera aquesta quantitat el transistor comença a conduir. L'inconvenient d'aquest circuit és l'excessiu escalfament del transistor. Si s'alimenta l'integrat amb 16 V i es necessiten 2 A a la sortida, la calor dissipada en el transistor és de $(16-12) \cdot 2 = 8$ W.

Per entendre el funcionament de la proposta de font del circuit anterior s'ha procedit a modelar el comportament dels reguladors lineals amb PSIM, i el resultat s'ofereix a continuació. El model és el mateix per a tots tres reguladors: +12, -12, i els 5 V, canviant només un dos paràmetres de tensió. El model de l'integrat de 5 V és el següent:

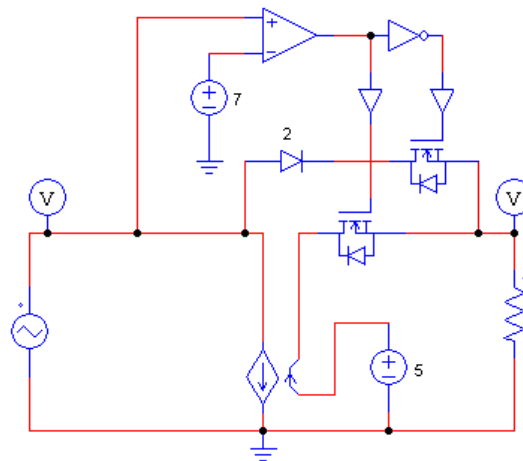


Figura 4.3: Model del regulador lineal

Suposant que no hi hagi pèrdues en l'integrat, el corrent d'entrada ha de ser el mateix de sortida. Això es duu a terme amb una font de corrent controlada pel corrent de sortida. La font de tensió de la sortida agafarà el valor dels +12, -12, o 5 V. El comparador que activa el mosfet serveix per modelar el voltatge mínim que es necessita a l'entrada per a què la sortida sigui la correcta. En el cas de l'integrat LM7805 i LM7812 (5 i 12 V) aquest valor ("dropout voltage") és de 2 V, i en el cas de l'LM7912 (-12 V) és de 1.1 V. Aquest valor és el que agafarà la font connectada a l'entrada del comparador. Per a valors d'entrada

insuficients, a la sortida es té un valor menor al desitjat, fins que arriba un punt en què la tensió és 0 V. Això s'aconsegueix col·locant el díode de 2 V de voltatge de llindar. La simulació per al de 5 V és la següent:

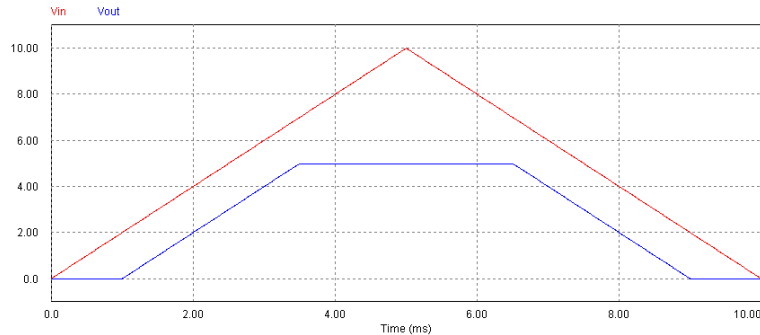


Figura 4.4: Integrat de 5 V

Tornant de nou a l'esquema teòric de la font d'alimentació del sistema, corresponent a la *Figura 4.1*, veiem que per evitar que l'integrat que ha de subministrar els 5 V no hagi de partir d'una tensió d'entrada de 30-40 V de pic provinent del transformador i rectificador, es col·loquen davant del pont rectificador dos condensadors per tal de què en aquests hi caiguin part dels volts de l'alimentació.

Per a alimentar l'integrat 7805 es necessita una tensió mínima a l'entrada de 8 V. El voltatge que ha de caure als condensadors és d'un màxim de $36-8=28$ V.

El consum de corrent del display del sensor de temperatura, mesurats amb un multímetre, és de 70 mA entre els dos. Per tant:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{28 \text{ V}}{70 \text{ mA}} = 400 \Omega \quad (4.2)$$

Això vol dir que el condensador haurà de ser de:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$C = -j \frac{1}{2\pi f Z_C} = -j \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 400} = 7.9 \mu F \quad (4.3)$$

Com que aquest valor el separarem en dos condensadors en sèrie, el valor d'aquests serà el doble. Agafant el valor comercial més proper i per sobre (ja que la capacítància calculada és la màxima possible), tenim els de $18 \mu F$.

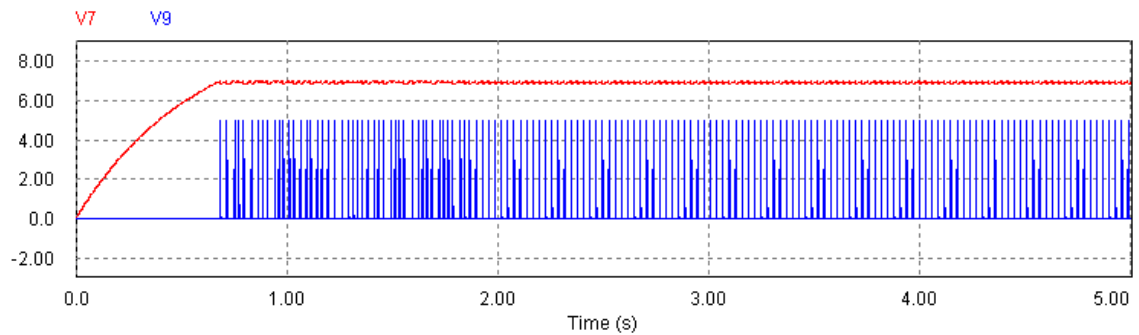


Figura 4.5: Alimentació de 5 V

Es pot veure que per poc que variï la càrrega, V7 ja no és capaç d'assolir el nivell de tensió necessari. Per tant, la variació de la tensió a l'entrada del regulador de 5 V, pot fer que la tensió d'entrada baixi per sota del llindar de 8 V, i el regulador no funcioni. Per tant, descartem aquest disseny per a la font de 5 V.

De fet, però, el problema més important de la font proposada, és el rendiment, doncs fa servir regulador lineals. Per tant, oblidem les altres alternatives per alimentar el regulador de 5 V, i passem directament a una alternativa de font commutada. El rendiment dels reguladors és el següent:

$$\eta = \frac{V_{out} \cdot I}{V_{in} \cdot I} \quad (4.4a)$$

I En el cas de l' LM7812, alimentant-lo des dels condensadors de filtre a uns 16 V a plena càrrega, i a una tensió de 20 V, quan està en buit:

$$\eta_1 = \frac{12}{20} = 0.6 \quad (4.4b)$$

$$\eta_2 = \frac{12}{16} = 0.75 \quad (4.4c)$$

Per tant, $0.6 < \eta < 0.75$.

4.1.2 Solució Adoptada per a la Font d'Alimentació:

Al final s'optarà per comprar una font commutada comercial de 12 V i 60 W, afegint dos reguladors commutats de 5 i -12 V, a fi de despreocupar-se dels consums de corrent per a possibles modificacions o ampliacions dels circuits, com per exemple l'alimentació d'una placa externa de control. La font commutada de 12 V és la VLT60_1001, el regulador commutat de 5 V PT78HT205V, i el de -12 V el PT78NR112V. La font commutada de 60 W converteix els 80-250 V de la xarxa a 12 V de contínua. Els reguladors de 5 V i -12 V es connecten a la sortida del mòdul de 60 W. Els mòduls de 5 V i -12 V tenen una connexió amb tres pins totalment equivalent i intercanviable amb els reguladors lineals LM7805 i LM7912. Els fulls de característiques dels tres elements estan a l'Annex 9.7.

4.2 Circuit d'Actuació sobre el Fogó, la Bomba, i els Ventiladors

Per tal d'utilitzar la planta per a futurs controls exteriors, s'ha optat per dissenyar una petita placa, que mitjançant relés, activi els diferents elements a partir del control manual, el control dissenyat, o un futur control extern, amb prioritat sempre del control manual.

Per a cadascuna de les tres senyals d'actuació hi haurà el següent circuit:

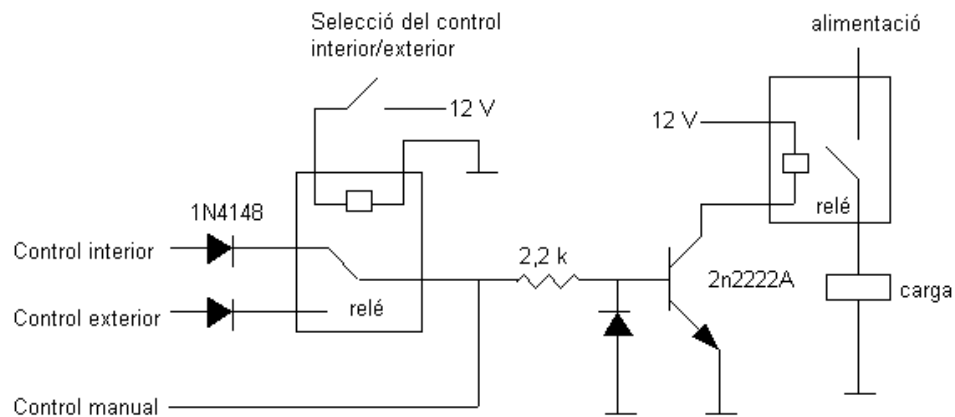


Figura 4.6: Circuit d'actuació

Els díodes en sèrie amb els senyals de control interior i exterior, s'han col·locat perquè si aquests no coincideixen, no es produeixin retorns de corrent entre les diferents plaques, que les puguin malmetre o funcionar incorrectament.

El díode connectat a la base del transistor és per protegir-lo en cas que les senyals de control adquireixin valors negatius. D'aquesta manera la sortida del control quedaria connectada a massa per mitjà de la resistència de la base del transistor.

El primer relé servirà per decidir si es vol controlar la planta amb el control interior o l'exterior. Les connexions permeten activar els elements amb el control manual, però no desactivar-los. Per a utilitzar únicament el control manual se situarà l'interruptor en posició de control exterior, sense connectar res als terminals del connector exterior.

El díode en sèrie amb el control manual no s'ha col·locat ja que aquests tenen un led per indicar si l'interruptor està activat o no. D'aquesta manera, si arriba un senyal d'actuació d'una de les dues plaques de control, s'activen els leds de l'interruptor per a visualitzar quins elements del circuit estan actius i quins no. El seu circuit intern dels interruptors és el següent:

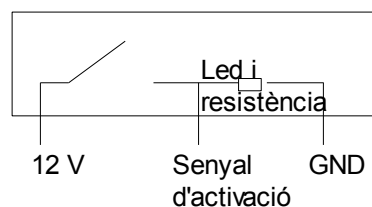


Figura 4.7: Circuit dels interruptors

4.3 Tractament de les Senyals de Temperatura i Visualització. Descripció:

Els senyals procedents del divisor de tensió format per la NTC i la corresponent resistència, *Figura 4.9*, adopten la forma d'una recta depenent de la temperatura (limitant-ne el rang), tal i com es mostra en la següent figura.:

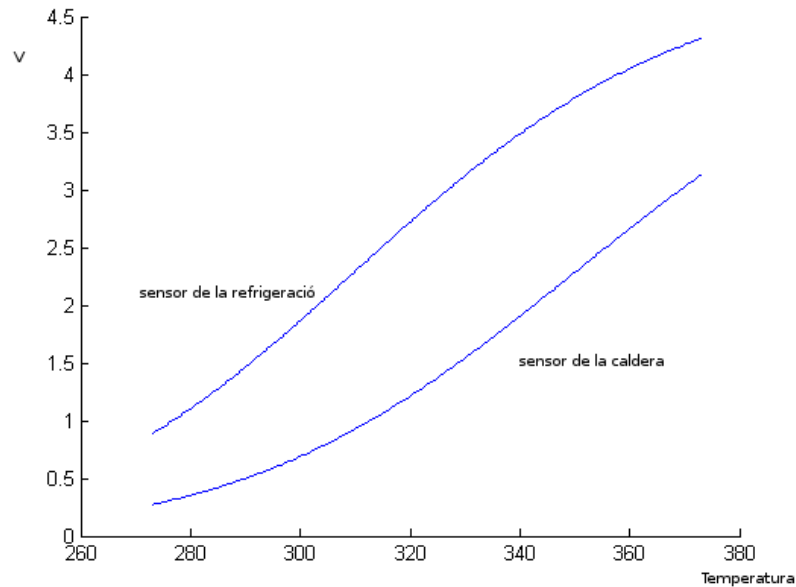


Figura 4.8: Voltatge als divisors de tensió

La lectura en el voltímetre també serà lineal. Per tant, el que s'ha de fer és multiplicar aquest senyal per un factor que n'adapti la pendent a la del voltímetre, i sumar o restar una tensió en contínua per a què n'ajusti el punt, de forma que el voltatge que mesura el voltímetre sigui proporcional a la temperatura.

Per a visualitzar el valor de les temperatures s'utilitzarà un voltímetre digital. Per tal de compartir el mateix voltímetre per a les dues sondes, es sumaran les tensions de cada sensor, un cop s'ha descartat un dels dos valors a sumar, curtcircuitant un dels senyals a massa. Com que la finalitat és poder veure els dos senyals en un mateix display, es curtcircuita alternativament una de les dos, mitjançant un NMOS. S'utilitzen dos leds de diferent color a fi de reconèixer a quina NTC correspon la lectura de la pantalla. Per a l'activació alternant dels MOSFETS s'utilitzarà un oscil·lador LM555.

El voltímetre té un fons d'escala de 200 mV. Si es treballa amb senyals d'aquesta magnitud els MOSFETS no funcionaran correctament, ja que la V_{DS} d'aquests serà massa petita. Per tant, col·locarem un divisor de tensió a l'entrada del voltímetre per tal de poder llegir tensions de 0 a 20 V. S'assignarà un volt per a cada 10 °C, de manera que a 0 V li corresponguin 0 °C i a 10 V 100 °C. Com que l'alimentació dels operacionals és de 12 V no es podran fer lectures superiors a uns 110 °C.

4.4 Càlculs del Tractament dels Senyals:

Senyal NTC₁ (Temperatura de la caldera) amb R=1.5 kΩ

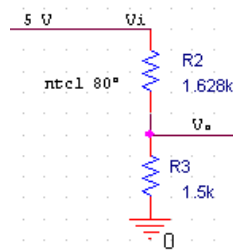


Figura 4.9: Divisor de tensió

Factor a multiplicar:

A 90 °C hi ha 2.773 V al divisor de tensió i se'n volen 9.

A 70 °C hi ha 2.016 V al divisor de tensió i se'n volen 7.

$$G = \frac{Go}{Gi} = \frac{9V - 7V}{2.773V - 2.016V} = 2.6420079 \quad (4.5)$$

Valor a sumar o a restar:

A 80 °C hi ha 2.398 V al divisor (S'agafa un valor que està a la meitat del segment).

Després de multiplicar hi ha:

$$G \cdot Vi = 2.64200079 \cdot 2.398 = 6.335534944 V \quad (4.6)$$

Però es volen 8 V. Per tant s'ha de sumar:

$$8 - 6.335534944 = 1.664465056 V \quad (4.7)$$

Un sumador no es pot utilitzar per a realitzar les dues operacions, ja la seva funció de transferència és:

$$Vo = \frac{V_1 \cdot R_2 + V_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4} \quad (4.8)$$

Es podrien utilitzar R₄ o R₃ per a ajustar, però variarien conjuntament el guany i l'offset, i s'haurien de variar constantment R₁ o R₂.

Per tant es farà en dos blocs:

Primer s'amplificarà amb un amplificador no inversor.

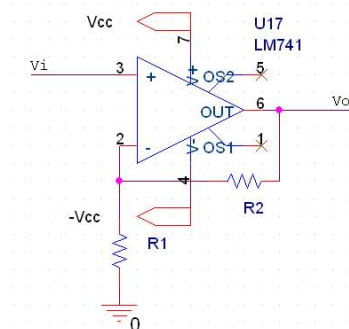


Figura 4.10: Amplificador no inversor

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (4.9)$$

Si $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$:

$$2.6420079 = \left(1 + \frac{R_2}{1}\right) \quad (4.10)$$

Per tant, $R_2 = 1.6420079 \text{ k}\Omega$. Es col·locarà un potenciòmetre a fi de poder ajustar el guany.

Ara es sumarà el resultat anterior amb el valor en contínua necessari:

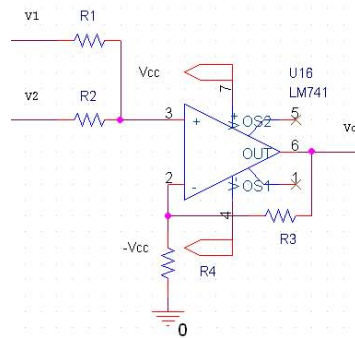


Figura 4.11: Sumador

$$V_o = \frac{V_1 \cdot R_2 + V_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4} \quad (4.11)$$

Sent V_1 el senyal de la temperatura no volent ser amplificada, llavors:

$$\frac{V_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4} = 1 \quad (4.12)$$

Llavors, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$

4 Implementació

No cal deixar cap resistència com a potenciòmetre a fi d'ajustar el guany, ja que si hi ha alguna variació es pot ajustar en l'etapa anterior i d'aquesta manera tampoc es modificarà el valor a sumar.

Com que per ajustar l'offset, el valor a sumar és menor de 5 V, es col·locarà un divisor de tensió per a aconseguir el valor desitjat. Un amplificador no inversor no es pot utilitzar ja que el guany és menor de 1.

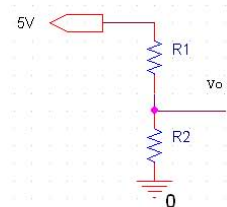


Figura 4.12: Valor a sumar

$$V_o = 5 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \quad (4.13)$$

Si $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 2.00396814 \text{ k}\Omega$, que serà un potenciòmetre en el que es podrà ajustar el valor a sumar.

Senyal NTC₂ (Temperatura del circuit de refrigeració) amb $R = 5.6 \text{ k}\Omega$

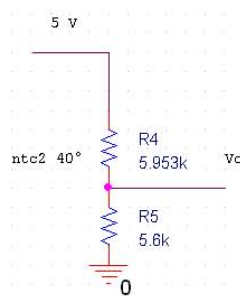


Figura 4.13: Divisor de tensió de la NTC₂

Factor a multiplicar:

A 50 °C hi ha 2.845 V al divisor de tensió i se'n volen 5.

A 30 °C hi ha 1.993 V al divisor de tensió i se'n volen 3.

$$G = \frac{G_o}{G_i} = \frac{5V - 3V}{2.895V - 1.993V} = 2.34741784 \quad (4.14)$$

Valor a sumar o a restar:

A 40 °C hi ha 2.398 V al divisor.

Després de multiplicar hi ha:

$$G \cdot Vi = 2.34741784 \cdot 2.424 = 5.690140845 V \quad (4.15)$$

Però es volen 8 V. Per tant s'ha de restar:

$$5.690140845 - 4 = 1.690140845 V \quad (4.16)$$

No es pot utilitzant un restador per a fer les dues operacions ja que:

$$Vo = V_2 \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad (4.17)$$

$$\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \text{Guany} \quad (4.18)$$

$$R_3 = R_4 \frac{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)}{\text{Guany}} - R_4 \quad (4.19)$$

Ajuntant-ho amb el què s'ha de sumar:

$$R_3 = R_4 \frac{\left(1 + \frac{\frac{R_2}{\text{Resta}}}{\frac{R_2}{1}} \right)}{\text{Guany}} - R_4 \quad (4.20)$$

Variar R2 no serveix de res. Només es pot variar R4. Al disminuir el valor de R4, R3 tendeix a 0 des de valors negatius.

Per tant, primer s'amplificarà amb un amplificador no inversor.

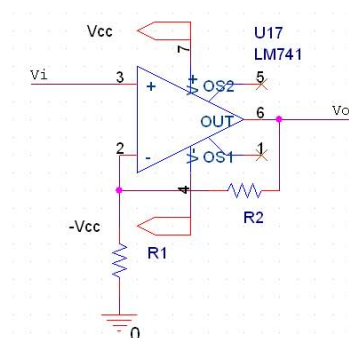


Figura 4.14: Amplificador no inversor

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (4.21)$$

Si $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$:

$$2.34741784 = \left(1 + \frac{R_2}{1}\right) \quad (4.22)$$

Per tant $R_2 = 1.347 \text{ k}\Omega$. Es col·locarà un potenciòmetre a fi de poder ajustar el guany.

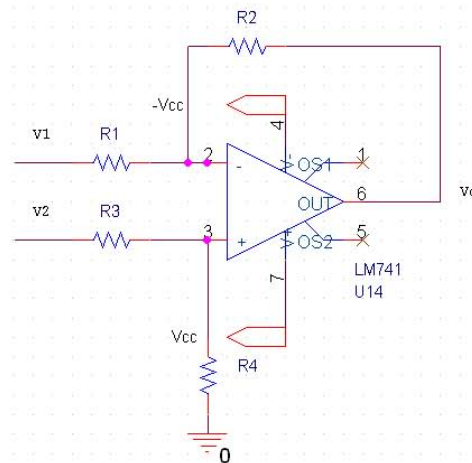


Figura 4.15: Restador

Ara es restarà el resultat anterior amb el valor en contínua necessari:

$$V_o = V_2 \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_1 \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (4.23)$$

Sent V_2 el senyal de la sonda i $V_1 = 5 \text{ V}$:

$$5 \left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 1,69 \quad (4.24)$$

Si $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$:

$$R_1 = \left(\frac{5}{1,690140844}\right) = 2.96 \text{ k}\Omega \quad (4.25)$$

Llavors:

$$\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \left(1 + \frac{1}{2.96}\right) = 1 \quad (4.26)$$

Si $R_4 = 4.7 \text{ k}\Omega$:

$$R_3 = 4.7 \left(1 + \frac{1}{2.96}\right) - 4.7 = 1.59 \text{ k}\Omega \quad (4.27)$$

Per estalviar-se un potenciòmetre al disseny final del circuit, s'arrodonirà la R2 de 1.347 a 1.2 kΩ, que és un valor comercial. Aquest canvi es pot compensar amb el potenciòmetre R3. D'aquesta manera l'ajust de la temperatura es complicarà una mica més, però en tractar-se de la temperatura de refrigeració el calibrat ha de ser tant crític.

Al canviar la primera R2 he passat a un guany de $(1+1.2/1)=2.2$ en comptes de 2.35.

Del restador de la part de baix es pot variar el valor de V2, variant R3 i R4.

Del valor que li hem de restar obtenim una R1 de 2.9 kΩ (potenciòmetre que al disminuir augmentem el valor a sumar) per a una R2 de 1 kΩ.

Llavors resulta que el guany que se li ha d'aplicar a V2 és de $(2.3474/2.2)=1.067$.

Per tant la segona part del circuit ha de ser capaç de proporcionar un guany lleugerament superior a 1.

La V2 la multipliquen una part fixe $(1+R2/R1)$ i l'altra variable amb R3 i R4. De la part de $(1+(R2/R1))$ tenim un guany de 1.34. Per tant, la part de $R4/(R3+R4)$ hauria de donar com a molt poc $(1.067/1.34)=0.7963$ si $R4=4.7$ kΩ, $R3=1.2$ kΩ.

Baixant el valor de R3 podem arribar a un guany de 1.3.

Configuració de l'integrat LM555 per a la generació del senyal per a l'alternança en la visualització de les temperatures:

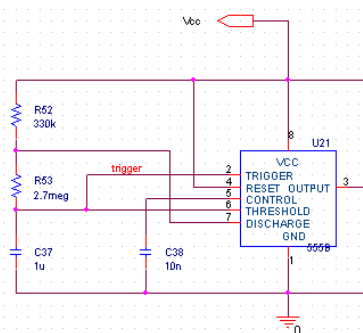


Figura 4.16: Configuració LM555

La configuració de les resistències i condensadors per al funcionament del 555 és la indicada al full de característiques per a un pols quadrat del 50% del cicle de treball. La freqüència del senyal generat, segons el fabricant és:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} \quad (4.28)$$

a on :

$$t_2 = \left[\frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B} \right] \cdot C \cdot \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right] \quad (4.29)$$

$$t_1 = 0.693 \cdot R_A \cdot C \quad (4.30)$$

Amb $R_A = 330$ kΩ i $R_B = 2.7$ MΩ, $t_1 = 2.0998$ segons, i $t_2 = 1.8711$ segons

Selecció alternant de les lectures dels sensors:

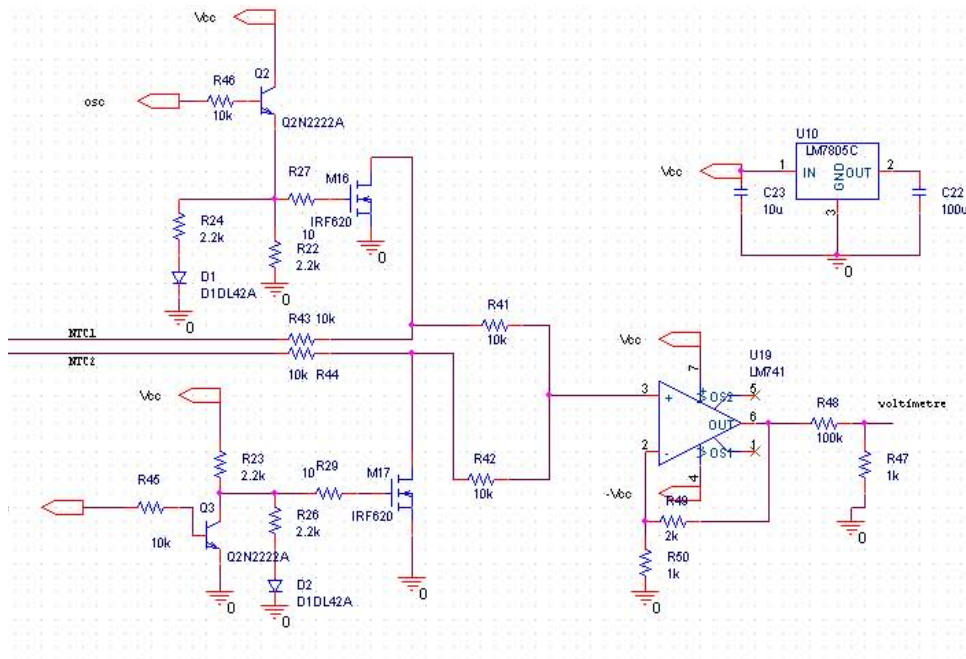


Figura 4.17: Selecció de la temperatura

El senyal “osc” que apareix a la *Figura 4.17* és la que ve del LM555.

El mosfet de dalt (M16):

Quan OSC='1' (5 V), el transistor condueix i hi ha una caiguda de tensió V_{GS} del mosfet, que connecta el senyal de la ntc1 a 0. S'activa el led.

Si OSC='0' (0 V) el mosfet entra en tall ja que $V_{GS}=0$, i el senyal de la NTC₁ arriba al sumador.

El mosfet de baix (M17):

Quan OSC='1' el transistor connecta la porta del mosfet a terra i aquest no condueix, i el senyal de la NTC₂ arriba al sumador. El mateix transistor col·loca els terminals del led a massa..

Si OSC='0' (0 V) el transistor no condueix i a la porta del mosfet hi ha V_{CC} . $V_{GS}=V_{CC}$, s'activa el mosfet i el senyal NTC₂ es connecta a massa i a l'entrada del sumador hi arriben 0 V.

Per a poder visualitzar de forma alterna les dues temperatures s'utilitzen R41, R42, R43, i R44. Quan un dels dos mosfets queda activat, el senyal que marca la temperatura contrària queda dividida per 1/3. Per aquesta raó s'ha col·locat a continuació un amplificador operacional com a multiplicador no inversor, que torna a multiplicar el senyal per 3.

Els leds

Els leds s'activen quan el senyal que arriba al sumador és de la NTC contrària.

Les resistències dels leds són $R=(12\text{ V} - 2\text{ V})/10\text{ mA}=1\text{ k}\Omega$ per al vermell i igual o una mica menys per a un led verd.

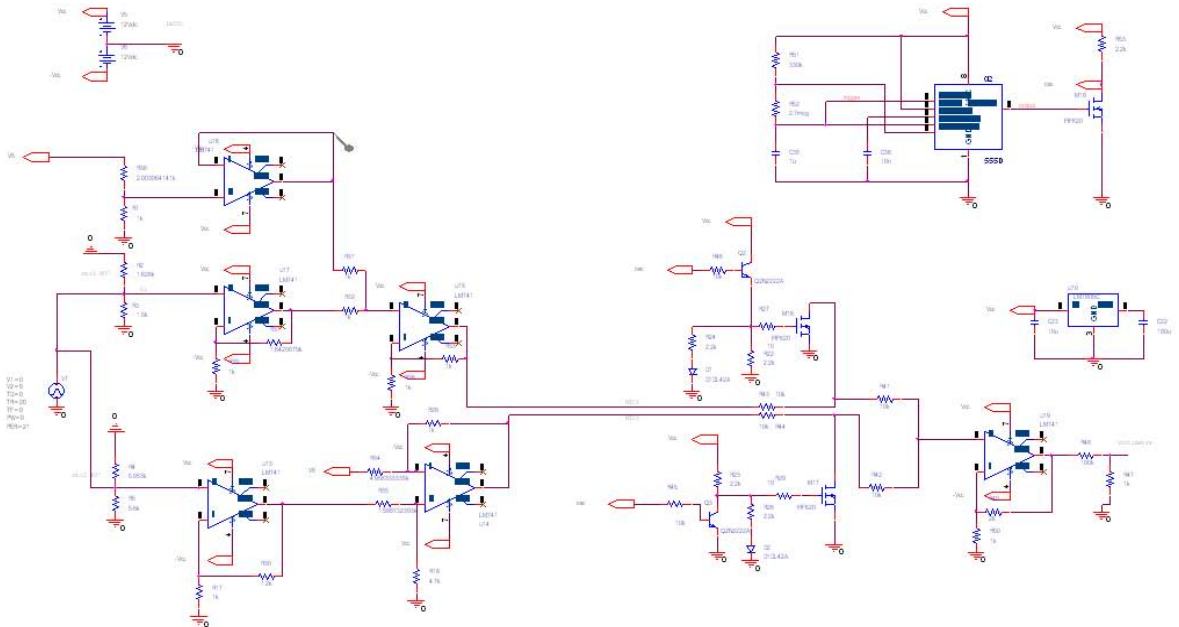


Figura 4.18: Circuit de lectura dels sensors

Senyal a l'entrada del display:

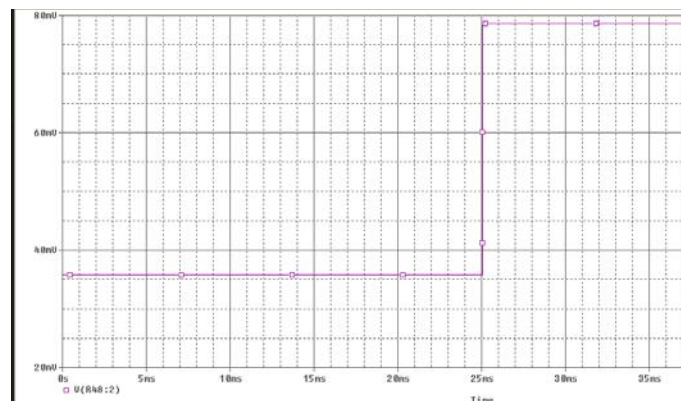


Figura 4.19: Lectura al voltímetre

A la *Figura 4.19* es pot veure el valor del senyal que mesura el voltímetre. Com es pot veure, hi ha un esglaió en aquest senyal. El valor anterior i posterior de l'esglaió és el senyal de cadascun dels sensors.

4.5 Variació de la Tensió al Voltímetre en Funció de la Temperatura, Suposant una Alimentació Constant.

Com que es desitja que la lectura del display sigui el més fidel possible, s'ha simulat la influència de la temperatura ambient en el circuit que processa el senyal que surt de la NTC fins que arriba al voltímetre.

La *Figura 4.20* mostra el voltatge corresponent a la temperatura del senyal NTC₂, que arriba al voltímetre, sometent el circuit (no la NTC₂) a una excursió de temperatura entre 0 i 100 °C.

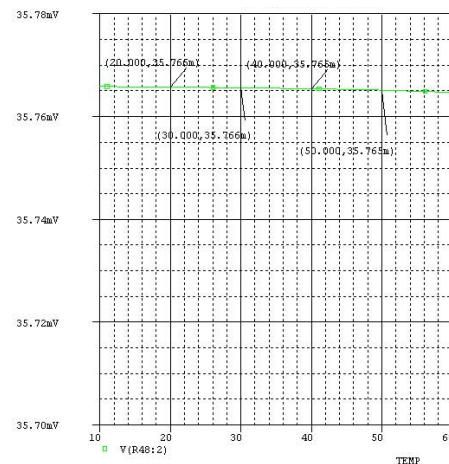


Figura 4.20: Lectura en el voltímetre

Com que la variació de la tensió és d'un mV per grau, de 20 a 50 es perden 0.001 °C

La *Figura 4.21* mostra el voltatge corresponent a la temperatura del senyal NTC₁, que arriba al voltímetre, sometent el circuit (no la NTC₁) a una excursió de temperatura entre 0 i 100 °C.

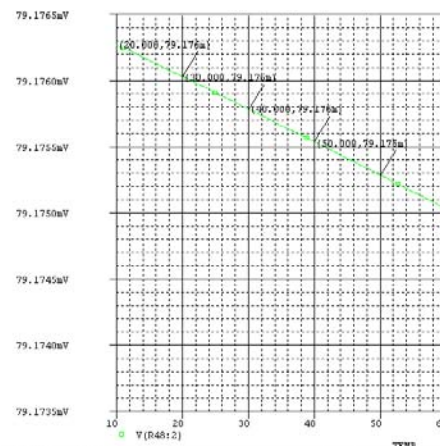


Figura 4.21: Lectura en el voltímetre

De 20 a 50 es perden 0.001 mV que equivalen a 0.001 °C

El fet que el circuit estigui a prop de fonts de calor (el fogó i els radiadors) i la temperatura de treball dels integrats pot variar, és important que la sortida del circuit depengui únicament de la variació de la resistència de les sondes i no de la temperatura ambient. S'ha vist que la variació en la lectura és inferior a la resolució del display. Per tant, donarem aquest circuit com a bo.

De tota manera, en el recinte on hi ha disposades les plaques de control, el mateixos ventiladors dels radiadors asseguruen que la temperatura interna serà pràcticament igual a l'exterior, ja que el flux d'aire és de dins a fora del recinte. Per tant, la influència de la temperatura en la precisió de la mesura que depèn de tres causes: circuit, alimentació i voltímetre-display, dels quals s'ha estudiat només la part corresponent al circuit, serà negligible, simplement perquè la temperatura ambient pràcticament no varia. Dels tres factors de deriva en la mesura abans esmentats, potser el més crític és la deriva de la font commutada de 5 V que alimenta el sistema de mesura.

4.6 Càlcul dels Comparadors amb Histèresis

4.6.1 Per al Control del Fogó

V14 simula el senyal procedent del sensor de temperatura de la caldera. Mitjançant un comparador amb histèresis (Schmitt trigger) no inversor, s'apagarà el fogó quan la temperatura superi un cert valor i es tornarà a encendre quan en disminueixi d'un valor inferior al primer.

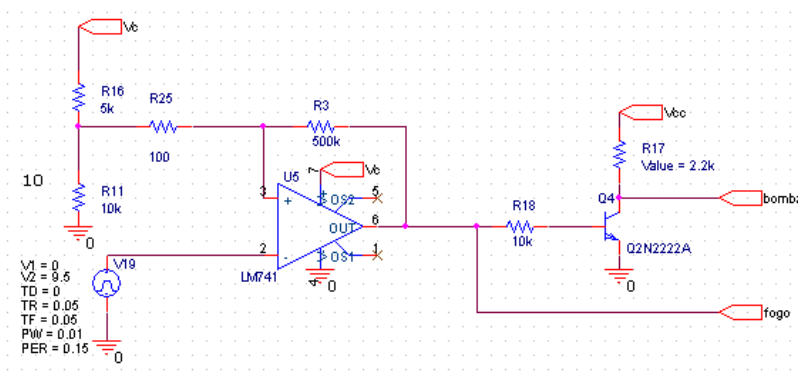


Figura 4.22: comparador histèresis fogó

S'han calculat les resistències del comparador per a què hi hagi un voltatge d'histèresis (V_H) de 0.5 V entorn dels 8.5 V.

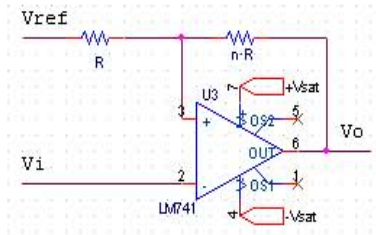


Figura 4.23: Comparador amb histèresis

$$n = \frac{+V_{SAT} - (-V_{SAT})}{V_H} - 1 = \frac{12}{0.5} - 1 = 23 \quad (4.31)$$

$$V_{REF} = \frac{n+1}{n} (V_{ctrl}) = \frac{23+1}{23} (V_{ctrl}) = 8.87 V \quad (4.32)$$

I del divisor de tensió per a aconseguir els 8.87 V:

$$V_{REF} = 12 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.33)$$

Si $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_1 = \frac{120}{8.87} - 10 = 3.54 \text{ k}\Omega \quad (4.34)$$

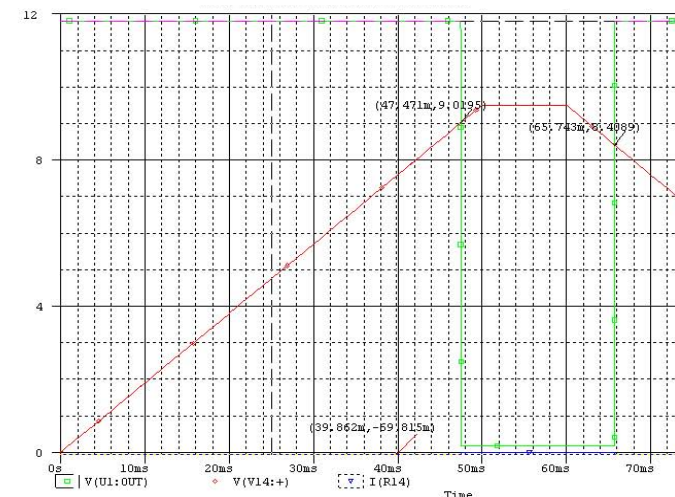


Figura 4.24: Control del fogó

4.6.2 Per al Control dels Ventiladors:

Quan la temperatura supera un cert valor s'han d'activar els elements de refrigeració. S'han fet els càlculs per a què refrigeri entorn a 40 °C, amb una histèresis de 5 °C.

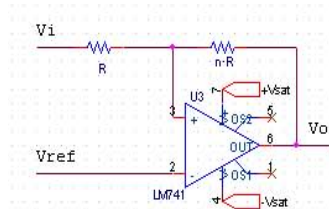


Figura 4.25: Comparador amb histèresis

$$V_H = \frac{+V_{SAT} - (-V_{SAT})}{n} \quad (4.35)$$

$$0.5 = \frac{12}{n}$$

$$n = 24$$

$$V_{CTRL} = V_{REF} \left(1 + \frac{1}{n} \right) \quad (4.36)$$

$$V_{REF} = \frac{V_{CTRL}}{\left(1 + \frac{1}{n} \right)} = 4.17 \text{ V}$$

Càlcul del divisor de tensió per a aconseguir els 4.17 V:

$$V_{REF} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.37)$$

$$\text{si } R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{120}{4.17} - 10 = 18.78 \text{ k}\Omega \quad (4.38)$$

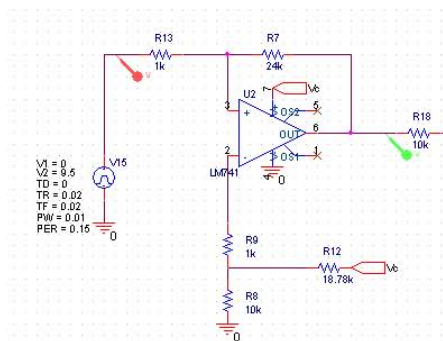


Figura 4.26: comparador amb histèresis

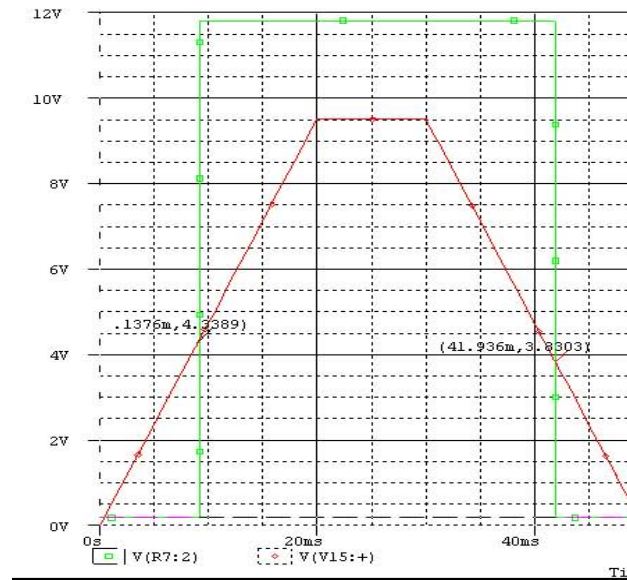


Figura 4.27: Sortida del comparador

El problema que hi ha amb aquesta configuració és que no es pot fer un ajust independent per a la histèresis i el voltatge central. Per tant, s'optarà per a la següent:

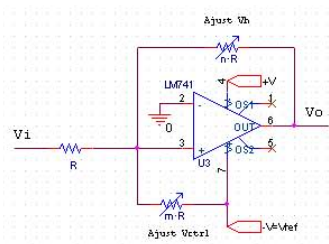


Figura 4.28: comparador amb histèresis

$$V_H = \frac{(+V_{SAT} - (-V_{SAT}))}{n} \quad (4.39)$$

$$n = \frac{12 - 0}{0.5} = 24$$

$$V_{CTRL} = \frac{-V_{REF}}{m} - \frac{(+V_{SAT}) - (-V_{SAT})}{n} \quad (4.40)$$

$$V_{CTRL} = \frac{-V_{REF}}{m} \quad (4.41)$$

$$m = \frac{-V_{REF}}{V_{CTRL}} = -\left(\frac{-12}{4}\right) = 3$$

Llavors la configuració d'aquesta part del circuit queda de la següent manera:

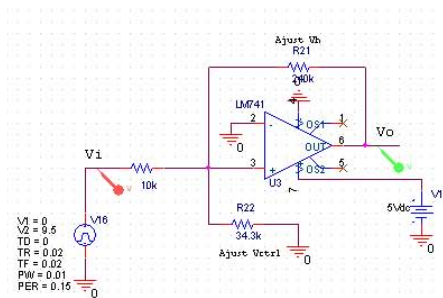


Figura 4.29: comparador amb histèresis

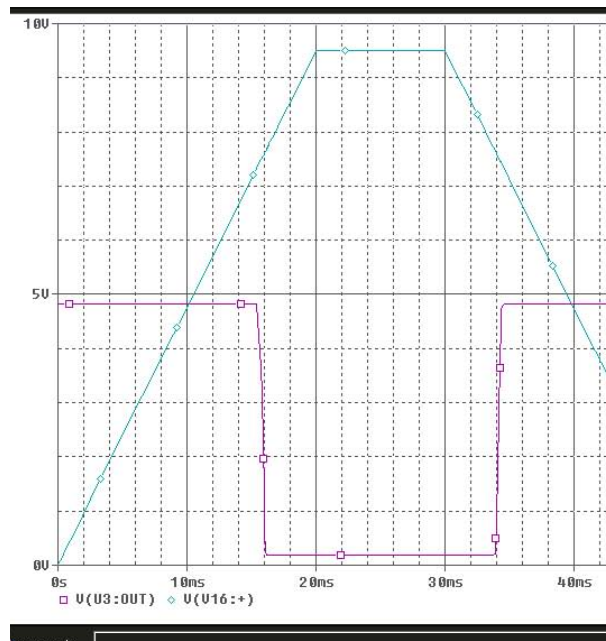


Figura 4.30: Activació del ventilador

Per tant, cal afegir un transistor i dues resistències per a què actuïn com a inversor.

4.6.3 Conclusions:

Amb el no inversor l'ajust entre el voltatge d'histèresis i el voltatge de control són dependents.

Amb l'inversor es pot ajustar primer el voltatge d'histèresis variant la n , i després ajustar el voltatge de control variant el divisor de tensió que proporciona V_{REF} . Per tant, s'utilitzarà la mateixa configuració del circuit per als dos controls de temperatura, i en el cas de la refrigeració s'hi col·locarà un inversor si convé.

Per tant, s'haurà de calcular el nou comparador per a la refrigeració:

S'han calculat les resistències del comparador per a què hi hagi un voltatge d'histèresis (V_H) de 0.5 V entorn dels 4 V (40 °C).

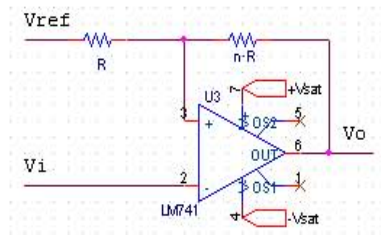


Figura 4.31: comparador amb histèresis

$$n = \frac{+V_{SAT} - (-V_{SAT})}{V_H} - 1 = \frac{12}{0.5} - 1 = 23 \quad (4.42)$$

$$V_{REF} = \frac{n+1}{n} (V_{ctrl}) = \frac{23+1}{23} (V_{ctrl}) = 4.17 V \quad (4.43)$$

I del divisor de tensió per a aconseguir els 4.17 V:

$$V_{REF} = 12 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.44)$$

Si $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$:

$$R_1 = \frac{120}{4.17} - 10 = 28.78 \text{ k}\Omega \quad (4.45)$$

En la simulació V_H passa a ser d'1 V i V_{CTRL} n'ha disminuït 0.3 V. En el voltatge final s'acabarà d'ajustar, col·locant un potenciòmetre a la resistència de realimentació, i a la que va connectada a V_{CC} .

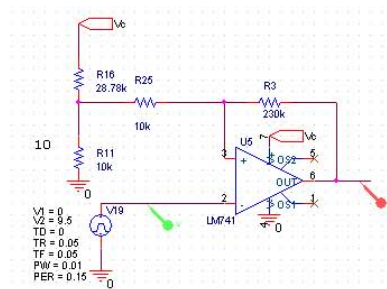


Figura 4.32: Comparador amb histèresis

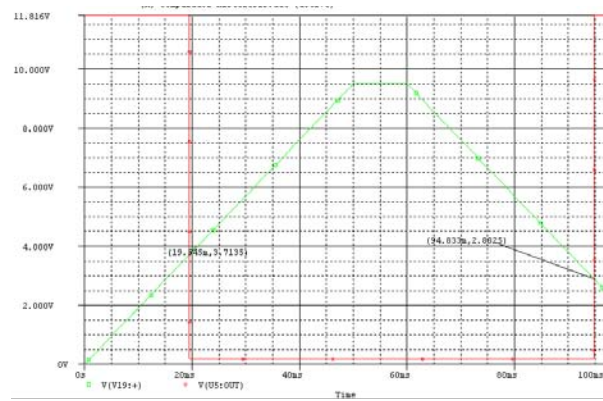


Figura 4.33: Sortida del comparador

En l'establiment final de la consigna per a la temperatura de destil·lació, s'ha optat per col·locar un selector que connecti diferents resistències amb la finalitat de fer un ajust ràpid de la temperatura, i un potenciòmetre per afinar aquest ajust.

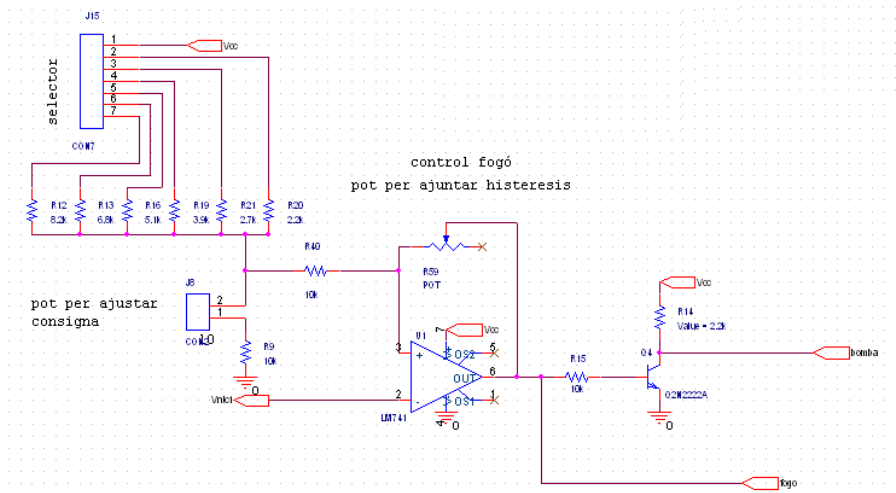


Figura 4.34: Selecció de les consignes en el comparador

Els diferents rangs que es podran seleccionar per a la temperatura de control, col·locant un potenciòmetre de 5 k Ω , seran els següents:

R1 (k Ω)	Vref amb Rpot=0 k (V)	Vref amb Rpot=5 k (V)
8.2	6.59	7.75
6.8	7.14	8.26
5.1	7.94	8.95
3.9	8.63	9.52
2.7	9.45	10.16
2.2	9.83	10.46

Taula 4.1: rang de temperatures

Els valors de la taula 4.1 s'han trobat sabent que el voltatge de consigna és aproximadament el què hi ha al divisor de tensió format per les resistències que connecta el selector i el potenciòmetre (juntament amb la de 10 kΩ). Per tant, el valor mínim de control l'aconsegurem quan el potenciòmetre valgui 0, i el màxim en cas contrari.

$$V_{ctrl} = V_{CC} \cdot \frac{(10\text{ k} + R_{pot})}{R_{selector} + 10\text{ k} + R_{pot}} \quad (4.46)$$

Posteriorment s'ha afegit una resistència de 10 kΩ per a poder destil·lar a una temperatura d'uns 60 °C, que és a la que bull el metanol, i una altra posició del selector s'ha connectat a la font de 12 V per a poder destil·lar a 120 °C, que és la temperatura utilitzada per a la fabricació d'aromes.

4.7 Circuit d'Actuació

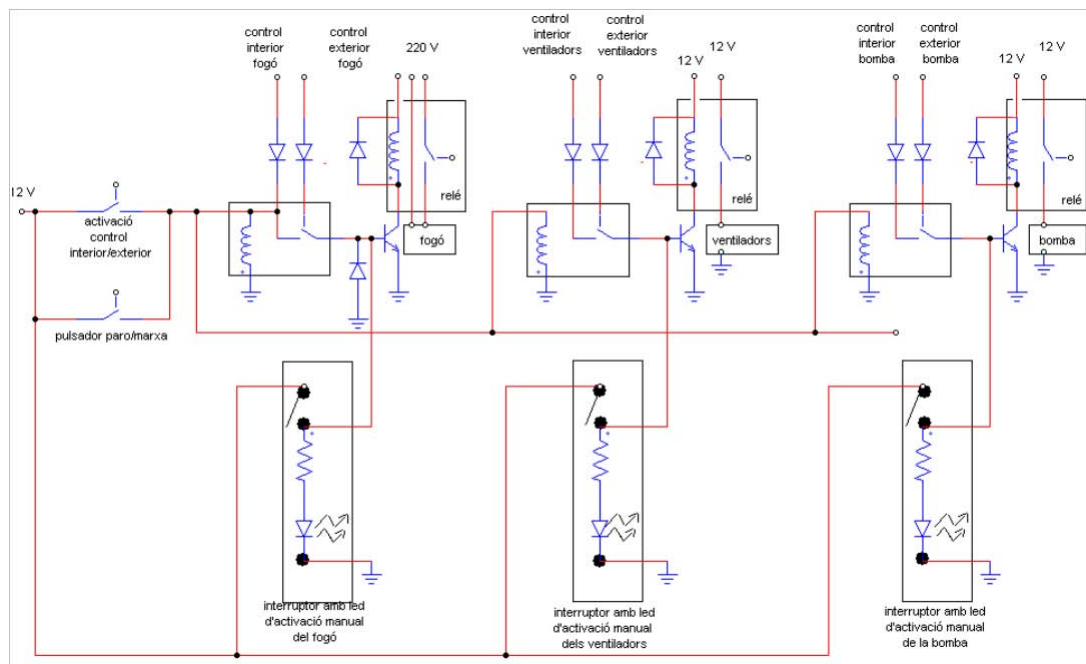


Figura 4.35: Circuit d'actuació

Aquesta petita placa concentra les diferents senyals de control, tant del control interior, exterior o manual, i conté els relés que activen els diferents actuadors (bomba, fogó i ventiladors). Aquestes senyals s'utilitzen per a activar els leds dels interruptors utilitzats per al control manual. Sobre els petits relés de senyal hi actua l'interruptor que selecciona el tipus de control.

4 Implementació

A fi de facilitar la comprovació del funcionament de la placa, s'han regulat els potenciómetres per a què als 12 V del senyal d'entrada hi hagin 5 V a les potes del PIC. D'aquesta manera, com que el convertidor és de 10 bits, que corresponen a 120 °C, la resolució és de 0.47 °C. El fet de no tenir en compte els dos bits de menys pes fa que hi hagi una histèresis de 1.88 °C o 0.19 V

Degut a què el canvi de temperatura és relativament lent, per a afegir més inèrcia al sistema s'ha afegit un bucle de retard a l'inici del programa, i s'ha afegit un led i una resistència entre els pins 25 i 26, a fi de veure quan tarda el programa a executar-se.

5 Resultats Experimentals i Conclusions

A continuació s'ofeixen algunes fotografies del prototipus i del seu muntatge. S'han realitzat nombroses destil·lacions, i durant la presentació es farà una demostració en directe del funcionament del sistema.



Figura 5.1: Alambic i panell de control.

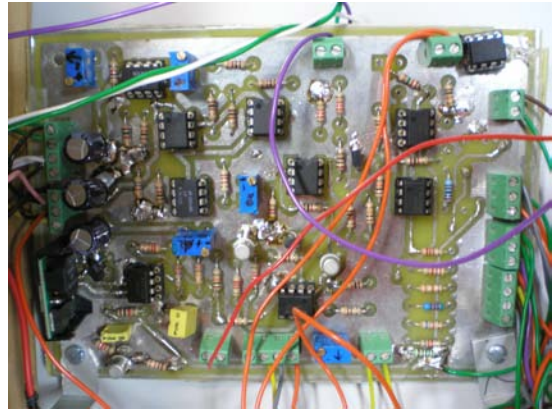


Figura 5.2: Placa de control intern



Figura 5.4: Placa d'actuació

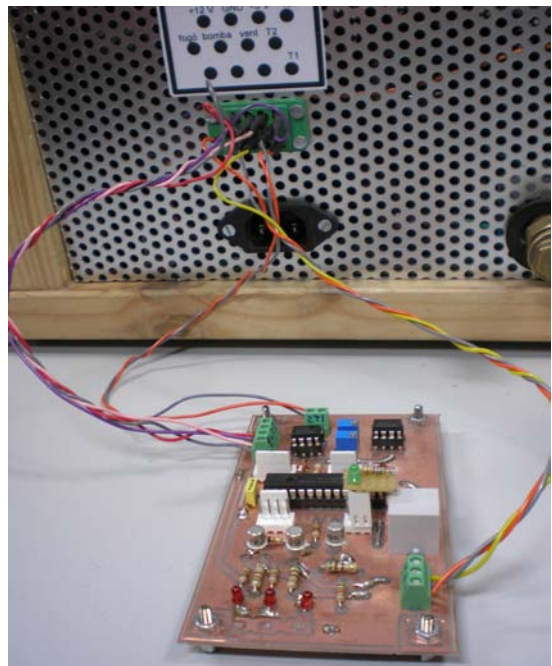


Figura 5.3: Placa de control externa

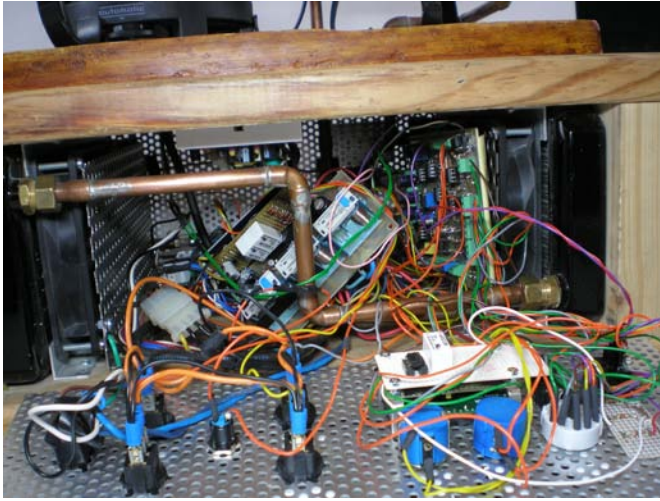


Figura 5.5: Interior de la caixa



Figura 5.6: Radiador

Els resultats experimentals coincideixen amb les simulacions del model i del control del sistema realitzades, fins i tot, els retards surten bastant ben reproduïts, especialment, en el què es refereix a l'evolució de les temperatures del sistema. Tot i així és millorable, especialment pel què fa que quan es destil·la per sota de la temperatura d'ebullició de la mescla, surt com una bufada de vapor en apagar el fogó, bufada que es va extingint progressivament. És a dir, hi ha un fenomen de fase no mínima. Tot i així estem parlant d'un fenomen de molt curta durada en comparació amb les altres constants de temps.

Ja que estem davant d'un sistema on tenen lloc processos físico-químics, la dinàmica del sistema és molt lenta. Això dificulta molt l'obtenció d'oscil·logrames. Amb la base de temps més gran possible amb les oscil·loscopis del laboratori, hem obtingut una captura de 100 segons, a 10 segons/div.

Aquesta captura, situada a la *Figura 5.7* ens mostra en blau fosc, el senyal d'activació del fogó, mentre que en blau clar, es pot veure la mesura de la temperatura dels vapors adjacents al sensor T1 situat a dalt de l'alambic, i que serveix per mesurar la temperatura dels vapors destil·lats. Com es pot veure hi ha un retard molt gran. Quan s'activa el fogó, la temperatura continua decreixent un 30 segons, fins que comença a créixer, i en apagar el fogó, passa tot just el contrari. Això demostra que el sistema té molt de retard, i podria tenir fase no mínima, com és d'esperar en un sistema distribuït on hi ha fenòmens com transport de massa, i canvis d'estat.

5 Resultats Experimentals i Conclusions

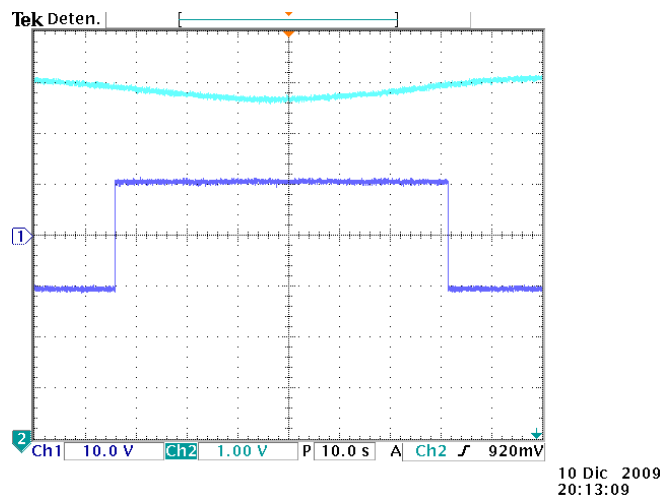


Figura 5.7: Evolució de la temperatura d'ebullició

L'explicat anteriorment es pot observar també en la següent captura d'oscil·loscopi. També s'ha afegit la lectura de la temperatura de l'aigua de refrigeració (en blau), a més de la de destil·lació (en vermell) i el senyal d'activació del fogó. Aquí es pot observar el retard explicat anteriorment, i a més es pot veure que entre la temperatura de destil·lació i la de refrigeració també existeix un retard. Això és perquè l'aigua del bescanviador s'escalfa un cop s'ha generat el vapor en la caldera, que és quan la lectura del el sensor situat a la caldera, i que capta la temperatura dels vapors, augmenta. Les mesures mostrades en la *Figura 5.8 i 5.9* s'han dut a terme utilitzant com a líquid a destil·lar una mescla d'entre un 10 i un 20% d'alcohol.

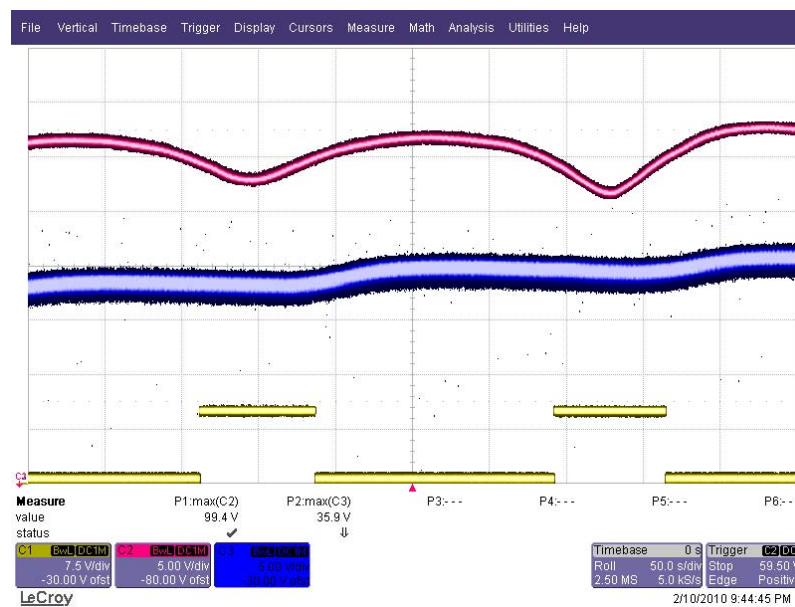


Figura 5.8: Evolució de les temperatures respecte la l'activació del fogó

L'augment del rissat en la temperatura que marca el sensor de la caldera, i que ja es comença a intuir en la figura anterior, s'observa molt millor en la *Figura 5.9*. Cal observar que aquest augment es produeix a mesura que la temperatura de la mescla a destil·lar s'empobreix, o el que és el mateix, quan la temperatura d'ebullició de la mescla augmenta.

5 Resultats Experimentals i Conclusions

En la *Figura 5.9* s'ha utilitzat el control automàtic de la planta, amb una consigna de la temperatura de destil·lació de 92 °C. A mesura que el procés avança, les ondulacions en la temperatura que marca el sensor a la part superior de la caldera, augmenten, i s'estabilitzarien quan la mescla a destil·lar hagués arribat a la temperatura d'ebullició de 100 °C. És a dir, quan tot l'alcohol s'ha evaporat. El sensor, al captar la temperatura del vapor, a mesura que passa el temps, com que el líquid de la caldera es va empobrint i eleva la seva temperatura d'ebullició, els vapors generats són cada vegada més calents. Aquestes ondulacions, en anar disminuint la freqüència en el temps, fan que tant el fogó (el senyal en verd fosc), com els ventiladors (en verd clar), també disminueixin la seva freqüència d'activació.

En l'inici del procés s'observa que la temperatura del sensor de la caldera augmenta bruscament quan es genera el vapor, i la temperatura es manté, malgrat que el fogó segueix encès, ja que la mescla ha arribat al seu punt d'ebullició. Aquesta temperatura augmenta tal i com s'ha explicat anteriorment, fins que el control actua sobre el fogó. Mentre el líquid està bullint els ventiladors resten activats, ja que arriba gran quantitat de vapor al bescanviador de calor on es condensa el líquid, malgrat que la temperatura sigui menor que en la zona en la què actua el control.

Les oscil·lacions en la temperatura de la caldera es solucionarien si el sensor de la caldera, en comptes de mesurar la temperatura del vapor, mesurés la temperatura del líquid, ja que la lectura del vapor indica la temperatura del líquid, només quan la consigna del control està per sobre de la temperatura de d'ebullició de la mescla. El fet que quan es destil·la per sota de la temperatura d'ebullició, el vapor es generi en apagar-se el fogó, obliga igualment a generar algun tipus d'histerèsis per a obtenir un líquid destil·lat a la sortida.

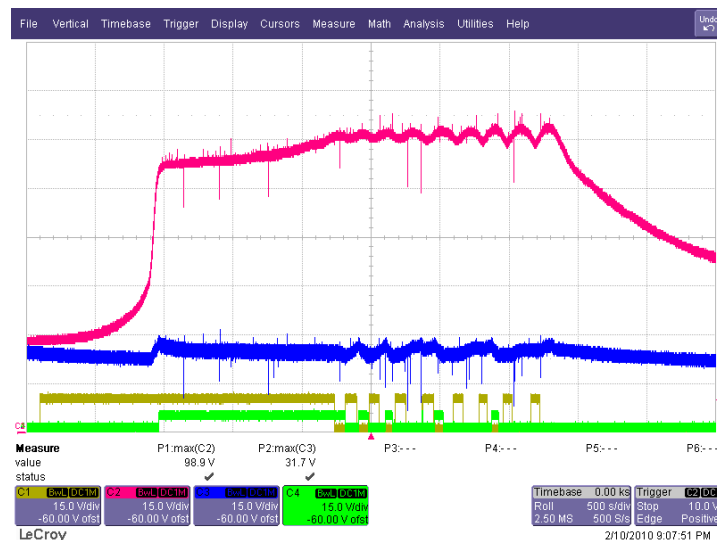


Figura 5.9: Evolució en la destil·lació

En la *Figura 5.10* es veu clarament el temps que tarda el sistema en fer arribar dos litres i mig d'aigua a la temperatura d'ebullició, i la resposta de les temperatures davant un control manual. El líquid, en arribar al punt d'ebullició, es manté a una temperatura constant al llarg de la destil·lació ja que es tracta d'un component pur.

5 Resultats Experimentals i Conclusions

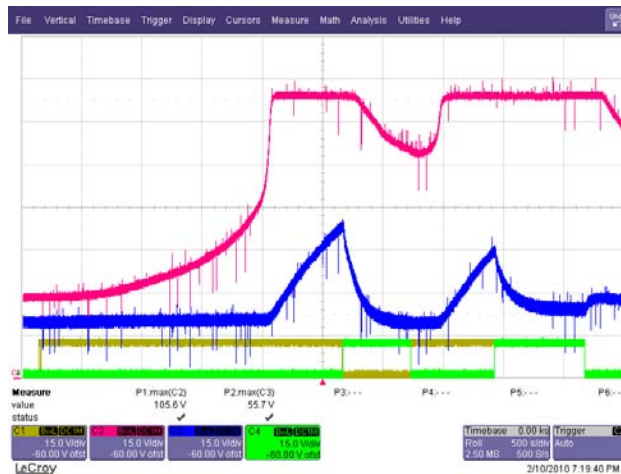


Figura 5.10: Destil·lació manual d'aigua

Prèviament es va ajustar circuit que adapta les senyals procedents dels sensor per a què s'ajustessin a les temperatures correctes. Per a observar l'error que hi ha entre la lectura a la sortida de la placa del sensat de la temperatura amb la temperatura real, s'ha mesurat amb el voltímetre la sortida d'aquesta placa, comparant el resultat amb un termòmetre digital. Per a la variació de la temperatura s'ha utilitzat un fogó elèctric i s'ha col·locat dins una olla amb aigua la sonda que va connectada a la placa del sensat i el termòmetre digital.

Per a la sonda de la caldera:

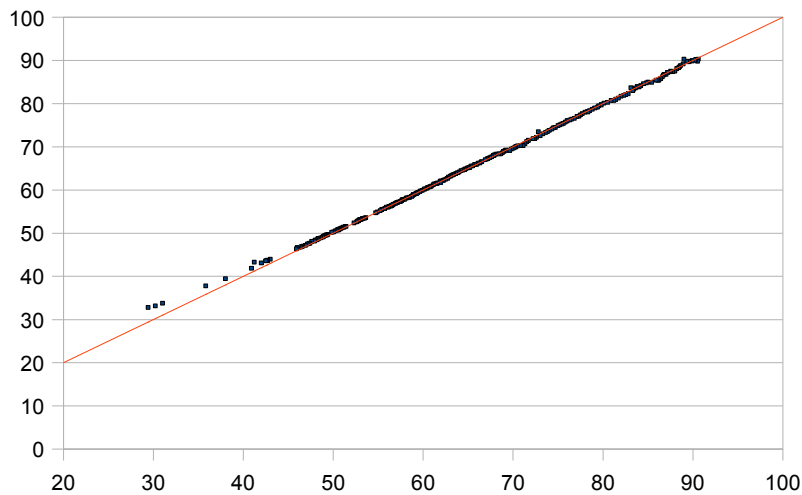


Figura 5.11: Lectura del display respecte la temperatura real. (x: Temperatura, y: Lectura)

5 Resultats Experimentals i Conclusions

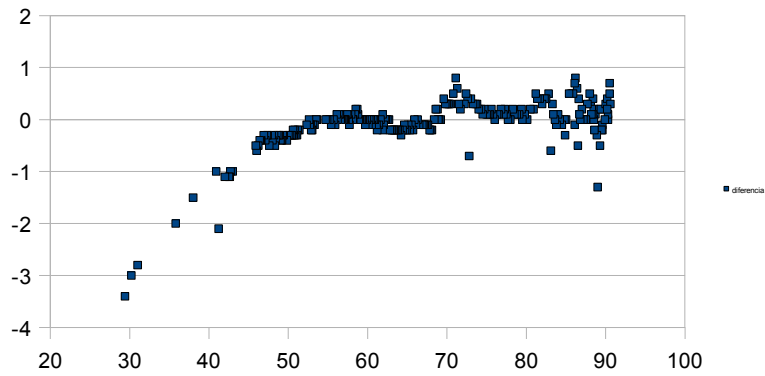


Figura 5.12: Error de la lectura (x:Temperatura, y:error en °C)

Per a la sonda de l'aigua de refrigeració:

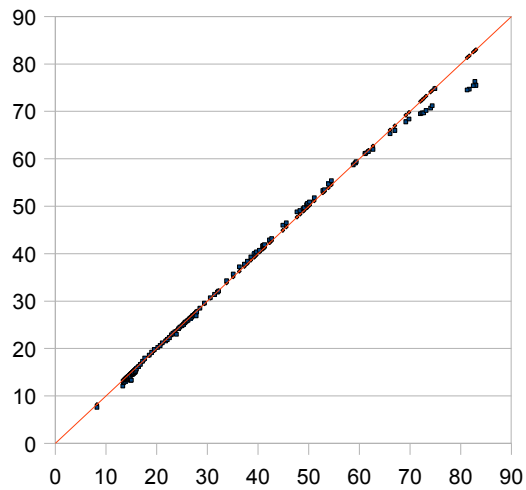


Figura 5.13: Lectura del voltímetre respecte la temperatura real. (x:Temperatura, y: Lectura)

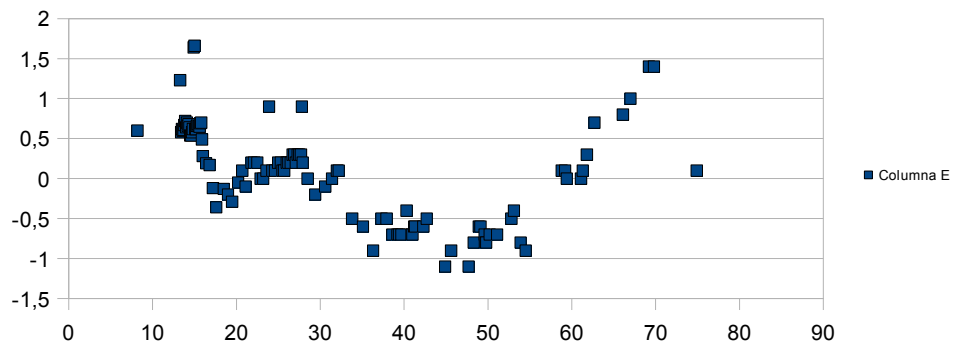


Figura 5.14: Error en la lectura (x: Temperatura, y: Error en °C)

Les mesures preses estan al CD entregat amb la memòria.

6 Pressupost

6.1 Quadre de Preus:

6.1.1 Placa de Control Interna

codi	descripció	preu/unitat	quantitat	preu total
534-3469	LM555CN	0,65 €	1	0,65 €
298-7606	LM741	0,46 €	10	4,60 €
228-6981	condensador electrolític 100 µF	0,15 €	3	0,46 €
295-028	2n2222a	0,52 €	6	3,12 €
101-5384	Connector 2 pins	0,44 €	7	3,08 €
101-5390	Connector 3 pins	0,66 €	3	1,98 €
522-0221	Potenciòmetre 50 kΩ	0,96 €	1	0,96 €
522-0237	Potenciòmetre 500 kΩ	0,96 €	2	1,92 €
522-0215	Potenciòmetre 5 kΩ	0,96 €	2	1,92 €
220-4361	Connector 4pins	0,89 €	3	2,67 €
661-7607	font -12V	14,22 €	1	14,22 €
538-1578	Conensador 1 µF	0,68 €	1	0,68 €
537-3038	Condensador 10 nF	0,11 €	1	0,11 €
131-255	Resistència 1 kΩ	0,03 €	10	0,31 €
131-378	Resistència 10 kΩ	0,03 €	11	0,34 €
131-362	Resistència 8.2 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
131-356	Resistència 6.8 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
132-668	Resistència 5.1 kΩ	0,04 €	1	0,04 €
131-328	Resistència 3.9 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
131-306	Resistència 2.7 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
131-019	Resistència 10 Ω	0,03 €	2	0,06 €
131-110	Resistència 68 Ω	0,03 €	1	0,03 €
131-132	Resistència 100 Ω	0,03 €	1	0,03 €
131-299	Resistència 2.2 kΩ	0,03 €	7	0,22 €
131-558	Resistència 330 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
133-267	Resistència 2.7 MΩ	0,04 €	1	0,04 €
131-334	Resistència 4.7 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
131-261	Resistència 1.2 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
131-340	Resistencia 5.6 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
655-543	Mosfet N zvn3306a	0,38 €	3	1,13 €
228-5944	led verd	0,21 €	1	0,21 €
284-1409	led vermell	0,46 €	1	0,46 €
197-2647	sòcol	0,18 €	10	1,78 €
131-277	Resistència 1.5 kΩ	0,03 €	1	0,03 €
661-7553	Font +5V PT78HT205V	19,19 €	1	19,19 €
163-640	Resistència 2 kΩ	0,59 €	1	0,59 €
				61,07 €
				Total

Taula 6.1: Placa de control interna

6.1.2 Placa de Control Externa

codi	descripció	preu/unitat	quantitat	preu total	
517-2318	op07	0,50 €	3	1,50 €	
131-299	Resistència 2.2 kΩ	0,03 €	3	0,09 €	
131-378	Resistència 10 kΩ	0,03 €	3	0,09 €	
295-028	2N2222A	0,52 €	3	1,56 €	
467-1628	16F876A	4,10 €	1	4,10 €	
537-3044	Condensador 100 nF	0,11 €	1	0,11 €	
226-3859	Sòcol 28 vies	0,64 €	2	1,28 €	
217-873	JUMPER 2.54MM	0,12 €	2	0,24 €	
101-5384	Connector 2 pins	0,44 €	3	1,32 €	
101-5390	Connector 3 pins	0,66 €	1	0,66 €	
220-4361	Connector 4 pins	0,89 €	2	1,78 €	
664-8049	led vermell 3 mm	0,08 €	5	0,40 €	
131-277	Resistència 1.5 k	0,03 €	3	0,09 €	
132-422	Resistència 510 ohms	0,04 €	3	0,11 €	
521-9192	Trimmer 10 kΩ	1,61 €	2	3,22 €	
483-8461	Molex 2.54mm 2 pins	0,45 €	2	0,90 €	
331-6421	connector telefònic per a pcb	0,52 €	1	0,52 €	
				17,97 €	Total

Taula 6.2: Placa de control externa

6.1.3 Comandaments de Control:

codi	descripció	preu/unitat	quantitat	preu total	
320-196	Selector 12 vies	1,45 €	1	1,45 €	
522-2996	Potenciòmetre 5 kΩ	12,18 €	1	12,18 €	
522-3034	Potenciòmetre 50 kΩ	13,68 €	1	13,68 €	
463-8479	mando	2,66 €	3	7,98 €	
463-8536	tapa mando potenciòmetre	0,30 €	3	0,91 €	
440-6991	commutador	0,99 €	1	0,99 €	
318-042	interruptor	1,72 €	1	1,72 €	
468-0650	dials numerats	0,91 €	1	0,91 €	
471-424	connector unitat de disc femella	0,98 €	25	24,50 €	
471-446	connector unitat de disc mascle	0,71 €	25	17,75 €	
196-6276	relé	3,23 €	4	12,92 €	
440-6991	commutador	0,99 €	1	0,99 €	
446-2159	display Lascar	33,16	1	33,16 €	
3345,000	llum fluorescent	19,95	1	19,95 €	
				95,97 €	Total

Taula 6.3: Comandaments de control

6.1.4 Planta:

codi	descripció	preu/unitat	quantitat	preu total	
377-6895	font d'alimentació vlt60-1001	51,45 €	1	51,45 €	
500684	ventilador 120x120x25	19,90 €	4	79,60 €	
501220	radiador GTS 240 - XFLOW	56,90 €	2	113,80 €	
500733-01	bomba 'aigua HPPS Plus	69,90 €	2	139,80 €	
500504	sonda temperatura	15,79 €	1	15,79 €	
500836	sonda temperatura	13,80 €	1	13,80 €	
23-343	colze de coure	0,30 €	6	1,80 €	
14-220	alambic amb fogó	299,00 €	1	299,00 €	
201020	tub coure 10 mm	3,14 €	1	3,14 €	
654-654	Llistó de fusta de pi 45x30x150	2,50 €	4	10,00 €	
645-657	planxa de fusta de pi 450x300x25	5,00 €	1	5,00 €	
4598	planxa d'alumini perforada	15,00 €	2	30,00 €	
				763,18 €	Total

Taula 6.4: Planta**6.1.5 Placa d'Actuació**

codi	descripció	preu/unitat	quantitat	preu total	
803-039	relé	3,60 €	3	10,80 €	
295-028	2n2222a	0,52 €	3	1,56 €	
131-378	Resistència 10kΩ	0,03 €	3	0,09 €	
131-299	Resistència 2.2kΩ	0,03 €	3	0,09 €	
670-8858	diode 1N4148	0,13 €	3	0,38 €	
				12,93 €	Total

Taula 6.5: Placa d'actuació**6.1.6 Mà d'Obra**

codi	descripció	preu/hora	hores	preu total	
TI-III-01	disseny de la planta	12,50 €	40	500,00 €	
TI-III-02	muntatge de la planta	12,50 €	160	2.000,00 €	
TI-III-03	disseny control interior	12,50 €	240	3.000,00 €	
TI-III-04	muntatge control interior	12,50 €	120	1.500,00 €	
TI-III-05	disseny control exterior	12,50 €	32	400,00 €	
TI-III-06	muntatge control exterior	12,50 €	16	200,00 €	
				7.600,00 €	Total

Taula 6.6: Mà d'obra

6.1.7 Resum del Pressupost

codi	descripció	preu/hora	hores	preu total	
PI-I	placa interna	12,50 €	40	61,07 €	
PE-I	placa externa	12,50 €	160	17,97 €	
EC-I	comandaments de control	12,50 €	240	95,97 €	
P-I	planta	12,50 €	120	763,18 €	
PA-I	placa d'actuació	12,50 €	32	12,93 €	
MH-I	mà d'obra	12,50 €	16	7.600,00 €	
				8.551,12 €	Total

Taula 6.7: Resum del pressupost

7 Plec de Condicions: Manual D'usuari

7.1 Elements de Control:

Panell frontal

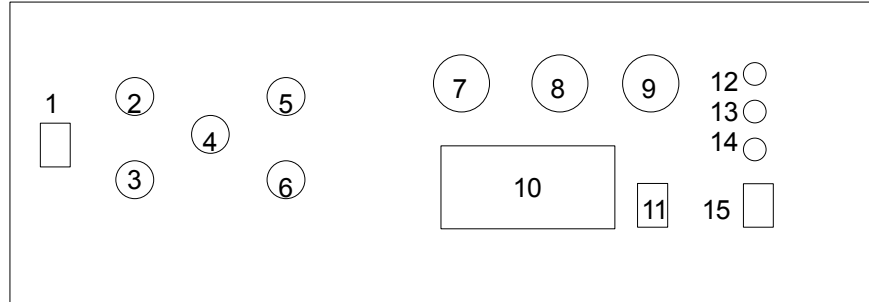


Figura 7.1: panell de control

- | | | |
|-----------------------------|--|-------------------------------------|
| 1.- Interruptor on/off | 7.- Ajust temperatura refrigeració | 13.- Led programació temperatura |
| 2.- Interruptor fogó | 8.- Ajust temperatura destil·lació | 14.- Led temperatura refrigeració |
| 3.- Interruptor llum | 9.- Selector escala temp. destil·lació | 15.- Programació temp. destil·lació |
| 4.- Interruptor paro/marxa | 10.- Display | |
| 5.- Interruptor bomba | 11.- Selector visualització temp. | |
| 6.- Interruptor ventiladors | 12.- Led temperatura destil·lació | |

Panell posterior

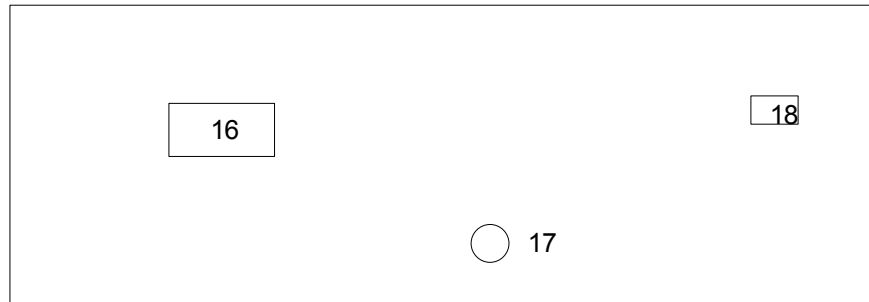


Figura 7.2: part posterior

- | | | |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 16.- Connector control exterior | 17.- Desaigüe refrigeració | 18.- Control interior/exterior |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|

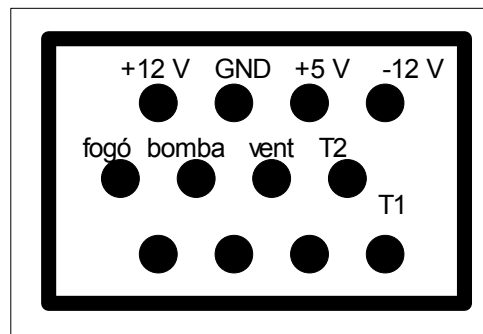


Figura 7.3: connector control exterior

7.2 Tipus de Control

Control interior

Activar l'interruptor on/off (1)

Col·locar l'interruptor 18 en la posició I.

Pitjar el polsador paro/marxa (4), per tal que el fogó no comenci a escalfar el recipient abans que s'hagi programat la temperatura de destil·lació.

Per programar la temperatura de destil·lació col·locar l'interruptor 15 en la posició superior. En aquest moment el led de color blanc 13 s'encendrà, i en el display es mostrarà la temperatura programada. Per a modificar aquesta temperatura seleccionar l'escala de temperatura amb l'interruptor giratori 9, i fer un ajust fi de la temperatura amb el potenciòmetre 8. Tots els comandaments giratoris estan disposats per a què un gir en el sentit de les agulles del rellotge suposi un increment de temperatura.

Un cop programada la temperatura de destil·lació col·locar l'interruptor 15 en la posició inferior. El led blanc s'apagarà. Per a començar a escalfar el líquid a destil·lar tornar a pitjar el polsador 4.

L'ajust de la temperatura de refrigeració es duu a terme amb el potenciòmetre 7. El valor d'aquesta consigna no apareix al display. Per tant, si es desconeix aquest valor, girar el potenciòmetre en sentit contrari a les agulles del rellotge per a què aquesta temperatura sigui baixa, i situar-la posteriorment on es cregui convenient.

Control exterior

Col·locar l'interruptor 18 en la posició II.

En aquest moment el control interior per al fogó, la bomba i els ventiladors queden inhabilitats

Connectar la placa del control exterior al connector 16 situat al panell posterior.

Activar l'interruptor on/off (1) .

Control manual

Els interruptors 2,5 i 6 forcen el fogó, la bomba i els ventiladors a funcionar, sigui quin sigui el control seleccionat (interior o exterior).

Si es vol controlar manualment totes les operacions, s'ha de deshabilitar el control interior col·locant l'interruptor 18 en la posició II, sense connectar la placa del control exterior.

Senyals lluminosos i visualització de les temperatures

L'interruptor d'on/off (1) s'il·lumina quan l'alambic està connectat a la xarxa elèctrica.

Els interruptors 2,3,5 i 6 disposen d'un led que s'encén quan hi ha una senyal (del control interior, exterior, o manual) que activa el dispositiu que controla l'interruptor.

Els leds 12 i 14 mostren quina temperatura es veu en el display (destil·lació o refrigeració). L'interruptor 11, de tres posicions, permet visualitzar alternativament les dues temperatures cada dos segons (posició 0), visualitzar permanentment la temperatura de destil·lació (posició I), o la de l'aigua de refrigeració (posició II).

7.3 Precaucions

No endollar l'alambic a la xarxa sense haver omplert la caldera amb el líquid a destil·lar o aigua.

Assegurar-se que l'interruptor situat a la tapa de l'alambic i que controla la temperatura de destil·lació faci contacte (mirant que la temperatura mostrada al display sigui lògica).

Col·locar les gomes de la tapa de l'alambic per tal que no s'escapin vapors, i assegurar-se que queda ben tancat.

A l'hora de connectar la placa de control exterior assegurar-se de que les alimentacions d'aquesta siguin correctes, per tal de no malmetre el PIC.

8 Possibles Millores

El prototip ha aconseguit els objectius marcats d'automatització del procés de destil·lació i determinació del grau alcohòlic del destil·lat. El fet d'haver afegit una placa de control exterior governada per un pic, fa que la possibilitat de provar altres tipus de control per al sistema s'incrementin enormement. Per tant, es poden provar millores en el control sense haver-ne de canviar els elements físics, per intentar millorar la velocitat, precisió, i eficiència en el procés de la destil·lació. També es podrien incorporar alguns elements de seguretat, com una vàlvula de pressió en la caldera, per si el conducte de sortida queda obstruït, i col·locar un sensor de nivell per evitar que el fogó quedi encès en absència de líquid.

Així doncs, per a una possible producció comercial, i per a intentar abaratir costos, el control del sistema s'hauria de dur a terme de manera digital i controlada per un PIC, que activés els relés que controlen els diferents actuadors. D'aquesta manera els comandaments del panell de control (tant els interruptors com els d'ajust de la temperatura) es poden convertir en pulsadors de muntatge en PCB, i actuar directament sobre el PIC. El fet de poder reprogramar el PIC també permet als possibles compradors actualitzar el sistema de control per a possibles millores.

9 Annexos

9.1 Pressions de Vapor

T (°C)	P. aigua (kPa)	P. alcohol
20	2,31	5,85
20,5	2,38	6,03
21	2,46	6,21
21,5	2,54	6,4
22	2,62	6,59
22,5	2,7	6,79
23	2,78	7
23,5	2,87	7,21
24	2,96	7,42
24,5	3,05	7,64
25	3,14	7,87
25,5	3,24	8,1
26	3,33	8,34
26,5	3,43	8,58
27	3,54	8,83
27,5	3,64	9,08
28	3,75	9,35
28,5	3,86	9,61
29	3,98	9,89
29,5	4,1	10,17
30	4,22	10,46
30,5	4,34	10,76
31	4,47	11,06
31,5	4,6	11,37
32	4,73	11,69
32,5	4,87	12,01
33	5	12,34
33,5	5,15	12,69

T (°C)	P. aigua (kPa)	P. alcohol
34	5,29	13,03
34,5	5,44	13,39
35	5,6	13,76
35,5	5,76	14,13
36	5,92	14,51
36,5	6,08	14,91
37	6,25	15,31
37,5	6,43	15,72
38	6,6	16,13
38,5	6,78	16,56
39	6,97	17
39,5	7,16	17,45
40	7,36	17,91
40,5	7,55	18,38
41	7,76	18,86
41,5	7,97	19,35
42	8,18	19,85
42,5	8,4	20,36
43	8,62	20,88
43,5	8,85	21,41
44	9,08	21,96
44,5	9,32	22,52
45	9,57	23,09
45,5	9,82	23,67
46	10,07	24,26
46,5	10,33	24,87
47	10,6	25,49
47,5	10,87	26,12

9 Annexos

T (°C)	P. aigua (kPa)	P. alcohol
48	11,15	26,77
48,5	11,43	27,43
49	11,73	28,1
49,5	12,02	28,79
50	12,33	29,49
50,5	12,64	30,21
51	12,95	30,94
51,5	13,28	31,68
52	13,61	32,45
52,5	13,94	33,22
53	14,29	34,01
53,5	14,64	34,82
54	15	35,65
54,5	15,36	36,49
55	15,74	37,35
55,5	16,12	38,22
56	16,51	39,11
56,5	16,91	40,02
57	17,31	40,95
57,5	17,73	41,9
58	18,15	42,86
58,5	18,58	43,84
59	19,02	44,84
59,5	19,47	45,86
60	19,92	46,9
60,5	20,39	47,96
61	20,87	49,05
61,5	21,35	50,15
62	21,84	51,27
62,5	22,35	52,41
63	22,86	53,57

T (°C)	P. aigua (kPa)	P. alcohol
63,5	23,39	54,76
64	23,92	55,97
64,5	24,46	57,2
65	25,02	58,45
65,5	25,58	59,73
66	26,16	61,03
66,5	26,75	62,35
67	27,35	63,7
67,5	27,96	65,07
68	28,58	66,46
68,5	29,21	67,88
69	29,85	69,33
69,5	30,51	70,8
70	31,18	72,3
70,5	31,86	73,82
71	32,55	75,38
71,5	33,26	76,96
72	33,98	78,56
72,5	34,71	80,2
73	35,45	81,86
73,5	36,21	83,55
74	36,98	85,27
74,5	37,77	87,02
75	38,57	88,8
75,5	39,38	90,61
76	40,21	92,45
76,5	41,05	94,33
77	41,91	96,23
77,5	42,79	98,17
78	43,67	100,14
78,5	44,58	102,14

9 Annexos

T (°C)	P. aigua (kPa)	P. alcohol
79	45,5	104,17
79,5	46,43	106,24
80	47,38	108,34
80,5	48,35	110,48
81	49,33	112,65
81,5	50,33	114,86
82	51,35	117,1
82,5	52,39	119,38
83	53,44	121,7
83,5	54,51	124,05
84	55,6	126,44
84,5	56,7	128,87

T (°C)	P. aigua (kPa)	P. alcohol
85	57,83	131,34
85,5	58,97	133,85
86	60,13	136,39
86,5	61,31	138,98
87	62,51	141,61
87,5	63,73	144,28
88	64,97	146,99
88,5	66,23	149,74
89	67,51	152,53
89,5	68,81	155,37
90	70,13	158,25

9.2 Codi de Matlab del Comportament de Mescles Ideals:

```
%càlculs corba líquid-vapor ideal
i=0;
for T = 78.3: 0.01: 100,
i=i+1;
P2(i)=10^(8.07131-1730.63/(233.426+T)); %pressió vapor aigua
P1(i)=10^(7.68117-1332.04/(199.2+T)); %pressió vapor etanol

x(i)=(760-P2(i))/(P1(i)-P2(i)); %fracció molar en el líquid
y(i)=x(i)*P1(i)/760; %fracció molar en el vapor

hold on;
plot(x(i),T,'r');
plot(y(i),T);
end
axis ([0 1 75 100])
title('comportament ideal (Raoult)')
legend ('corba ebullició', 'corba condensació',1)
```

9.3 Codi de Matlab Comportament Real de Mescles (Correcció de Margules):

```

function DS
global i P2 P1
%calculs equació líquid-vapor
i=0;
for T = 78.3: 0.01: 100,
i=i+1;
P2(i)=10^(8.07131-1730.63/(233.426+T));
P1(i)=10^(7.68117-1332.04/(199.2+T));
x(i)=(760-P2(i))/(P1(i)-P2(i));
y(i)=x(i)*P1(i)/760;
xini = [x(i) y(i)];
[fun val flag] = fsolve(@margules, xini);
    xM(i) = fun(1);
    yM(i) = fun(2);

hold on;

plot(xM(i),T,'r');
plot(yM(i),T);
%plot(x(i),T,'r');
%plot(y(i),T);

end
axis ([0 1 75 100])
title('comportament real')
legend ('corba ebullició', 'corba condensació',1)
function f= margules(x)
global i P1 P2
x(i)=x(1);
y(i)=x(2);

ln_gamma1(i)=(1.6022+2*(0.7947-1.6022)*x(i))*(1-x(i))^2;
gamma1(i)=exp(ln_gamma1(i));

ln_gamma2(i)=(0.7947+2*(1.6022-0.7947)*(1-x(i)))*(x(i))^2;
gamma2(i)=exp(ln_gamma2(i));

P2marg(i)=P2(i)*gamma2(i);
P1marg(i)=P1(i)*gamma1(i);

f(1)=(760-P2marg(i))/(P1marg(i)-P2marg(i))-x(i);
f(2)=x(i)*P1marg(i)/760-y(i);

```

9.4 Codi de Matlab de l'Anàlisi de la Caldera

```

clear all;

%dades pot i ambient
L_p=0.2; %alçada pot [m]
r=0.075;
A_p=L_p*2*pi*r;
Tinf=20; % °C
Tinf=Tinf+273; % °K
%dades tub de la sortida del pot
d_t=0.13; %diàmetre del tub
L_t=0.32;
%dades tub condensació
d_tc=0.01;
L_tc=0.25;
%dades conveccio lliure
Pr=0.707;
K=26.3e-3;
g=9.8;
alfa=22.5e-6;
v=15.89e-6;
%dades radiació
epsilon=0.07; %of copper polished
sigma=5.67e-8;

for Ts = 20+273: 0.5 : 100+273 ,
%=====POT=====
%CONVECCIÓ POT

Ra_num_p=g/300*(Ts-Tinf)*L_p^3;
Ra_den_p=alfa*v;
Ra_p=Ra_num_p/Ra_den_p;
Nu_p=(0.825+0.387*Ra_p^(1/6)/(1+(0.492/Pr)^(9/16))^(8/27))^2;
h_p=Nu_p*K/L_p;
Rconv_p=h_p*A_p;
qconv_p=Rconv_p*(Ts-Tinf);

%RADIACIÓ POT
qrad_p=epsilon*A_p*sigma*(Ts^4-Tinf^4);
Rrad_p=Ts/qrad_p;

%CONVECCIÓ POT // RADIACIÓ POT
R_p=Rrad_p*Rconv_p/(Rrad_p+Rconv_p);
q_p=qrad_p+qconv_p;

```

```

%=====TUB DE SORTIDA=====
%CONVECCIÓ TUB
Ra_num_t=g/300*(Ts-Tinf)*d_t^3;
Ra_den_t=alfa*v;
Ra_t=Ra_num_t/Ra_den_t;
Nu_t=(0.6+0.387*Ra_t^(1/6)/(1+(0.559/Pr)^(9/16))^(8/27))^2;
h_t=Nu_t*K/d_t;
Rconv_t=h_t*pi*d_t*L_t;%aquí ho multiplico per la distància del tub
qconv_t=Rconv_t*(Ts-Tinf);

%RADIACIÓ TUB

qrad_t=epsilon*pi*d_t*sigma*L_t*(Ts^4-Tinf^4);
Rrad_t=Ts/qrad_t;

%CONVECCIÓ TUB // RADIACIÓ TUB
R_t=Rrad_t*Rconv_t/(Rrad_t+Rconv_t);
q_t=qrad_t+qconv_t;

%=====TUB DE CONDENSACIÓ=====
Tsat=100;
rov=1/1.861;
rol=1/1.041e-3;
mul=289e-6;
kl=679e-3;
hfg=22.65;
ntubs=1;

%si fos un array:
%h_tc=0.729*(g*rol*(rol-rov)*(kl^3)*hfg/(ntubs*mul*(Tsat-
Tinf)*d_tc))^(1/4);

%condensació dins un tub horitzontal:
%h_tc=0.555*(g*rol*(rol-rov)*(kl^3)*hfg/(mul*(Tsat-
Tinf)*d_tc))^(1/4);

%dropwise condensation:
h_tc=51.104+2044*Tsat;

%aquí ho multiplico per la distància del tub (un dels tres
anteriors)
R_tc=h_tc*pi*d_tc*L_tc;
q_tc=R_tc*(Ts-Tinf);

```

```

%=====CAPACITAT DE L'AIGUA i ALCOHOL DEL POT=====
concentracio=0.1; [%volum d'alcohol]
volum=2; [%volum total del líquid a destil·lar]
c1=112; %capacitat alcohol [J/mol K]
c2=75.4; %capacitat aigua [J/mol K]
X1=concentracio*volum*780/46.06; %[780g/l;46.06g/mol]
X2=(1-concentracio)*volum*100/18; %[100g/l;18g/mol]
C=c1*X1+c2*X2;

%=====GRÀFICS=====
hold on;
%plot(Ts,Rconv_p); %R CONVECCIÓ POT
%plot(Ts,qconv_p); %perdues CONVECCIÓ POT
%plot(Ts,Rrad_p,'r'); %R RADIACIÓ POT
%plot(Ts,qrad_p,'r'); %Pèrdues RADIACIÓ POT
%plot(Ts,R_p,'g'); %R TOTAL POT
%plot(Ts,q_p,'g'); %Pèrdues TOTAL POT

%plot(Ts,Rconv_t); %R CONVECCIÓ TUB
%plot(Ts,qconv_t); %perdues CONVECCIÓ TUB
%plot(Ts,Rrad_t,'r'); %R RADIACIÓ TUB
%plot(Ts,qrad_t,'r'); %Pèrdues RADIACIÓ TUB
%plot(Ts,R_t,'g'); %R TOTAL TUB
plot(Ts,q_t,'g'); %Pèrdues TOTAL TUB

%plot(Ts,R_tc); %R TUB_CONDENSACIÓ
plot(Ts,q_tc,'r'); %perdues TUB_CONDENSACIÓ

%plot(Tmescla);
title('pèrdues de radiació i convecció del tub')
xlabel( ' temperatura (°K) ' );
ylabel( 'pèrdues (W) ' );
end

```

9.5 Anàlisi de la Caldera amb les Resistències Tèrmiques Variables

```

%provo de calcular la temperatura del pot variant la R amb aquesta
%a més a més li contem les pèrdues del fogó
clear all;
%dades pot i ambient
L_p=0.2; %alçada pot [m]
r=0.075;
A_p=L_p*2*pi*r;
Tinf=0; % °C
Tinf=Tinf+273; % °K

%dades fogó
L_f1=0.02;
L_f2=0.02;
d_f1=0.135;
d_f2=0.12;
A_f1=pi*d_f1*L_f1;
A_f2=pi*d_f2*L_f2;

%dades conveccio lliure
Pr=0.7;%0.707;
K=26.3e-3;
g=9.8;
alfa=29.9e-6;%22.5e-6;
v=15.89e-6;
%dades radiació
epsilon=0.07; %of copper polished
sigma=5.67e-8;
epsilon2=0.17; %stainless ste

%=====CAPACITAT DE L'AIGUA i ALCOHOL DEL POT=====
concentracio=0.1; [%volum d'alcohol]
volum=2; [%volum total del líquid a destil·lar]
c1=112; %capacitat alcohol [J/mol K]
c2=75.4; %capacitat aigua [J/mol K]
X1=concentracio*volum*780/46.06;%[780g/l;46.06g/mol]
X2=(1-concentracio)*volum*1000/18;%[100g/l;18g/mol]
C=c1*X1+c2*X2;
%ara a aquesta capacitat li sumem les del fogó
%C=C+1013.526777+800.8059279;
C=C+451;%amb un kg de ferro

for Ts = 273: 1 : 100+273 ,

```

```

%=====POT=====
%CONVECCIÓ POT

Ra_num_p(Ts)=g/300*(Ts-Tinf)*L_p^3;
Ra_den_p(Ts)=alfa*v;
Ra_p(Ts)=Ra_num_p(Ts)/Ra_den_p(Ts);
Nu_p(Ts)=(0.825+0.387*Ra_p(Ts)^(1/6)/
(1+(0.492/Pr)^(9/16))^(8/27))^2;
h_p(Ts)=Nu_p(Ts)*K/L_p;
Rconv_p(Ts)=1/(h_p(Ts)*A_p); %LA R ÉS 1/(h*A)
%qconv_p(Ts)=Rconv_p(Ts)*(Ts-Tinf);

%RADIACIÓ POT

grad_p(Ts)=epsilon*A_p*sigma*(Ts^4-Tinf^4);
Rrad_p(Ts)=Ts/qrad_p(Ts);

%=====FOGÓ=====
%CONVECCIÓ FOGÓ1
Ra_num_f1(Ts)=g/300*(Ts-Tinf)*L_f1^3;
Ra_den_f1(Ts)=alfa*v;
Ra_f1(Ts)=Ra_num_f1(Ts)/Ra_den_f1(Ts);
Nu_f1(Ts)=(0.825+0.387*(Ra_f1(Ts))^(1/6)/
(1+(0.492/Pr)^(9/16))^(8/27))^2;
h_f1(Ts)=Nu_f1(Ts)*K/L_f1;
Rconv_f1(Ts)=1/(h_f1(Ts)*A_f1);
qconv_f1(Ts)=(Ts-Tinf)/Rconv_f1(Ts);
%RADIACIÓ FOGÓ1
grad_f1(Ts)=epsilon2*A_f1*sigma*(Ts^4-Tinf^4);
Rrad_f1(Ts)=Ts/qrad_f1(Ts);

%CONVECCIÓ FOGÓ2
Ra_num_f2(Ts)=g/300*(Ts-Tinf)*L_f2^3;
Ra_den_f2(Ts)=alfa*v;
Ra_f2(Ts)=Ra_num_f2(Ts)/Ra_den_f2(Ts);
Nu_f2(Ts)=(0.825+0.387*Ra_f2(Ts)^(1/6)/
(1+(0.492/Pr)^(9/16))^(8/27))^2;
h_f2(Ts)=Nu_f2(Ts)*K/L_f2;
Rconv_f2(Ts)=1/(h_f2(Ts)*A_f2);
qconv_f2(Ts)=(Ts-Tinf)/Rconv_f2(Ts);
%RADIACIÓ FOGÓ2
grad_f2(Ts)=epsilon2*A_f2*sigma*(Ts^4-Tinf^4);
Rrad_f2(Ts)=Ts/qrad_f2(Ts);

%=====
%CONVECCIÓ POT // RADIACIÓ POT

```

```

R_p(Ts)=Rrad_p(Ts)*Rconv_p(Ts)/(Rrad_p(Ts)+Rconv_p(Ts));
%q_p=qrad_p+qconv_p;

%CONVECCIÓ FOGÓ // RADIACIÓ FOGÓ
%conveccio f1//f2
Rconv_f(Ts)=Rconv_f1(Ts)*Rconv_f2(Ts)/(Rconv_f1(Ts)+Rconv_f2(Ts));
%radiació f1//f2
Rrad_f(Ts)=Rrad_f1(Ts)*Rrad_f2(Ts)/(Rrad_f1(Ts)+Rrad_f2(Ts));
%rad f //conv f
R_f(Ts)=Rrad_f(Ts)*Rconv_f(Ts)/(Rrad_f(Ts)+Rconv_f(Ts));

%RESISTÈNCIA FOGÓ // POT
Rtotal(Ts)=R_p(Ts)*R_f(Ts)/(R_p(Ts)+R_f(Ts));

%=====GRÀFICS=====
%hold on;
%plot(Ts,Rconv_p);          %R      CONVECCIÓ POT
%plot(Ts,Rrad_p,'r');      %R      RADIACIÓ POT
%plot(Ts,R_p,'g');         %R      TOTAL      POT

end

    Tout=1;
for t= 1 : 1 : 1800,
    Ts=373;

    while Tout<Ts,
        Tout=293+500*Rtotal(Ts)-500*Rtotal(Ts)*exp(-t/(Rtotal(Ts)*C));
        Ts=Ts-1;
        %if Tout==Ts, break , end
    end
    hold on;
    plot(t,Tout);

end

```

9.6 Mesures de l'Aigua de Refrigeració

Després d'haver escalfat l'aigua de la caldera i haver generat vapor, per tal d'escalfar l'aigua del circuit de refrigeració, s'han pres les temperatures d'aquest últim.

9.6.1 Amb els Ventiladors Apagats

Temps (minuts)	temperatura (°C)	increment de temperatura (°C)
0	57,9	38,9
1	56,9	37,9
2	55,9	36,9
3	55	36
4	54	35
5	53,1	34,1
6	52,2	33,2
7	51,5	32,5
9	49,9	30,9
10	49	30
11	48,3	29,3
12	47,7	28,7
13	47,1	28,1
14	46,3	27,3
15	45,8	26,8
16	45,2	26,2
17	44,6	25,6
18	43,8	24,8
19	43,3	24,3
20	42,9	23,9
21	42,4	23,4
23	41,3	22,3
24	41,1	22,1
25	40,7	21,7
26	40,3	21,3
27	39,7	20,7

28	39,2	20,2
30	38,6	19,6
32	38	19
34	37,4	18,4
35	37	18
37	36,4	17,4
39	35,9	16,9
40	35,6	16,6
42	35	16
44	34,6	15,6
46	34,1	15,1
48	33,6	14,6
52	32,8	13,8
56	32,1	13,1
58	31,8	12,8
60	31,4	12,4
64	30,8	11,8
68	30,2	11,2
71	29,8	10,8
76	29,2	10,2
78	29	10
81	28,6	9,6
84	28,3	9,3
87	28,1	9,1
89	27,9	8,9
90	27,8	8,8

9.6.2 *Amb els Ventiladors Encesos*

Temps (segons)	Temperatura (°C)	Increment de la temperatura
0	56	35,3
10	54,1	33,4
20	51,3	30,6
30	49,7	29
40	47,9	27,2
50	46,4	25,7
60	45	24,3
70	43,5	22,8
80	42,4	21,7
90	41,2	20,5
100	40	19,3
110	38,9	18,2
120	37,8	17,1
130	36,8	16,1
140	36	15,3
150	35,1	14,4
160	34,3	13,6
170	33,5	12,8
180	32,7	12
190	32,1	11,4
200	31,4	10,7
210	30,9	10,2
220	30,3	9,6
230	29,7	9
240	29,2	8,5
250	28,7	8
260	28,3	7,6
270	27,8	7,1
280	27,4	6,7
290	27	6,3
300	26,7	6
310	26,3	5,6
320	26	5,3
330	25,7	5
340	25,5	4,8
350	25,2	4,5
360	25	4,3
370	24,8	4,1
380	24,6	3,9
390	24,4	3,7
400	24,2	3,5
410	24,1	3,4

420	23,9	3,2
430	23,7	3
440	23,6	2,9
450	23,4	2,7
460	23,3	2,6
470	23,2	2,5
480	23	2,3
490	22,9	2,2
500	22,8	2,1
510	22,7	2
520	22,6	1,9
530	22,5	1,8
540	22,5	1,8
550	22,4	1,7
560	22,3	1,6
570	22,3	1,6
580	22,2	1,5
590	22,1	1,4
600	22,1	1,4
610	22	1,3
620	22	1,3
630	21,9	1,2
640	21,9	1,2
650	21,8	1,1
660	21,8	1,1
670	21,7	1
680	21,7	1
690	21,6	0,9
700	21,6	0,9
710	21,6	0,9
720	21,5	0,8
750	21,4	0,7
780	21,4	0,7
810	21,3	0,6
840	21,3	0,6
900	21,2	0,5
960	21,2	0,5
1200	21,1	0,4
1320	21	0,3
1440	21,1	0,4
1740	20,9	0,2
1920	20,8	0,1
2160	20,7	0

9.7 Fulls de característiques de les alimentacions i del voltímetre.

VLT60 Series

60W single and triple output AC/DC Power Supplies

The world's top selling 60-watt convection cooled multi-output power supply. The EOS VLT60 family of power supplies is just 2"x4"x1" in size and the industry leader in density and power conversion efficiency.

Packing nearly 8 watts per cubic inch the VLT60 is an industry top seller with multiple outputs, superb efficiency---converting AC/DC at >86%---and a full 60 watts out put power with convection cooling. The EOS brand VLT60 family is the power supply of choice for discerning engineers across the data-networking, industrial and multimedia industries. An optional cover kit is available. The VLT60 is ideal for 1U (1.75") height and smaller applications where space is a premium and excellent thermal management is key. The VLT60 family is RoHS compliant and our factory is ISO 14001 environmentally approved. Worldwide safety standards apply and the power supply is fitted with OVP and OCP standard features.



Features :

- > 60 W convection cooled rating.
- > Small 2.04x4x1.07 inch form factor.
- > High efficiency > 86%.
- > Single to triple outputs.
- > EN55022-B, FCC Part 15 Level B.
- > Patented resonant topology

Model Number	Output	Voltage / Current *	Voltage Set Point	Min. Load
VLT60-1000	V1	5V@10.0A	5.2V	0.2A
VLT60-1001	V1	12V@5.0A	12V	0.1A
VLT60-1202	V1	15V@4.0A	15V	0.1A
VLT60-1003	V1	24V@2.5A	24V	0.02A
VLT60-1004	V1	48V@1.25A	48V	0.01A
VLT60-3000	V1	5V@8.0A	5.2V	0.2A
	V2	12V@3.0A	12.5V	0.1A
	V3	-12V@0.5A	-12.5V	0.0A
VLT60-3001	V1	5V@8.0A	5.2V	0.2A
	V2	24V@1.5A	23.8V	0.1A
	V3	-12V@0.5A	-12.5V	0.0A
VLT60-3202	V1	5V@8.0A	5.2V	0.2A
	V2	15V@2.5A	14.6V	0.1A
	V3	-15V@0.5A	-16.2V	0.0A
VLT60-3003	V1	3.3V@8.0A	3.3V	0.2A
	V2	5V@3.0A	5.2V	0.1A
	V3	-12V@0.5A	-12.8V	0.0A
VLT60CK	Metal cover kit accessory			

INPUT SPECIFICATION		
AC Input	Auto Ranging	90 to 132 V 180 to 264V
Efficiency	VLT60-3203 Other Models	78 % Typical 86 % Typical
Input Frequency		47-63 Hz
Input Current	Full Load at low line	1.4Arms , max
Inrush Current	High Line , cold start	46A, max

OUTPUT SPECIFICATION		
Output Power	VLT60-1000 VLT60-3003 Other models	50W 45W 80W
Voltage Set Point		See table
Hold-Up Time	115V/230V	6ms/15ms
Voltage Set Point Accuracy	V1 V2 and V3	+3 % +5 %
Line Regulation	Low line to high line	0.3 %
Load Regulation	Min to 50 % full load V1 V2 and V3	+0.5 % +5 %
Transient Response	50 % to full load Voltage Deviation Recovery Time	10 % , max <5 ms
OVP	V1 only 3.3 V V1 only 5V	3.85V, +0.25V 8.2V, +0.4V
Overload Protection	Primary limited	Yes, 130 %
Short Circuit Protection	Auto recovery <6s	Short Term
Ripple and Noise	Single Outputs Multi Outputs	1 % Typical 50mv on Main O/P and 1 % for Auxiliaries
Output Rise Time	All outputs	<100ms

* Maximum current per output channel. Do not exceed total output power rating

All Red Rocket, Inc. EOS power supplies have UL, CSA and Nemko safety compliance and medical versions meet UL60601-1 standards. All our products are RoHS compliant. Visit us at www.redrocketpower.com and contact us at: sales@redrocketpower.com or by calling +1 805-409-0909 today.
© 2008, Red Rocket, Inc. EOS brand power supplies and patents are owned exclusively by Red Rocket, Inc. All Rights Reserved.

REV 04-09-08

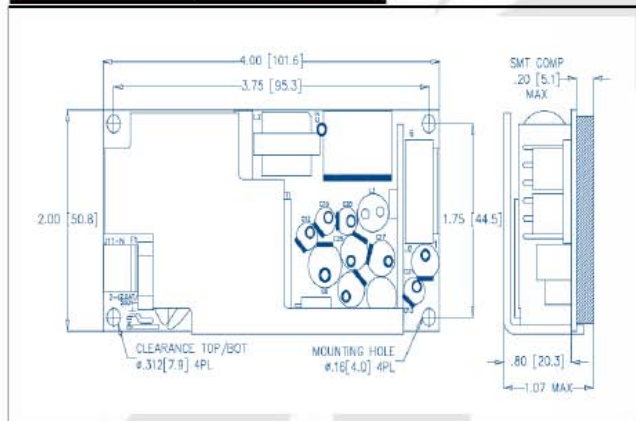


VL T60 Series

60W single and triple output AC/DC Power Supplies



EMC AND SAFETY SPECIFICATIONS		ENVIRONMENTAL SPECIFICATION	
CE Mark	Complies with the LVD	Operating Temperature	No derating Linear derate to 50 % -20 to 50° C 51 to 70° C
EMC	EN5022-B, CISPR22-B, FCC Part 15 Class B, EN50082-1	Storage Temperature	-40 to 85° C
Agency Approval	VDE , UL, c-UL, NEMKO	Cooling	Convection
Safety Standard	IEC80950, N60950, UL8950, CSA, C22.2 No. 8095 Class 1 SELV	Relative humidity	Non condensing 95 % , max
Safety File Number	VDE: 114588 UL: E150565 NEMKO: 29343	MTBF	MIL - HDBK-217F > 100,000 hrs



OUTPUT CONNECTOR J2			MECHANICAL SPECIFICATION	
	Single Output	Triple Output	AC Input Connector J1	Molex 3 position, 0.156 center Header 25-80-4030-P or equivalent
Pin1	V1	V1	Ground Connector	Spade connector
Pin2	V1	V1	DC Output connector J2	Molex 3 position, 0.156 center Header 25-80-4080-P or equivalent
Pin3	Common	Common	Size	2.04*4*1.07
Pin4	Common	Common	Weight	5oz (150g)
Pin5	NC	V3		
Pin8	NC	V2		

INPUT CONNECTOR J1	
Pin 1	AC Neutral
Pin2	AC Line

INPUT SPADE CONNECTOR	
GND	AC Ground

All Red Rocket, Inc. EOS power supplies have UL, CSA and Nemko safety compliance and medical versions meet UL60601-1 standards. All our products are RoHS compliant. Visit us at www.redrocketpower.com and contact us at sales@redrocketpower.com or by calling +1 805-409-0909 today.
 © 2008, Red Rocket, Inc. EOS brand power supplies and patents are owned exclusively by Red Rocket, Inc. All Rights Reserved.
REV 04-09-08

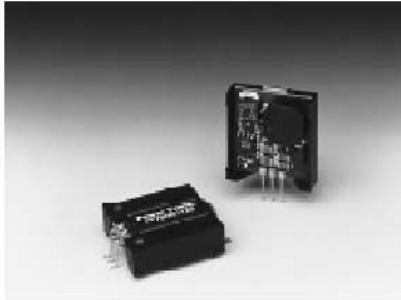


PT78NR100 Series

1 Amp Plus to Minus Voltage Integrated Switching Regulator

Power Trends Products
from Texas Instruments

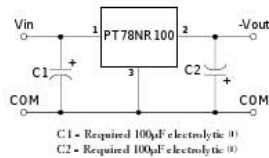
SLTS058B
(Revised 8/31/2000)



- Negative output from positive input
- Wide Input Range
- Self-Contained Inductor
- Short Circuit Protection
- Over-Temperature Protection
- Fast Transient Response

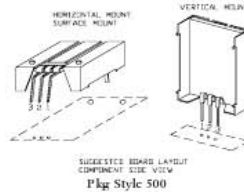
The PT78NR100 Series creates a negative output voltage from a positive input voltage greater than 7V. These easy-to-use, 3-terminal, Integrated Switching Regulators (ISRs) have maximum output power of 5 watts and a negative output voltage that is laser trimmed. They also have excellent line and load regulation.

Standard Application



Pin-Out Information

Pin	Function
1	+V _{in}
2	-V _{out}
3	COM



Ordering Information

PT78NR1XX Y

Output Voltage	Package Suffix
03 = -3.0 Volts	V = Vertical Mount
05 = -5.0 Volts	S = Surface Mount
06 = -6.0 Volts	H = Horizontal Mount
07 = -7.0 Volts	
08 = -8.0 Volts	
09 = -9.0 Volts	
10 = -10.0 Volts	
12 = -12.0 Volts	
14 = -13.9 Volts	
15 = -15.0 Volts	

Specifications

Characteristics (T _a = 25°C unless noted)	Symbols	Conditions	PT78NR100 SERIES			Units
			Min	Typ	Max	
Output Current	I _o	Over V _{in} range: V _o = -5V V _o = -6V V _o = -7, -8, -9V V _o = -10V V _o = -12V V _o = -13.9, -15V	0.05 (2) 0.05 (2) 0.05 (2) 0.05 (2) 0.05 (2) 0.05 (2)	— — — — — —	1.00 0.8 0.55 0.5 0.40 0.30	A
Short Circuit Current	I _{sc}	V _{in} = 10V	—	4xI _{max}	—	Apk
Inrush Current	I _p I _r	V _{in} = 10V On start-up	—	4 0.5	—	A mSec
Input Voltage Range	V _{in}	0.1" I _o " I _{max} : V _o = -5V V _o = -6, -7, -8, -9V V _o = -10, -12V V _o = -13.9, -15V	7 7 7 7	— — — —	25 21 18 15	V V V V
Output Voltage Tolerance	ΔV _o	Over V _{in} range: T _a = 20°C to +70°C	—	±1.0	±3.0	%V _o
Line Regulation	Reg _{line}	Over V _{in} range	—	±0.5	±1.0	%V _o
Load Regulation	Reg _{load}	0.1" I _o " I _{max}	—	±0.5	±1.0	%V _o
V _o Ripple/Noise	V _n	V _{in} = 10V, I _o = I _{max}	—	±2	—	%V _o
Transient Response (with 100µF output cap)	t _{tr}	50% load change V _o over/undershoot	—	100 5.0	250 —	µSec %V _o
Efficiency	η	V _{in} = 10V, I _o = 0.5I _{max} , V _o = -5V	—	75	—	%
Switching Frequency	f _{sw}	Over V _{in} and I _o ranges	600	650	700	kHz
Absolute Maximum Operating Temperature Range	T _o	Free Air Convection, (40-60LFM) Over V _{in} Range	-40	—	+85 (3)	°C
Thermal Resistance	θ _{jc}	Free Air Convection, (40-60LFM)	—	45	—	°C/W
Storage Temperature	T _{stg}	—	-40	—	+125	°C
Mechanical Shock	—	Per Mil-STD-883D, Method 2002.3	—	500	—	G's
Mechanical Vibration	—	Per Mil-STD-883D, Method 2007.2, 20-2000 Hz, soldered in a PC board	—	5	—	G's
Weight	—	—	—	6.5	—	Grams

Notes: (1) The PT78NR100 Series requires a 100µF electrolytic or tantalum capacitor at both the input and output for proper operation in all applications. The input capacitor, C₁, must have a ripple current rating ≥600 mA rms, and an ESR "0.2".
(2) The ISR will operate down to no load with reduced specifications.
(3) See Thermal Derating chart.

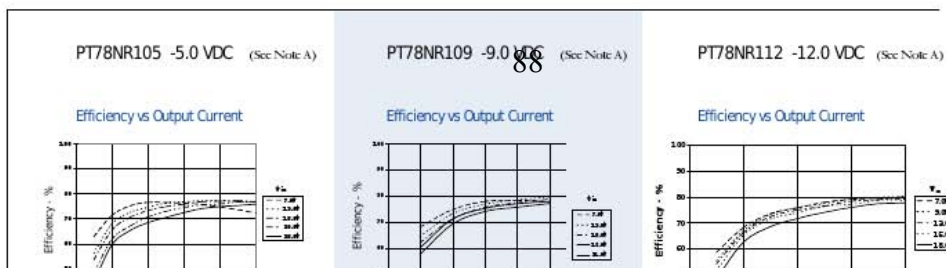
For technical support and more information, see inside back cover or visit www.ti.com/power Trends



PT78NR100 Series

Typical Characteristics

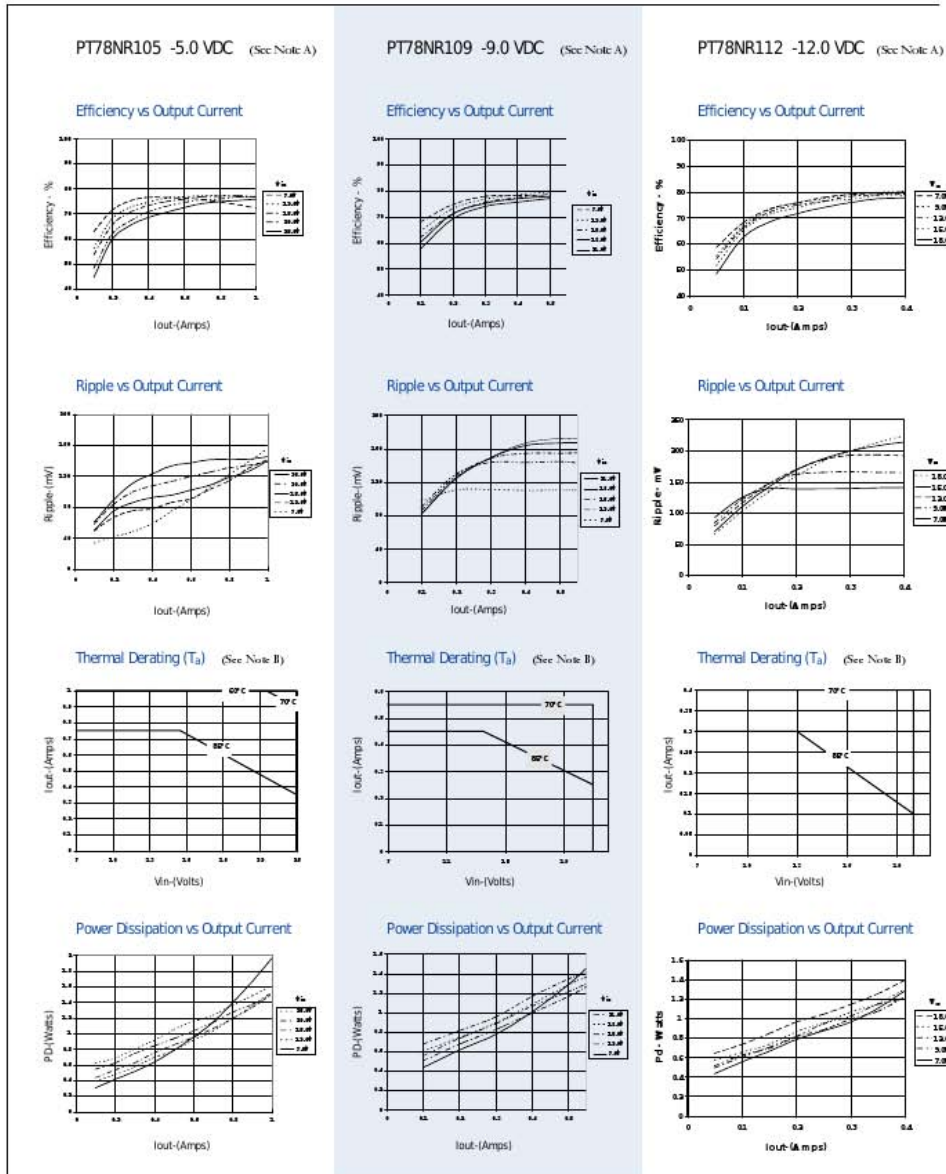
1 Amp Plus to Minus Voltage Integrated Switching Regulator



PT78NR100 Series

Typical Characteristics

1.Amp Plus to Minus Voltage Integrated Switching Regulator



Note A: All data listed in the above graphs, except for derating data, has been developed from actual products tested at 25°C. This data is considered typical data for the ISR.
 Note B: Thermal derating graphs are developed in free air ambient condition of 40-60 LFM. (See Thermal Application Notes.)



For technical support and more information, see inside back cover or visit www.ti.com/power/trends

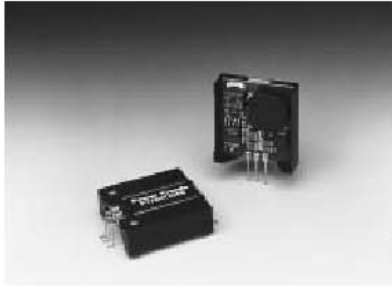
PT78HT200 Series

2 Amp Positive Step-Down Integrated Switching Regulator



SLTS057B

(Revised 10/15/2000)



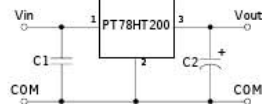
- High Efficiency: Up to 90%
- Wide Input Range
- Self-Contained Inductor
- Short-Circuit Protection
- Over-Temperature Protection
- Fast Transient Response

The PT78HT200 is a series of fixed output, wide-input range, 3-terminal Integrated Switching Regulators (ISRs). These ISRs have a maximum output

current of 2A. The output voltage is also laser trimmed for high accuracy. Features include excellent line and load regulation, internal short-circuit and over-temperature protection.

The PT78HT200 series is available in three package outlines, including horizontal SMD. Their small size and output voltage selection makes these regulators ideal for use in a variety of applications.

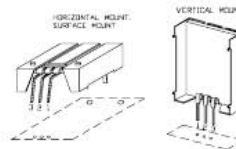
Standard Application



C1 - Optional 1µF ceramic
C2 - Required 100µF electrolytic (1)

Pin-Out Information

Pin	Function
1	V _{IN}
2	GND
3	V _{OUT}



Pkg Style 500

Ordering Information

PT78HT2XX Y

Output Voltage

- 33 = 3.3 Volts
- 05 = 5.0 Volts
- 53 = 5.25 Volts
- 65 = 6.5 Volts
- 08 = 8.0 Volts

Package Suffix

- V = Vertical Mount
- S = Surface Mount
- H = Horizontal Mount

Specifications

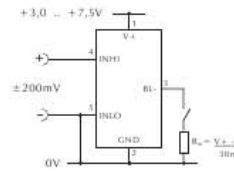
Characteristics (T _a = 25°C unless noted)	Symbols	Conditions	PT78HT200 SERIES			Units	
			Min	Typ	Max		
Output Current	I _o	Over V _{in} range	0.1 (2)	—	2.0	A	
Short Circuit Current	I _{sc}	V _{in} = V _{in min}	—	6.0	—	Apk	
Input Voltage Range	V _{in}	0.1 ≤ I _o ≤ 2.0A	V _o = 3.3V	9	—	15	V
			V _o = 5.0V	9	—	28	
			V _o = 6.5V	10.5	—	28	
			V _o = 8.0V	12	—	28	
Output Voltage Tolerance	ΔV _o	Over V _{in} range, I _o = 2.0A T _a = 0°C to +60°C	—	±1.0	±2.0	% V _o	
Line Regulation	RC _{line}	Over V _{in} range	—	±0.4	±0.8	% V _o	
Load Regulation	RC _{load}	0.1 * I _o * 2.0A	—	±0.2	±0.4	% V _o	
V _o Ripple/Noise	V _n	V _{in} = V _{in min} , I _o = 2.0A	—	±1	—	% V _o	
Transient Response (with 100µF output cap)	t _r	50% load change V _o over/undershoot	—	100	—	µSec	
			—	5.0	—		% V _o
Efficiency	η	V _{in} = 9V, I _o = 2.0A V _{in} = 12V, I _o = 2.0A V _{in} = 15V, I _o = 2.0A	V _o = 3.3V	—	80	—	%
			V _o = 5.0V	—	85	—	
			V _o = 6.5V	—	85	—	
			V _o = 8.0V	—	90	—	
Switching Frequency	f _{sw}	Over V _{in} and I _o ranges	V _o = 25.0V	700	750	800	kHz
			V _o = 3.3V	950	1,000	1,050	
Absolute Maximum Operating Temperature Range	T _a	Over V _{in} range	−40	—	485 (3)	°C	
Thermal Resistance	θ _{JA}	Free Air Convection, (40-60LFM)	—	40	—	°C/W	
Storage Temperature	T _s	—	−40	—	425	°C	
Mechanical Shock	—	Per Mil-STD-883D, Method 2002.3	—	500	—	G's	
Mechanical Vibration	—	Per Mil-STD-883D, Method 2007.2, 20-2000 Hz, soldered in a PC board	—	5	—	G's	
Weight	—	—	—	6.5	—	Grams	

Notes: (1) The PT78HT200 Series requires a 100µF electrolytic or tantalum output capacitor for proper operation in all applications.
(2) ISR will operate down to no load with reduced specifications.
(3) See Safe Operating Area curves for derating.

For technical support and more information, see inside back cover or visit www.ti.com/power/trends

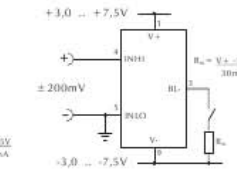


Alimentazione elettrica dello strumento di misura compresa tra 3,0 e 7,5V

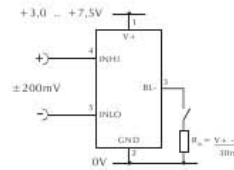


Misurazione di una tensione in ingresso a elettricità singola in relazione con l'alimentazione, ovvero la tensione in ingresso e l'alimentazione dello strumento di misura condividono lo stesso terminale 0V. Assicurarsi che la connessione a saldatura a LCOM sia aperta.

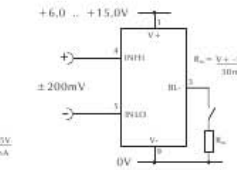
Alimentazione elettrica dello strumento di misura compresa tra 6,0 e 15,0V



Misurazione di una tensione in ingresso a elettricità singola in relazione con l'alimentazione, ovvero la tensione in ingresso e l'alimentazione dello strumento di misura condividono lo stesso terminale 0V. Assicurarsi che la connessione a saldatura a LCOM sia aperta.



Misurazione di una tensione in ingresso in relazione con un'alimentazione flottante, ovvero la tensione in ingresso e l'alimentazione dello strumento di misura vengono isolate l'una dall'altra. Assicurarsi che la connessione a saldatura a LCOM sia chiusa. Assicurarsi che la connessione a saldatura a LCOM sia chiusa.



Misurazione di una tensione in ingresso in relazione con un'alimentazione flottante, ovvero la tensione in ingresso e l'alimentazione dello strumento di misura vengono isolate l'una dall'altra. Assicurarsi che la connessione a saldatura a LCOM sia chiusa. Assicurarsi che la connessione a saldatura a LCOM sia chiusa.

Per una scheda tecnica completa, visitate www.lascarelectronics.com



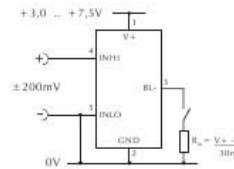
DPM 750S-BL

- Instructions — English — 4
- Anleitungen — Deutsch — 5
- Instrucciones — Espanol — 6
- Instructions — Français — 7
- Istruzioni — Italiano — 8

LASCAR ELECTRONICS LTD.
MODULE HOUSE, WHITEPARISH,
WILTSHIRE SP5 2SJ UK
TEL: +44 (1794) 884567
FAX: +44 (1794) 884616
E-mail: sales@lascar.co.uk

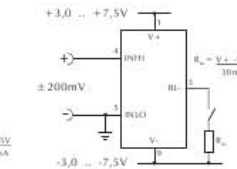
LASCAR ELECTRONICS INC.
3750 WEST 26th STREET
ERIE PA 16506 USA
TEL: +1 (814) 835 0621
FAX: +1 (814) 838 8141
E-mail: us-sales@lascarelectronics.com

Fuente de alimentación para medidor 3,0 a 7,5V

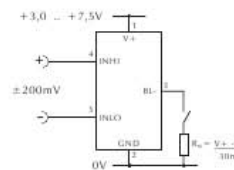


Midiendo una tensión de entrada de terminación sencilla con relación a la alimentación, es decir, la tensión de entrada y la fuente de alimentación del medidor comparten la misma referencia de 0V. Asegúrese de que el puente soldado LCOM está abierto.

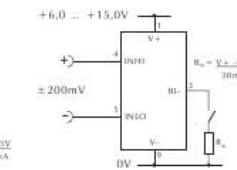
Fuente de alimentación para medidor 6,0 a 15,0V



Midiendo una tensión de entrada de terminación sencilla con relación a la alimentación, es decir, la tensión de entrada y la fuente de alimentación del medidor comparten la misma referencia de 0V. Asegúrese de que el puente soldado LCOM está abierto.

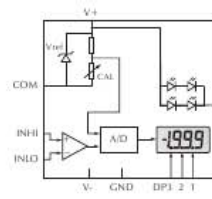


Midiendo una tensión de entrada referenciada a una alimentación flotante, es decir, la tensión de entrada y la fuente de alimentación del medidor están aisladas la una de la otra. Asegúrese de que el puente de soldadura LCOM está cerrado.

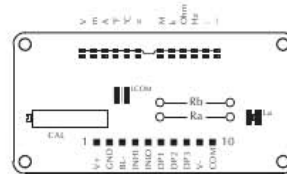


Midiendo una tensión de entrada referenciada a una alimentación flotante, es decir, la tensión de entrada y la fuente de alimentación del medidor están aisladas la una de la otra. Asegúrese de que el puente de soldadura LCOM está cerrado.

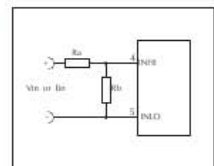
Si desea una hoja de datos técnicos completa, visite www.lascarelectronics.com



V+ / GND	+3.0V - +7.5Vd.c. (max)
I (V+ / GND)	500 μ A (typ)
V+ / V-	+6.0V - +15.0Vd.c. (max)
I (V+ / V-)	350 μ A (typ)
V+ / Vref	+5.0Vd.c. (typ)
I (V+ / Vref)	30 mA (typ)



	FSR	Ra	Rb
Voltage	2V	910k	100k
Vin	20V	1M	10k
	200V	1M	1k
Current	2000 μ A	0R	1k
	2mA	0R	100R
	20mA	0R	10R
	200mA	0R	1R





Installation & Operation - Section A

1.2 MULTIPLICATION & DIVISION

Most Lascar voltmeters have either 3½ or 4½ digit resolution. That is a maximum reading of either ±1999 or ±19999. This will usually correspond to a full scale reading of ±199.9mV (VREF=100mV) or ±1.9999V (VREF=1.00V). The relationship is given by:-

$$\text{READING} = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \quad (3\frac{1}{2}) \quad (1.1) \qquad \text{OR} = 10000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \quad (4\frac{1}{2}) \quad (1.2)$$

The DPM 60, DPM 160 and DPM 300 achieve either 200mV or 2V full scale reading (for a 1V reference) by digitally selecting either 10000 or 1000 clock pulses during the signal integrate period. Thus for a DPM 60 (160, 300) in 200mV scale:-

$$\text{READING} = 10000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \quad (1.3)$$

The DPM 60 (160, 300) uses a more complex system of successive integration and de-integration to achieve the required range of 4½ digits (on the 200mV range the resolution is 10mV). With VREF fixed and VIN varied, the system will multiply (see equations 1.1 - 1.3). However, if VIN is fixed and VREF is the input, the system will divide. This can be used with effect in applications measuring period from the output of a F-V converter for example, or any other requiring a reciprocal function - e.g. velocity

1.3 SPECIFICATION

1.3.1 3½ DIGIT INSTRUMENTS

USING THE ICL 7136 / MAX 131	DPM 1 DPM 125 DPM 2 DPM 200(S)	DPM 2000(S) DPM 3 DPM 400 DPM 50(S)	DPM 500(S) DPM 54(S) DPM 600(S) DPM 700(S)	DPM 702S DPM 850S DPM 942 DPM 950(S)	DTM 995
USING THE MAX 136	DPM 10 DPM 100	DPM 116 DPM 201(S)	DPM 2001(S) DPM 601(S)	DPM 951(S) DPM 970	
USING THE MAX 138	DPM 1S-BL DPM 125-BL	DPM 2S-BL DPM 3S-BL	DPM 342 SP 200	SP 400	
USING THE ICL 7137	DPM 343 DPM 343M	DPM 390 DPM 40	DPM 56 DPM 959		
USING THE MAX 140	DPM 340	SP100	SP 300		

TABLE 1 - ICL 7136, 7137, MAX 136, 140, 138 SPECIFICATIONS

PARAMETERS	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Zero input reading	Vin = 0V Full Scale = 200mV	-0	+0	+0	Reading
Ratiometric reading	Vin = Vref Vref = 100mV	998	999/1000	1000	Reading
Rollover error (Difference between equal, positive and negative reading near full scale.)	-Vin = +Vin = 200mV	-1	+0.2	+1	counts
Linearity (Maximum deviation from best straight line fit)	Full Scale = 200mV or Full Scale = 2.00V	-1	+0.02	+1	counts
Common Mode Rejection Ratio (CMRR)	Vcm = +1V, Vin = 0V Full Scale = 200.0mV		1		cd/V
Leakage current at input	Vin = 0V		1	10	pA
Zero reading drift	Vin = 0V, 0°C < Ta < +70°C		0.2	1	cd/°C
Scale factor temperature coefficient	Vin = 199.0mV, 0°C < Ta < 70°C (Ext Ref 0ppm/°C)		1	5	ppm/°C
Supply current (Does not include COMMON or REF current)	Vin = 0V		70	100	cdA (7136)
			70	100	cdA (MAX 136)
			200	500	cdA (MAX 138)
			120	200	mA (7137)
Analogue COMMON Voltage (with respect to positive supply)	250k between Common and Positive supply (25k MAX 136, 7137)	2.6	3.0	3.2	(7136)
		2.6	2.8	3.2	V (MAX 136)
		2.95	3.05	3.15	(MAX 138)
		2.6	2.8	3.2	(7137)
Temperature coefficient of Analogue COMMON (with respect to positive supply)	250k between Common and Positive supply (25k MAX 136, 7137)		150		ppm/°C (MAX 136)
			80		(MAX 138)
			20		(7137)
Pk - Pk Segment Drive (7136/MAX 136/MAX 138)	V+ to V- = 9V	4	5	6	V
Pk - Pk Backplane Drive (7136/MAX 136/MAX 138)	V+ to V- = 9V	4	5	6	V
ICL 7137 ONLY					
Segment Sinking Current	Except AB4 AB4 only	V+ = 5.0V Segment voltage = 3V	5	8	mA
			10	16	
MAX 140 ONLY					
Segment Sinking Current	Except AB4 AB4 only	V+ = 5.0V Segment voltage = 3V	1.5	2.5	mA
			3	5	

Lascar Electronics Limited
Tel: +44 (0)1794 884567 Fax: +44 (0)1794 884616
E-mail: sales@lascar.co.uk

Lascar Electronics, Inc.
Tel: +1 (650) 838 9027 Fax: +1 (650) 833 5432
E-mail: lascarus@pacbell.net

Lascar Electronics (HK) Limited
Tel: +852 2797 3219 Fax: +852 2343 6187
E-mail: b4lascar@samsongroup.com.hk



Installation & Operation - Section A

1.3.2 4½ DIGIT INSTRUMENTS

DPM 60, DPM 160 and DPM 300 : These use the ICL 7129A.

TABLE 2 - ICL 7129 SPECIFICATION:

PARAMETERS	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS
Zero input reading	Vin = 0V Full Scale = 200mV	-0	+0	+0	Reading
Zero reading drift	Vin = 0V, 0°C < Ta < +70°C		+0.5V		œV/°C
Range change accuracy	Vin = 0.1V on Low Range + Vin = 1.0V on High Range	0.9999	1	1.0001	Ratio
Ratiometric reading	Vin = Vref, Vref = 100mV Range = 2V	9998	9999	10000	Reading
Rollover error	-Vin = +Vin = 199mV		0.5	1	Counts
Linearity error	Full Scale = 200mV		0.5		Counts
Common Mode Rejection Ratio	Vcm = +1V, Vin = 0V Full Scale = 200mV		110		dB
Common Mode Voltage Range	Vin = 0V Full Scale = 200mV	V- + 1.5		V+ - 0.5	V
Noise (p-p value not exceeded 95% of time)	Vin = 0V Full Scale = 200mV		7		œV
Input leakage current	Vin = 0V, Pin 32,33		1	10	pA
Scale factor temperature coefficient	Vin = 199.0mV, 0°C < Ta < +70°C		2	5	ppm/°C
COMMON voltage	V+ to pin 2B	2.8	3.2	3.5	V
COMMON sink voltage	COM raised by 0.1V		0.6		mA
COMMON source voltage	COM lowered by 0.1V		12		œA
DCND voltage	V+ to pin 36, V+ to V- = 9V	4.5	5.3	5.8	V
DCND sink current	DCND raised by 0.5V		1.2		mA
Supply voltage range	V+ to V-	6	9	14	V
Supply current (excluding COMMON current)	V+ to V- = 9V		1	1.4	mA
Clock frequency			120	360	kHz
Display multiplex rate	fCLK = 120kHz		100		Hz
VDISP resistance	VDISP to V+		50		k
Low battery threshold	V+ to V-	6.3	7.2	7.7	V
Continuity threshold	Vout Pin 27 = HI	100	200		mV
	Vout Pin 27 = LO		200	400	
Pull down current	Pins 37, 38, 39		2	10	œA
"Weak Output" current	Pins 20, 21 Sink/Source		3/3		œA
Sink source	Pin 27 Sink/Source		3/9		œA
Pin22	Source current			40	œA
	Sink current			3	œA

DPM 45, DPM 443, 443M and 490: These use the ICL 7135.

Table 3 - ICL 7135 SPECIFICATION:

PARAMETERS	SYMBOL	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS
Zero input reading		Vin = 0V Full Scale = 2V	-0	±0	+0	Reading
Ratiometric reading		Vin = Vref Full Scale = 2V	+0.9998	+0.9999	+1.0000	Reading
Rollover error (Difference in equal positive and negative reading near full scale)		-Vin = +Vin = 2V		0.5	1	Counts
Linearity (Max deviation from best straight line fit)		-2V < Vin < +2V		0.5	1	Counts
Differential linearity (Difference between worse case step of adjacent counts and ideal step)		-2V < Vin < +2V		0.01		LSB
Leakage current at input	IKK	Vin = 0V		1	10	pA
Zero reading drift		Vin = 0V 0°C < Ta < 70°C		0.5	2	œV/°C
Scale factor temperature coefficient	TC	Vin = +2V 0°C < Ta < 70°C (Ext Ref 0 ppm/°C)		2	5	ppm/°C
Noise (p-p value not exceeded 95% of time)	en	Vin = 0V Full Scale = 2V		15		œV
Clock in	VINH		2.8	2.2		V
	VINL			1.6	0.8	
Run/Hold	IINH	Vin = 0		0.02	0.1	mA
	IINL	Vin = +5V		0.1	10	œA
All outputs		VOL	IOIL = 1.6mA		0.25	0.4V
B1, B2, B4, B8, D1, D2, D3, D4, D5		VOH	IOH = -1mA	2.4	4.2	
BUSY, STROBE, OVERRANGE, UNDERRANGE, POLARITY			IOH = -10mA	4.9	4.99	V
+5V Supply range	V+			+4	+5	+6V
-5V Supply range	V-			-3	-5	-8V
+5V Supply current	I+	fc = 0			1.1	3mA
-5V Supply current	I-	fc = 0			0.8	3mA
Power dissipation capacitance	CPD	vs. Clock Freq.			40	pF
Clock frequency	DC			2000	1200	kHz

9.8 Características dels Sensors

Inline Wassertemperaturfühler
 ArtNr:
 500 504
 500 952
 500 951
 500 950



Stand:
 22.03.2005

innovatek OS GmbH
www.innovatek.de
info@innovatek.de

Datenblatt zum Inline Wassertemperaturfühler

Messprinzip	Widerstand	
Anwendung		
Medium	Wasser und Ethandiolmischungen	
Messbereich	-50 °C...+90 °C	
Druckbereich	max 4 bar	
Messgenauigkeit	3%	
Wiederholgenauigkeit	<0,5%	
Material		
Gehäuse	Messing, vernickelt (500504) Aluminium Eloxiert (500950...)	
Kapselung	Klebung der Zugentlastung	
Übertrager	Reinkupfer (Medienkontakt)	
Anpresstück	Silikon	
Dichtung	NBR (Medienkontakt)	
Maße/Gewichte		
Anschlüsse	Messing vernickelt, für Schlauch 8mm(innen)*1mm(Wandung)*10mm(aussen)	
Maße L x B x H	85*40*25	
Gewicht	61g (500504) 33g (500950...)	
Temperaturbereich	-10 °C...100 °C	
Elektrische Daten		
Versorgungsspannung	-	
Stromaufnahme	-	
Ausgang	Widerstand 10KOhm (+- 3%)	
Max-DC	100V	
Anschluss	2-Pin Molex 2.54mm /100cm Kabel	
Definitionslinie	25°C	
Toleranz (60K diff)	3,4K	
Reaktionszeit	6s	
Artikel-Nummer	500504/500950/500951/500952	
Passende Auswertgeräte:		
Fan-O-Matic (PRO)	- Messwertanzeige	
Fan-O-Matic micro	- Messwertweitergabe	

Wir weisen darauf hin, dass die innovatek OS GmbH Stammham keinerlei Haftung für Schäden jedweder Art übernimmt, die durch den Einbau oder die Anwendung des Produktes oder dessen Teile entstanden sind.

Temp. (°C)	Rmax. (kOhm)	Rst. (kOhm)	Rmin. (kOhm)	Toleranz (°C)	
-50	392,6	367,7	344,0		1,1
-49	369,2	346,0	323,9		1,1
-48	347,4	325,7	305,1	-1,1	1,1
-47	327,0	306,8	287,6	-1,1	1,1
-46	308,0	289,1	271,2	-1,1	1,1
-45	290,2	272,6	255,8	-1,1	1,1
-44	273,6	257,2	241,5	-1,1	1,1
-43	258,1	242,7	228,1	-1,1	1,1
-42	243,6	229,2	215,5	-1,1	1,1
-41	230,0	216,6	203,7	-1,1	1,1
-40	217,3	204,7	192,7	-1,1	1,1
-39	208,2	193,4	182,1	-1,1	1,1
-38	193,9	182,8	172,3	-1,1	1,1
-37	183,2	172,9	163,0	-1,1	1,1
-36	173,3	163,6	154,3	-1,1	1,1
-35	163,9	154,9	146,2	-1,1	1,1
-34	155,2	146,7	138,5	-1,1	1,1
-33	146,9	139,0	131,3	-1,1	1,1
-32	139,2	131,7	124,5	-1,1	1,1
-31	131,9	124,9	118,1	-1,1	1,1
-30	125,1	118,5	112,1	-1,1	1,1
-29	118,6	112,4	105,4	-1,1	1,1
-28	112,4	106,6	101,0	-1,1	1,1
-27	106,7	101,2	95,91	-1,1	1,1
-26	101,2	96,08	91,11	-1,1	1,1
-25	96,11	91,27	86,59	-1,1	1,1
-24	91,28	86,73	82,33	-1,1	1,1
-23	86,74	82,46	78,31	-1,1	1,1
-22	82,46	78,42	74,52	-1,0	1,1
-21	78,41	74,62	70,94	-1,0	1,1
-20	74,60	71,02	67,55	-1,0	1,0
-19	70,90	67,53	64,27	-1,0	1,0
-18	67,41	64,24	61,17	-1,0	1,0
-17	64,12	61,13	58,24	-1,0	1,0
-16	61,01	58,20	55,47	-1,0	1,0
-15	58,08	55,43	52,88	-1,0	1,0
-14	55,3	52,81	50,38	-1,0	1,0
-13	52,68	50,33	48,04	-1,0	1,0
-12	50,21	47,99	45,82	-1,0	1,0
-11	47,86	45,77	43,72	-1,0	1,0
-10	45,65	43,67	41,74	-1,0	1,0
-9	43,53	41,66	39,84	-1,0	1,0
-8	41,52	39,76	38,04	-1,0	1,0
-7	39,62	37,96	36,33	-1,0	1,0
-6	37,82	36,25	34,72	-1,0	1,0
-5	36,12	34,63	33,18	-1,0	1,0
-4	34,50	33,10	31,73	-1,0	1,0
-3	32,97	31,64	30,34	-1,0	1,0
-2	31,52	30,26	29,03	-1,0	1,0
-1	30,14	28,95	27,78	-1,0	1,0
0	28,83	27,70	26,60	-1,0	1,0

Wir weisen darauf hin, dass die innovatek OS GmbH Stammham keinerlei Haftung für Schäden jedweder Art übernimmt, die durch den Einbau oder die Anwendung des Produktes oder dessen Teile entstanden sind.

Temp. (°C)	Rmax. (k ...)	Rst. (k ...)	Rmin. (k ...)	Tolerance (°C)	
50	4,309	4,147	3,988	-1,2	1,2
51	4,171	4,013	3,857	-1,2	1,3
52	4,038	3,884	3,732	-1,2	1,3
53	3,911	3,760	3,611	-1,3	1,3
54	3,788	3,640	3,496	-1,3	1,3
55	3,669	3,525	3,384	-1,3	1,3
56	3,555	3,415	3,277	-1,3	1,4
57	3,445	3,308	3,173	-1,3	1,4
58	3,339	3,205	3,074	-1,3	1,4
59	3,237	3,106	2,978	-1,4	1,4
60	3,139	3,011	2,886	-1,4	1,4
61	3,044	2,919	2,797	-1,4	1,4
62	2,952	2,830	2,711	-1,4	1,5
63	2,864	2,744	2,628	-1,4	1,5
64	2,778	2,652	2,548	-1,4	1,5
65	2,696	2,582	2,471	-1,5	1,5
66	2,616	2,505	2,397	-1,5	1,5
67	2,540	2,431	2,325	-1,5	1,5
68	2,466	2,360	2,256	-1,5	1,6
69	2,395	2,291	2,190	-1,5	1,6
70	2,325	2,224	2,125	-1,6	1,6
71	2,259	2,160	2,063	-1,6	1,6
72	2,194	2,097	2,003	-1,6	1,6
73	2,132	2,037	1,944	-1,6	1,7
74	2,071	1,979	1,888	-1,6	1,7
75	2,013	1,922	1,834	-1,6	1,7
76	1,957	1,868	1,782	-1,7	1,7
77	1,902	1,815	1,731	-1,7	1,7
78	1,850	1,765	1,682	-1,7	1,7
79	1,799	1,716	1,636	-1,7	1,8
80	1,749	1,668	1,590	-1,7	1,8
81	1,701	1,622	1,545	-1,7	1,8
82	1,655	1,577	1,502	-1,8	1,8
83	1,610	1,534	1,460	-1,8	1,8
84	1,566	1,492	1,420	-1,8	1,8
85	1,524	1,451	1,381	-1,8	1,9
86	1,483	1,412	1,343	-1,8	1,9
87	1,444	1,374	1,307	-1,9	1,9
88	1,405	1,337	1,271	-1,9	1,9
89	1,368	1,301	1,237	-1,9	1,9
90	1,332	1,267	1,204	-1,9	2,0

Wir weisen darauf hin, dass die innovatek OS GmbH Stammham keinerlei Haftung für Schäden jedweder Art übernimmt, die durch den Einbau oder die Anwendung des Produktes oder dessen Teile entstanden sind.

Temp. (°C)	Rmax. (k ...)	Rst. (k ...)	Rmin. (k ...)	Tolerance (°C)	
0	28,83	27,70	26,60	-1,0	1,0
1	27,57	26,51	25,46	-0,9	1,0
2	26,38	25,37	24,38	-0,9	1,0
3	25,24	24,29	23,36	-0,9	1,0
4	24,17	23,27	22,38	-0,9	1,0
5	23,14	22,29	21,45	-0,9	1,0
6	22,17	21,36	20,56	-0,9	1,0
7	21,24	20,48	19,72	-0,9	0,9
8	20,36	19,64	18,92	-0,9	0,9
9	19,52	18,83	18,15	-0,9	0,9
10	18,72	18,07	17,43	-0,9	0,9
11	17,96	17,34	16,73	-0,9	0,9
12	17,23	16,64	16,05	-0,9	0,9
13	16,53	15,98	15,43	-0,9	0,9
14	15,87	15,34	14,82	-0,9	0,9
15	15,24	14,74	14,24	-0,9	0,9
16	14,54	14,16	13,69	-0,9	0,9
17	14,06	13,61	13,16	-0,9	0,9
18	13,52	13,09	12,66	-0,9	0,9
19	12,99	12,59	12,18	-0,9	0,9
20	12,49	12,11	11,72	-0,9	0,9
21	12,01	11,55	11,28	-0,9	0,9
22	11,56	11,21	10,86	-0,8	0,9
23	11,12	10,79	10,45	-0,8	0,9
24	10,70	10,38	10,07	-0,8	0,9
25	10,30	10,00	9,700	-0,8	0,9
26	9,922	9,630	9,337	-0,8	0,9
27	9,561	9,276	8,990	-0,9	0,9
28	9,214	8,936	8,658	-0,9	0,9
29	8,883	8,611	8,340	-0,9	0,9
30	8,565	8,301	8,037	-0,9	0,9
31	8,260	8,001	7,744	-0,9	0,9
32	7,967	7,715	7,464	-0,9	1,0
33	7,686	7,440	7,196	-0,9	1,0
34	7,417	7,177	6,939	-1,0	1,0
35	7,159	6,925	6,693	-1,0	1,0
36	6,911	6,683	6,457	-1,0	1,0
37	6,674	6,451	6,230	-1,0	1,0
38	6,446	6,229	6,014	-1,0	1,1
39	6,228	6,015	5,806	-1,0	1,1
40	6,018	5,811	5,606	-1,1	1,1
41	5,815	5,513	5,413	-1,1	1,1
42	5,619	5,422	5,228	-1,1	1,1
43	5,432	5,240	5,050	-1,1	1,1
44	5,252	5,064	4,879	-1,1	1,2
45	5,079	4,896	4,715	-1,1	1,2
46	4,913	4,734	4,558	-1,2	1,2
47	4,753	4,579	4,407	-1,2	1,2
48	4,599	4,429	4,261	-1,2	1,2
49	4,482	4,285	4,122	-1,2	1,2
50	4,309	4,147	3,988	-1,2	1,2

Wir weisen darauf hin, dass die innovatek OS GmbH Stammham keinerlei Haftung für Schäden jedweder Art übernimmt, die durch den Einbau oder die Anwendung des Produktes oder dessen Teile entstanden sind.

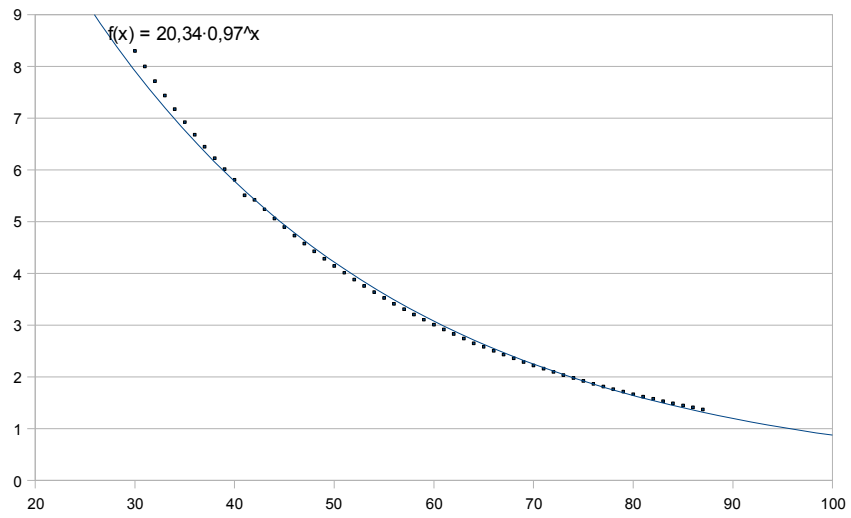


Figura 9.1: Evolució de la resistència de les NTCs

9.9 Programa de la Placa de Control Externa

```

#include <p16f876A.inc>
                ;ORG 0

COUNT0      EQU 0X30
COUNT1      EQU 0X31
COUNT2      EQU 0X32
COUNT3      EQU 0X33
COUNT4      EQU 0X34
COUNT5      EQU 0X35
COUNT6      EQU 0X36
COUNT7      EQU 0X37
COUNT8      EQU 0X38
MEMLED       EQU 0X39
PROVA1       EQU 0X3A
PROVA2       EQU 0X3B
CONSIGNA1    EQU 0X4C
CONSIGNA2    EQU 0X4D

                ;inicialitzar status

                BCF  STATUS,Z
                BCF  STATUS,DC
                BCF  STATUS,C ;netejo els flags per si de cas

                ;inicialització option_reg
                BCF  STATUS,IRP ;banc 0,1
                BCF  STATUS,RP1
                BSF  STATUS,RP0 ;banc 1
                BSF  OPTION_REG,NOT_RBPU ;portb pull up disabled
                BCF  OPTION_REG,T0CS ;internal clock
                BCF  OPTION_REG,PSA ;preescaler to timer0
                BSF  OPTION_REG,PS2
                BSF  OPTION_REG,PS1
                BSF  OPTION_REG,PS0 ;preescaler 1:256
F=4MHz/256=15.6kHz=64us

                ;BSF  INTCON,GIE ; interrupcions habilitades. vénen
deshabilitades per defecte
                ;BSF  INTCON,T0IE ; interrupció per T0 habilitada

                ;inicialitzar ports
                ;en POR queden a 1->entrades

```

```

BCF TRISB,0
BCF TRISB,1
BCF TRISB,2
BCF TRISB,4 ;PER AL LED VERD DE PROVA
BCF TRISB,5 ;PER AL LED VERD DE PROVA
BSF TRISA,0
BSF TRISA,1

;inicialitzar convertidor A/D
BCF STATUS,RP0 ;banc0
BSF ADCON0,ADCS1
BCF ADCON0,ADCS0 ;Fosc/64

BSF STATUS,RP0 ;banc1
BSF ADCON1,ADCS2 ;Fosc/64
BCF ADCON1,ADFM ;justificació a la dreta (LSB=0)
BCF ADCON1,PCFG0
BCF ADCON1,PCFG1
BSF ADCON1,PCFG2
BCF ADCON1,PCFG3 ;AN0,1,3 analog input
BCF STATUS,RP0 ;banc0

;control
BCF PORTB,4; MASSA DEL LED VERD
BCF PORTB,4; POSITIU DEL LED VERD
CLRF MEMLED

INICI      BCF PORTB,2; encenc bomba
           COMF MEMLED,1
           BTFSC MEMLED,0
           GOTO APAGALED
           GOTO ENCENLED

APAGALED   BCF PORTB,5
           GOTO CONTINUO

ENCENLED   BSF PORTB,5 ;A CADA EXECUCIÓ CANVIO PORTB,5 (LED DE PROVA)
           GOTO CONTINUO

CONTINUO   COMF PORTB,4;
           MOVLW 0X01
           MOVWF COUNT0 ;COUNT0= 'B'11111111

ESPERO     ;BTFSS INTCON,T0IF ;miro si hi ha interrupció
           ;GOTO ESPERO
           ;BCF INTCON,T0IF ;netejo flag interrupció

```

```

MOV LW 0XFF
MOV WF COUNT1
ESPERO1 MOV LW 0XFF

MOV WF COUNT2
ESPERO2

MOV LW 0X0A
MOV WF COUNT3
ESPERO3

DECFSZ COUNT3,1
GOTO ESPERO3

DECFSZ COUNT2,1
GOTO ESPERO2

DECFSZ COUNT1,1
GOTO ESPERO1

DECFSZ COUNT0,1
GOTO ESPERO

;miro T1
BCF ADCON0,CHS2
BCF ADCON0,CHS1
BCF ADCON0,CHS0 ;AN0
BCF ADCON0,GO
BSF ADCON0,ADON ;ON

MOV LW 0X08
MOV WF COUNT7
ESPEROADO

DECFSZ COUNT7,1
GOTO ESPEROADO
CLRF ADRESH ;NETEJO LA LECTURA ABANS D'ENEGGAR-LO
BSF ADCON0,GO
WAITCONV0 BTFSC ADCON0,GO
GOTO WAITCONV0 ;espero GO=0 (fi conversió)
;=====CONTROL_H=====
MOV LW 0XAB ;movem CONSIGNA1 a W register.
SUBWF ADRESH,0 ;(W)=(ADRESL)-(W)
BTFSC STATUS,C ;miro si la resta és negativa
goto fogoapagat
goto fogoences
;=====

```

```

fogoences      BCF STATUS,RP0
                BCF PORTB,0
                GOTO SEGUENT

fogoapagat     BCF STATUS,RP0
                BSF PORTB,0

;=====
;miro T2
SEGUENT        BCF ADCON0,CHS2
                BCF ADCON0,CHS1
                BSF ADCON0,CHS0 ;AN0
                BCF ADCON0,GO
                BSF ADCON0,ADON ;ON

                MOVLW 0X08
                MOVWF COUNT7

ESPEROAD1      DECFSZ COUNT7,1
                GOTO ESPEROAD1
                CLRF ADRESH ;NETEJO LA LECTURA ABANS D'ENEGGAR-LO
                BSF ADCON0,GO

WAITCONV1      BTFSC ADCON0,GO
                GOTO WAITCONV1 ;espero GO=0 (fi conversió)
                ;=====CONTROL_H=====
                MOVLW 0X3F ;movem CONSIGNA2 a W register.
                SUBWF ADRESH,0 ; (W)=(ADRESL)-(W)
                BTFSC STATUS,C ;miro si la resta és negativa
                goto ventences
                goto ventapagat
                ;=====

ventences      BCF STATUS,RP0
                BCF PORTB,1
                GOTO INICI

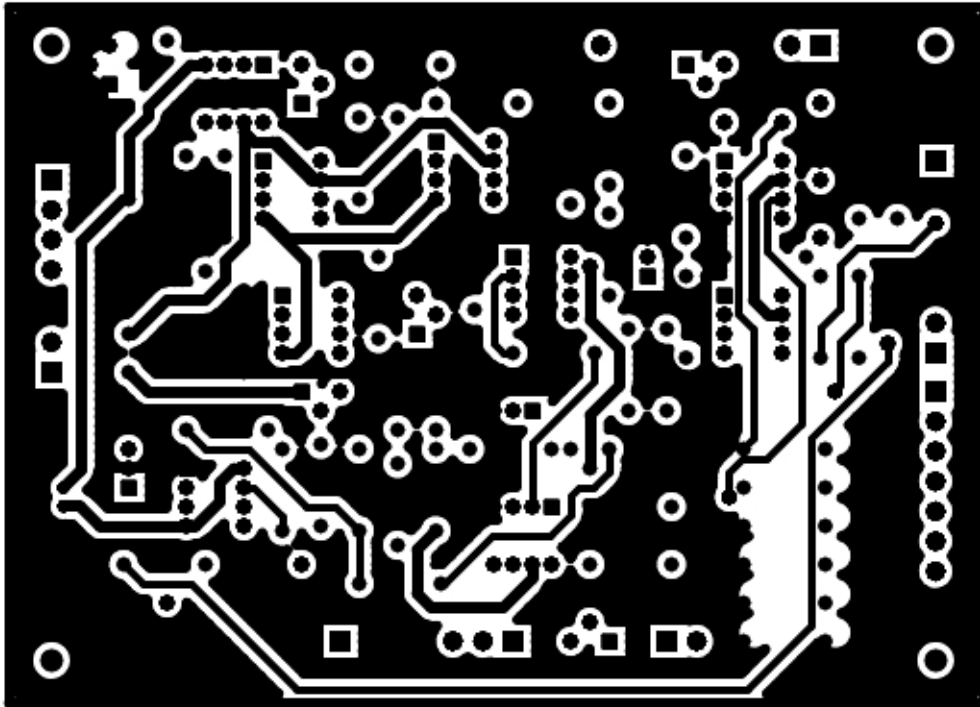
ventapagat     BCF STATUS,RP0
                BSF PORTB,1
                GOTO INICI

END

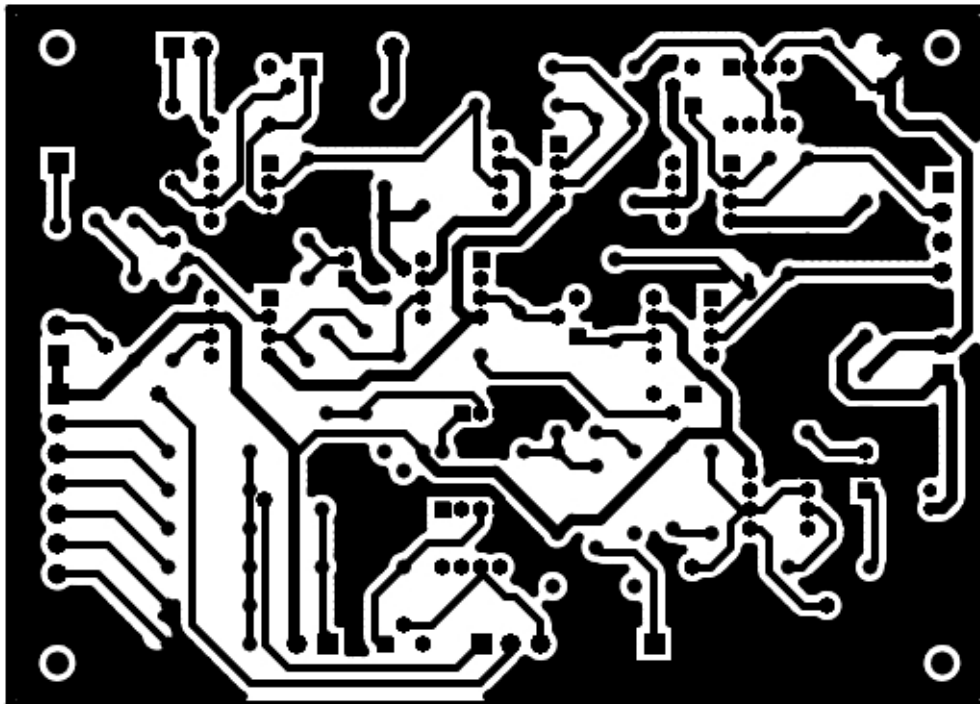
```

9.10 Fitolits de la Placa de Control Interna

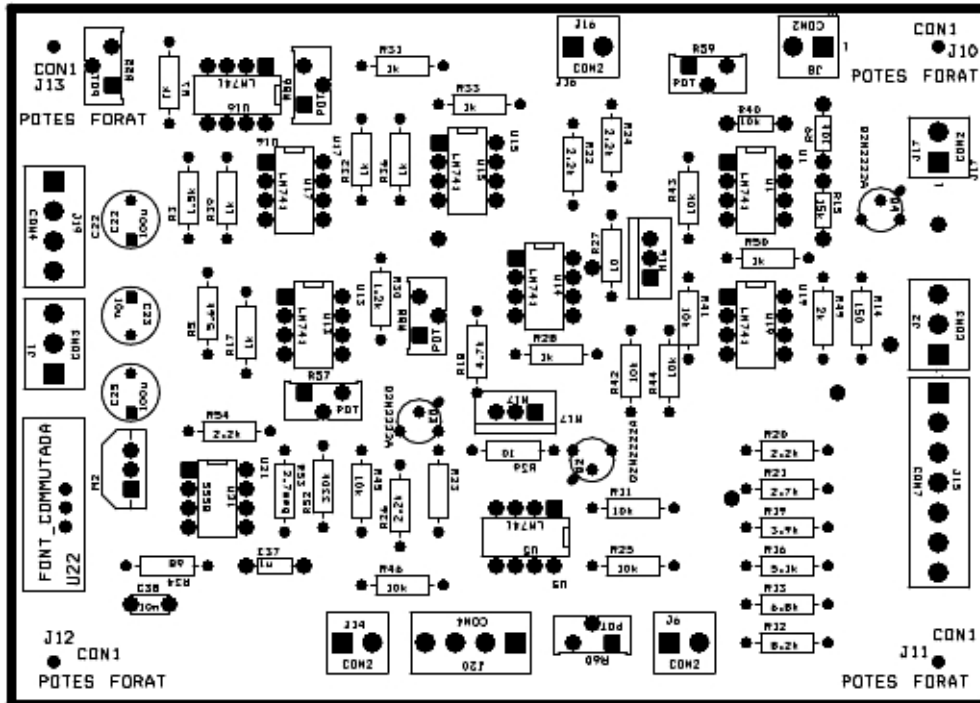
Top:



Bottom:

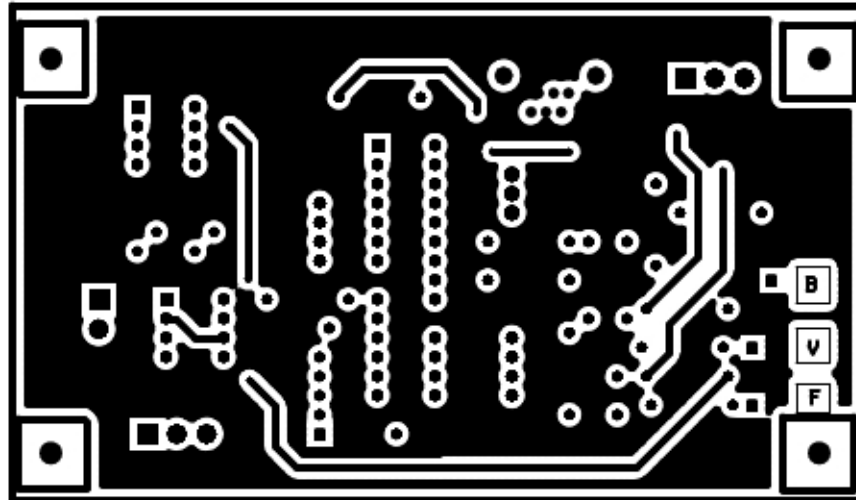


Components:

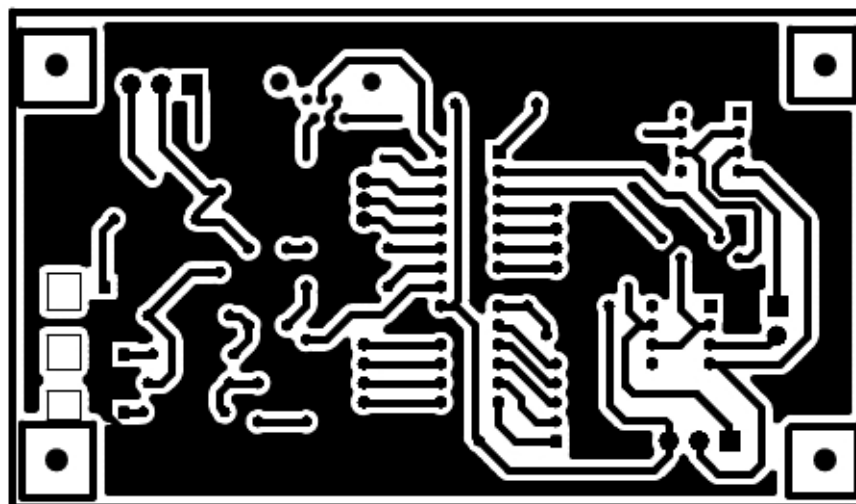


9.11 Fotolits de la Placa de Control Externa

Top:



Bottom:



10 Bibliografia

[1] LEVENSPIEL, OCTAVE , “**Flujo de fluidos e intercambio de calor**”, Barcelona: Reverté, DL 1993 8429179682, ISBN(cart.)

[2] INCROPERA, FRANK PAUL “**Fundamentals of heat and mass transfer / Frank P. Incropera, David P. DeWitt**, Edició 4th ed. Publicació New York : John Wiley & Sons, cop. 1996, ISBN 0471304603

[3] ÇENGEL, YUNUS A. , “**Heat and mass transfer : a practical approach**”, 3rd ed., Singapore: McGraw Hill, 2006, ISBN 9780071257398

[4] RIFERT, V. G., “**Condensation heat transfer enhancement**”, Southampton, UK WIT, cop. 2004, ISBN 1853125385

[5] GUPTA, J. P. (JAI PRAKASH), “**Working with heat exchangers : questions and answers**” , New York [etc.] : Hemisphere Pub. Co., cop. 1990, ISBN 1560320540

[6] ENRIQUE TORRELLA ALCARAZ, “**Ingeniería térmica : ejercicios resueltos de transmisión de calor**”, Valencia : Editorial de la UPV, DL 2002 , ISBN 8497052013

[6] SADIK KAKAÇ, ARTHUR E. BERGLES, AND E. OLIVEIRA FERNANDES , “**Two-phase flow heat exchangers : thermal-hydraulic fundamentals and design** ”, Dordrecht : Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division [by] Kluwer Academic, cop. 1988 , ISBN 9024736935

[7] ENRIQUE PALACIOS MUNICIO, FERNANDO REMIRO DOMÍNGUEZ, LUCAS J. LÓPEZ PÉREZ, “**Microcontrolador PIC16F84 : desarrollo de proyectos**” , 2a ed., Paracuellos de Jarama (Madrid) : RA-MA, cop. 2005, ISBN 8478976914

[8] <http://deeea.urv.cat/DEEEA/ecanto/www/SEAM.HTM>