

Estació meteorològica controlada per un PICAXE

Per Carles Araguz

Autor: Carles Araguz López

Tutoritzat per: Jordi Orts

IES Príncep de Viana,
Departament de Tecnologia.

2005 – 2006

*"Hi ha una força motriu més poderosa
que el vapor, l'electricitat i l'energia
atòmica: la voluntat (Albert Einstein)"*

Gràcies a tots aquells que m'heu
ajudat a trobar la voluntat, i m'heu
empès a la satisfacció.

Índex:

1. Introducció	04
1.1. Definició de l'estació meteorològica	04
1.2. Funcionalitat de l'estació	05
2. Hardware	07
2.1. Sensors i dispositius I ² C	07
2.2. Esquema intern de l'estació meteorològica	15
2.3. Disseny de la placa base	24
2.4. Costos	31
2.5. Avaluació del prototip	34
3. Software	38
3.1. Introducció al llenguatge BASIC	38
3.2. Programes de l'estació meteorològica	38
4. Conclusió del projecte	44
5. Bibliografia	45

Contingut del CD:

Annex 1.1, Connexions del layout

Annex 2.1, Les termoresistències

Annex 3.1, Caràcters ASCII

Memòria en .PDF (Acrobat Reader) i .DOC (Microsoft Word)

Datasheets dels components rellevants (Documents amb les dades)

1. Introducció:

1.1. Definició de l'estació meteorològica digital domèstica:

La Meteorologia, la ciència del temps; cada són més, les persones que es preocupen per aquest camp d'estudi, i cada cop és més ampli el grup de gent que vol tenir a casa seva un aparell que li marqui el temps; la temperatura, la humitat etc. L'estació meteorològica digital pretén ser un projecte destinat a les cases. L'electrònica és un camp que en aquest sentit proporciona força fidelitat en quant a resultats. La digitalització imminent dels estris més comuns també arriba al camp de la meteorologia, i en aquesta memòria es demostrarà. Es donaran les eines necessàries, per a la creació d'una estació meteorològica digital i domèstica.

Per a això necessitem un sistema senzill, un sistema electrònic programable, que ofereixi totes les possibilitats que necessitem per a l'estació com són, captació de dades, emmagatzematge d'aquestes, i visualització de resultats. El sistema òptim i més eficaç per a aquest conjunt és el sistema PICAXE. PICAXE és el nom d'un conegut controlador programable del fabricant Microchip [[http_PIC_05](http://PIC_05)]. Aquest es basa en un sol xip preprogramat que executa les ordres BASIC que li enviem per una connexió sèrie. El seu ús està molt estès en el camp de l'educació per la seva senzillesa de connexió i la seva gran funcionalitat.

Fa uns anys, aquest sistema era quasi un desconegut per a aquest tipus d'aplicacions. En altres projectes del mateix tipus, no es podien utilitzar aquests xips controladors perquè el seu ús comportava molts problemes; es feien servir ordinadors i altres grans dispositius electrònics, que impedièren una portabilitat com la que s'aconsegueix aquí. No tan sols pel pes, aquesta estació meteorològica millorarà aquests inconvenients, sinó també pel tamany, i la senzillesa de programació.

Al mercat, però, existeixen diverses ofertes de controladors PIC, cadascun s'adapta a unes possibilitats i a un determinat nombre de funcions disponibles.

1.1.1. PICAXE 28X:

Com s'ha dit, hi ha diferents models de PICAXE. Cadascun va ser estudiat i comparat amb els altres per escollir-ne l'opció més adequada. Van ser descartats els models de baix potatge, es a dir els models de 8 pots, ja que per a l'estació meteorològica es necessiten més connexions dispositiu-controlador. L'estudi es va centrar en els PICAXE 28 / 28A / 28X, xips de vint-i-vuit pots que es diferencien en la capacitat, en el nombre de línies de codi que s'hi poden emmagatzemar, en nombre de entrades i de sortides (pots que envien informació o que la reben), i en la memòria interna; tal i com es mostra en la **Taula 1**:

PICAXE	Tamany (potes)	Memòria (línies)	I/O pins¹	Outputs (sortides)	Inputs (entrades)	Memòria
28	28	80	20	8	8	64 + 256
28A	28	80	20	8	8	64 + 256
28X	28	600	21	9-17	0-12	128 + I ² C

Taula 1

Es va escollir el xip PICAXE 28 X, pel simple fet de ser millor que els altres. Aquest, tenia molta més capacitat de codi (línies de codi BASIC), un major nombre de pots destinades a la entrada i el mateix amb la sortida, i més memòria interna. Però el més rellevant d'aquest PIC és la possibilitat de la connexió per mitjà del bus I²C, bus que utilitzen molts components (el xip de memòria per exemple) com es veurà en aquesta memòria.

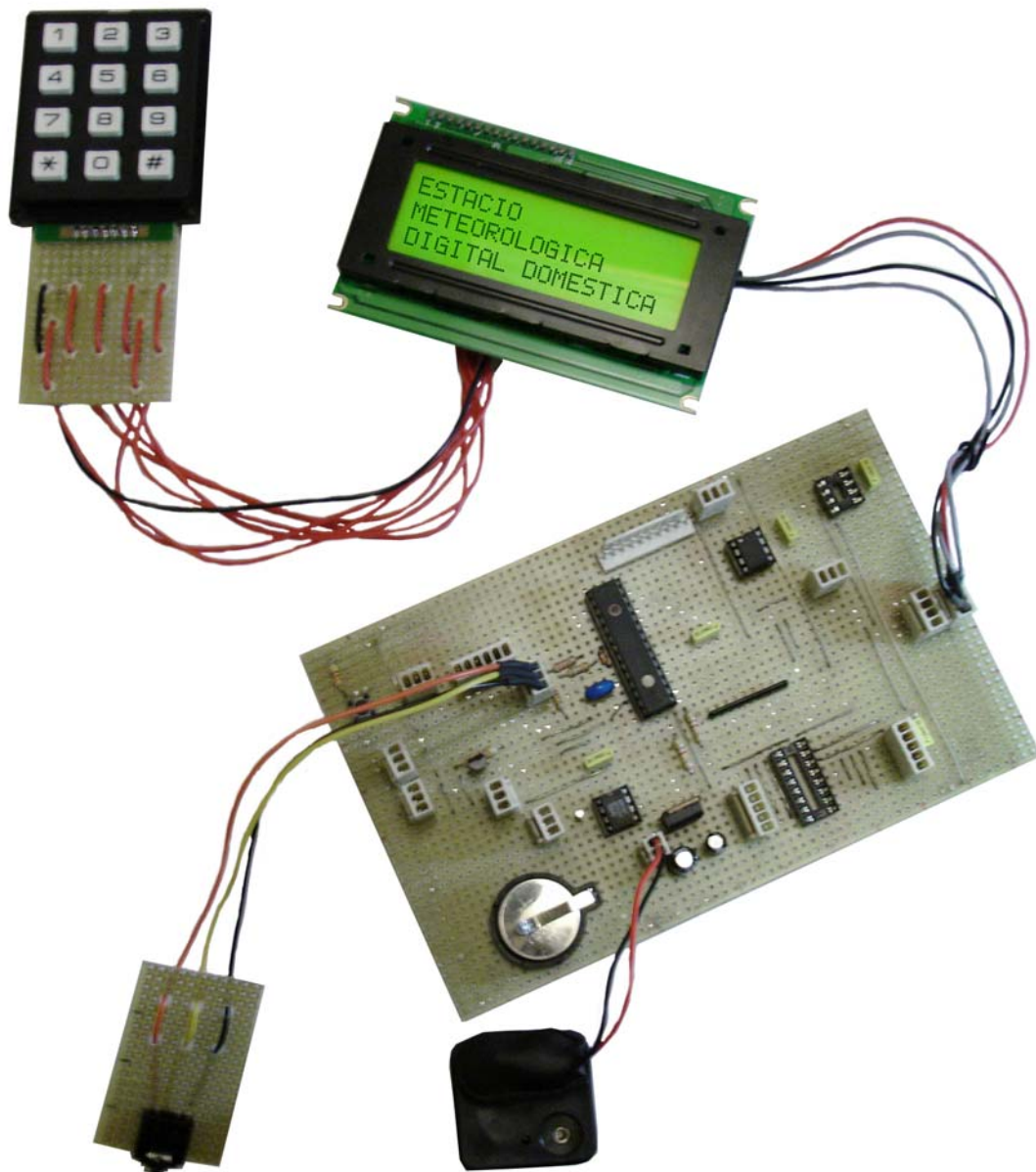
1.2. Funcionalitat de l'estació:

Com a producte, cal dir de l'estació meteorològica digital, que té una gran llista de funcions al seu abast. És una estació meteorològica que pot ser utilitzada dins de casa, fora, o a ambdós llocs. És una estació completament ampliable. Compta amb tres sondes soldades fixes, però te la possibilitat d'ampliar-les fins a tenir-ne vuit. Amb el sistema de memòria que s'utilitza, i les connexions que s'utilitzen, és perfectament possible ampliar-la tant com es vulgui. Aquesta estació meteorològica

¹ I/O vol dir ports d'entrada i sortida. Pins (o pots) que permeten la entrada de dades i que també poden enviar-ne. Són digitals [més informació més endavant]

pretén ser una eina que pugui estar a la disposició de qualsevol necessitat. Pot fer-se servir de termòstat, utilitzant els ports de sortida, que prèviament programat el PICAXE, pot obrir o tancar un circuit de refrigeració, humitat o pressió.

Per acabar amb aquesta petita introducció, dir que aquesta memòria explica pas a pas com construir una estació amb característiques bàsiques, i el procés que es va seguir per aconseguir el resultat final.



2. Hardware

2.1. Sensors i dispositius I²C:

2.1.1. Introducció als sensors:

La meteorologia es basa en el registre de dades i l'estudi d'aquestes. Per tant l'estructura base de captació de dades, d'una estació meteorològica, són els sensors. L'estació meteorològica digital, per tant també n'haurà d'integrar. En aquest cas he optat per les tres mesures més comuns en el camp de la meteorologia domèstica; la temperatura, la humitat relativa i la pressió atmosfèrica. Aquests tres factors ambientals hauran de ser mesurats per tres sensors diferents especialitzats en cada àrea de captació de dades. Però l'electrònica, creix a un ritme desmesurat, la tecnologia avança, i creix en experiència i en resolució de problemes. Així doncs trobar quin sensor cal per a l'estació meteorològica i quins no, ha sigut la primera gran tasca per a mi.

Em calia trobar sensors eficaços, que no fes falta programar, els més simples en quant a connexió amb el controlador PICAXE (i per tant compatibles), i el més barats possible, per tal d'estalviar costos d'aquesta estació. A més a més, era d'important rellevància tenir en compte els rangs d'actuació, que han de ser els comuns (com a mínim al nostre país), i el sistema que el sensor té per enviar les dades (digital o analògic).

2.1.2. Sensor d'humitat:

La humitat és la quantitat de vapor d'aigua present a l'aire. Es pot expressar de forma absoluta mitjançant la humitat absoluta (quantitat de grams de vapor d'aigua, contingut en un metre cúbic d'aire, g/m³), o de forma relativa mitjançant la humitat relativa (en el cas que l'aire no pugui admetre més aigua es diu que l'aire està saturat i tindrà, per tant, una humitat relativa del 100%).[WP_05] El sensor d'humitat ha de mesurar aquests valors.



Sensor HS1100
Humirel

Actualment hi ha diferents sensors d'humitat disponibles per a l'electrònica. Tots ells van ser estudiats per reafirmar-ne l'ús o descartar-los. La primera troballa va ser la dels HS12P i HS15P [HS_SenH_05], dos sensors d'humitat que retornen uns valors d'impedància per a cada canvi de humitat

relativa. Va ser descartat des d'un bon principi, per dues raons bàsiques; per oferir uns registres molt petits, per oferir-los en aquest valor, en impedància, i per ser un sensor més aviat destinat a aparells de gran humitat com humidificadors i deshumidificadors, i aparells de ventilació. Després de trobar aquest, es va trobar el sensor HS1100 de la casa Humirel [HUMI_SenH_02]. Aquest sensor es dedicava a la captació de la humitat relativa. Però necessitava un oscil·lador i un disseny de circuit amb resistències i condensadors, i per tant un esquema complex de connexió sensor-controlador. Aquest sensor, a més a més, oferia una gràfica Humitat rel.(/capacitat(pF) molt complicada de convertir amb un controlador PICAXE i la programació Basic. Seguint buscant un bon sensor d'humitat es va arribar al fabricant Honeywell. Aquest oferia el sensor HIH-3610-001/002/003 [HON_SenH_05]. Aquest és un sensor que mesura la humitat relativa des del 0% fins al 100% en condicions normals. Consta de tres pins (en 3 potes): voltatge, de 5V (igual que el que fa servir el controlador), massa (Gnd) i el pin que envia el registre del sensor directament i de forma analògica (V_{out}). Per tant aquest sensor ofereix una connexió directa sensor-controlador i amb una fàcil lectura per aquest últim, ja que només ha de convertir el valor (que va des del 0 fins al 255) a un tant per cent (de 0% a 100%), i per tant una simple taula de conversió. Al datasheet que el fabricant ens proporciona se'ns mostra un exemple de sondatge d'aquest sensor: amb una humitat relativa del 0% el sensor ens tornava 0,958V ($\approx 1V$), i amb una humitat relativa del 100% el sensor ens donava un voltatge de 3,268V ($\approx 3V$). Estava indicat sobretot per a la meteorologia. En trobar aquest sensor es va donar per escollit, i després de veure que el proveïdor dels controladors PICAXE, i altres components que també s'usen, el distribuïa, es va escollir aquest sensor definitivament, tot i el seu elevat cost ($\sim 25€$). Amb aquest sensor només cal soldar una pista des del pin V_{out} fins a un port d'entrada analògica del PICAXE 28 X. Així doncs la recerca de sensors es limitava, ara, a dos.



**Sensor d'humitat
HIH 3600 001
Honeywell**

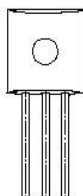
2.1.3. Sensor de temperatura:

Pel que fa els sensors de temperatura es va complicar més la búsqueda. També calia un sensor, senzill de connectar, amb un sistema de dades fàcil de captar, etc. però era imprescindible que actués a temperatures normals.

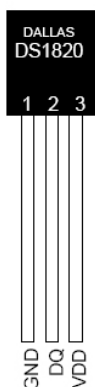
En primer terme van ser descartades termoresistències (tipus PTC o NTC²), ja que ofereixen una gràfica $U(V)/R(\Omega)$ de tipus logarítmic, i molt difícil de calibrar amb un controlador de les característiques que tenim. Seguint indagant, i a la mateixa web del fabricant Honeywell, trobem la sèrie TD. Eren sensors de temperatura, i dels quals el sensor TD5A [HON_SenT_05], oferia el metratge de temperatura contingut entre els -40°C i els 150°C (-40°F / 302°F).



**Sensor TD5A
Honeywell**



**LM335
National
Semiconductors**



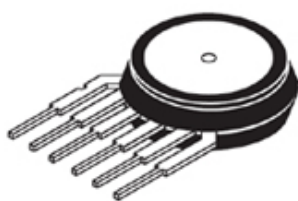
Sensor de temp. DS18B20. Dallas

Era molt bona sonda, i s'adaptava al que s'estava buscant. Però tenia un inconvenient, i força important; treballava a un voltatge de 10V, el que em feia difícil adaptar-lo a la placa del controlador, que usaria 5V. Va ser descartat el sondatge d'aquest sensor per aquesta raó, i es va seguir buscant per internet, ja que era una eina que fins ara havia proporcionat bons resultats. A internet apareixien sensors que no s'adaptaven a les nostres característiques, o que treballaven amb un voltatge difícil de combinar. Vaig llegir-me altres treballs de recerca sobre el tema, i vaig veure dos sensors, semblants, però diferents: el LM335 [TR_NG_02] i el LM35D [TR_DF_98] [NATS_SenT_00], el primer era un sensor de les característiques que busquem, però mesurava en Kelvin, i, tot i no descartar-lo, vaig seguir buscant. El LM35D, era un sensor calibrat en graus Celcius o centígrads ($^{\circ}\text{C}$), però el problema era que no proporcionava una mesura inferior als 0°C , i per tant, no era interessant com a opció. Uns dies després d'haver trobat el sensor LM335, a la web del distribuïdor de controladors PICAXE, vèiem que recomanaven un sensor de temperatura, òptim per a la meteorologia i compatible amb el controlador PICAXE. Aquest era el DS18B20 [DAL_SenT_05], de la casa Dallas. No requeria cap tipus de component addicional, i oferia un rang de metratge que anava des dels -55°C als 125°C . A més a més enviava la mesura de forma digital i només calia rebre-la amb un dels pins digitals del controlador. Perquè el recomanaven, i perquè era molt senzill de fer servir i de connectar va ser acceptada la opció de Dallas i va ser refusada la del LM335; el DS18B20 serà el sensor de temperatura. Ara, doncs, calia trobar el sensor de pressió que utilitzaria la estació meteorològica digital domèstica.

² PTC i NTC: Positive/Negative Temperature Coefficient (Són resistències de coeficient de temperatura positiu/negatiu). Per veure per que van ser descartades consultar Annex 2.1.

2.1.4. Sensor de pressió atmosfèrica:

La pressió és un element que pot semblar més difícil de mesurar, però el cert és que en quant a sensors, la oferta era pràcticament igual d'abundant. *"Un baròmetre és un instrument que mesura la pressió atmosfèrica. La pressió atmosfèrica representa el pes per unitat de superfície, exercida per l'atmosfera"* [WP_05]. Així doncs el que farà el sensor de pressió, serà actuar com a baròmetre. A la xarxa, van ser trobades també la majoria d'ofertes; el primer de tots, i seguint amb el fabricant Honeywell, va ser la sèrie de sensors 40PC [HON_SenP_05]. Va ser descartada en adonar-me que mesurava en una unitat utilitzada en metratges precisos d'alta pressió (medicina, etc.), el psi - lliures per polzada quadrada (*Pounds per Square Inch*) - i que té una equivalència amb les unitats del sistema internacional: al sistema anglosaxó $1\text{psi} = 6.894757\text{ kPa}$ del S.I.. La pressió atmosfèrica es mesura en milibars (mbar) o en hectopascals ($1\text{ mbar} = 100\text{ Pa} = 0,1\text{kPa} = 1\text{ hPa}$), per aquesta raó vaig descartar la sèrie de sensors 40PC i vaig seguir buscant. A internet apareixien tot tipus de sensors però els que més es trobaven, eren els del fabricant Motorola. En un altre projecte, vaig veure que s'utilitzava un sensor de pressió Motorola. Vaig buscar-ne el datasheet i va resultar



**MPX4115 case 867
Motorola**

que estava millorat amb la versió MPX4115A [MOT_SenP_05]. Després de consultar el datasheet del component a internet, es va decidir escollir-lo com a sensor de pressió, ja que en tenim bones referències. El sensor de pressió MPX4115A mesurava la pressió atmosfèrica (mesurava en kPa), des dels 15 kPa als 115 kPa, i per tant mesurava la pressió atmosfèrica típica que trobem al nostre país. Era car, ($\sim 30\text{-}50\text{€}$) però era eficaç i adequat per al sondatge que desitjava.

El problema amb aquest sensor va ser la seva distribució. El sensor tenia diferents models, que es diferenciaven en "la forma", en la "caixa" (*case*). Necessitem el sensor més reduït possible per tal de compactar el màxim possible l'estació meteorològica, i per tant el model MPX4115A - 867. El distribuïdor amb el que compro els PICs no el venia, i no trobava cap botiga ni botiga on-line on aconseguir-lo. Vaig posar-me en contacte amb *Freescale Semiconductors*, el distribuïdor habitual de Motorola, i em van derivar la consulta a Arrow Iberia Electrónica SLU, la empresa encarregada de la distribució a Espanya. Vaig posar-me en contacte amb Tomás Navarro, i em va donar l'oportunitat d'aconseguir-lo, sense haver de pagar. L'enginyer Tomás Navarro, va demanar-lo a la fàbrica, i al cap d'un més i escaig vaig anar-lo a buscar a les oficines d'Arrow Iberia.

2.1.5. Introducció al I²C:

El sistema I²C (Inter Integrated Circuit) és un bus sèrie que utilitza només dos fils i una massa comuna, per a les múltiples connexions de dispositius perifèrics. La velocitat màxima a la que es pot trametre informació amb aquest bus és de 400kHz, i el mateix circuit de dos fils, pot arribar a controlar fins a 128 dispositius [http_VV_05]. La connexió entre master (dispositiu mestre i dominant) i slave (dispositiu esclau i dominat) és la que es mostra a la **figura 1**.

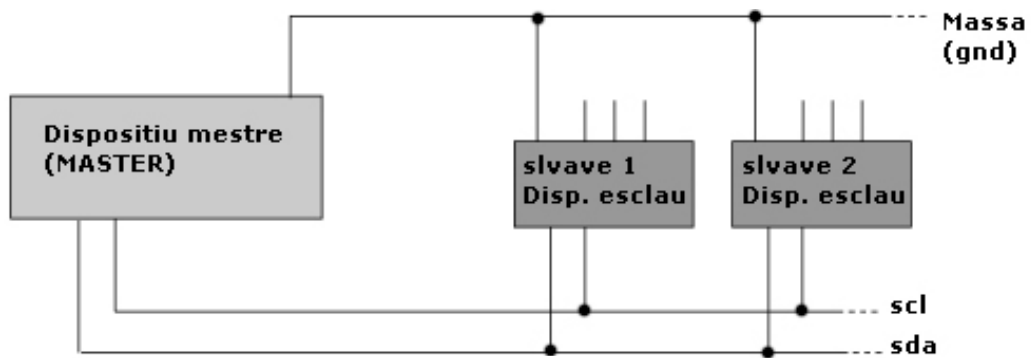


Figura 1

D'aquesta forma, es poden connectar tots els dispositius necessaris al mateix controlador. Aquest bus, es farà servir, sobretot per a la memòria i el display. Vaig buscar més informació sobre aquest bus, i vaig documentar-me sobre aquest. Per controlar un, o un altre dispositiu, connectat al mateix controlador, la solució són les "adreces"; i és que cada dispositiu porta una adreça digital d'un Byte (8 bits, p.e.: 10011000) que permet controlar un o un altre perifèric.

2.1.6. Memòria EEPROM:

El circuit integrat de la memòria el forma un únic xip; el xip E²PROM. "E²PROM o EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory) és com el seu nom indica un tipus de memòria que pot ser esborrada si s'exposa a una càrrega elèctrica. Com altres tipus de xips de memòria la EEPROM, reté el seu contingut fins que deixa de rebre corrent elèctric. Com altres tipus de ROM (read-only memory), la EEPROM no és tan ràpida com la RAM (random acces memory). Podríem dir que la EEPROM és similar a la memòria flash, i molt sovint és anomenada flash EEPROM (tot i que hi ha diferències de velocitat entre una i altra)" [http_WbP_05]. "La EEPROM, per tant, pot ser llegida un número il·limitat de vegades, però només un milió de vegades escrita" [WP_05] (una informació que no ens afecta a l'hora de

crear la estació). La estació meteorològica captarà les dades mitjançant els sensors i les escriurà a la memòria. Aquesta està connectada (com sovint solen estar-ho les del seu tipus) al bus I²C del que he parlat abans. Per a l'estació meteorològica digital, s'ha fet servir el model del fabricant Microchip, 24LC16B [MICH_Mem_05], un xip amb capacitat de 2kB (2048 registres), amb un buffer de 16Bytes i que treballa a 400kHz de freqüència.

Per a la connexió d'aquest integrat al PICAXE, es fa servir la connexió al fil sda, i scl, però el xip requereix la connexió d'altres elements (a més a més del voltatge i la massa). Aquest elements són quatre; les tres potes de adreça (A0, A1 i A2) que en el cas del model que he escollit no són necessàries, i l'altre és la pota WP, write protection (protecció d'escriptura) que he connectat a massa (0V) per tal de desbloquejar la protecció.

La memòria està dividida en blocs, per tant, cada cop que s'escrigui un valor, s'haurà d'adreçar a un lloc o a un altre. En aquest cas tenim 8 blocs, i ens adreçarem a un o a un altre a partir de la direcció: %1010bbb0 (on les "bbb" donen lloc al número de bloc). Amb aquest sistema mantindré organitzats els registres.

2.1.7. Clock:

El Serial real time clock (o rellotge a temps real), és un altre dispositiu I²C que es farà servir. Va ser seleccionat el xip del fabricant Dallas, DS1307 [DAL_Clk_05]. Aquest proporcionarà al controlador (via I²C) l'hora i la data en que es troba l'usuari. Al contrari que la EEPROM, el rellotge no perd la configuració quan deixa de rebre corrent, ja que en el seu esquema de connexió incorpora una pila de botó del tipus CR2032 de liti, connectada a un dels seus pins. Aquest xip requereix també un oscil·lador que li marqui les pulsacions (concretament un de 32,768 kHz).³

2.1.8. Introducció als displays:

Fins ara s'ha vist l'ús de sensors i circuits integrats, en aquesta estació meteorològica. Però per a que aquesta sigui realment interactiva, i pugui ser usada

³ Tant la memòria EEPROM 24LC16B de Microchip com el Serial Real Time Clock DS1307 de Dallas, estaven recomanats a un tutorial PDF de la web del fabricant PICAXE [[http_I2C_PDF_05](#)]

per qualsevol tipus d'usuari és evident que necessita incorporar una "part gràfica". Aquesta part de l'estació serà l'encarregada de la impressió dels resultats. La formarà un dispositiu que permeti l'escriptura de caràcters. Aquest serà el display. Com a primera funció del display es va pensar en, únicament, la impressió dels resultats de temperatura, humitat o pressió. Així doncs només calien tres mòduls diferents per a mostrar tres mesures diferents.

La primera opció que va ser contemplada va ser la del display LED. Aquest està format per components (dels quals cadascun ofereix un sol caràcter numèric) que està dividit en vuit parts. Cada part, és un LED (Light Emissor Diode), i la combinació dels vuit conformarà un caràcter numèric del 0 al 9 (més la coma dels decimals). Això suposava dues coses importants a tenir en compte; la primera és que necessitaria com a mínim 9 caràcters (distribuïts en els tres sondatges; quatre per a la pressió, tres per a la temperatura i dos per a la humitat relativa), i per tant un sistema capaç de controlar els nou components. Existeixen uns components controladors d'aquests displays LED (SAA1064 de Philips Semiconductors [PHIL_CL_91]) per al sistema I²C. Però era imprescindible fixar-nos en la segona cosa a tenir en compte: el consum. Aquests displays consumien com vuit LEDs independents, i si la seva utilització havia de ser tan elevada, més valia seguir buscant alternatives. La alternativa que va aparèixer primer va ser el LCD.

2.1.9. LCD:

LCD són les sigles de Liquid Crystal Display (pantalla de cristall líquid). Aquest tipus de displays utilitzen una tecnologia basada en la orientació de la llum. El contingent bàsic del LCD és aquest líquid cristal·lí, molècules del qual canvien de posició i orientació segons el corrent, deixant passar la llum o impeding-ne la seva propagació. D'aquesta manera es creen parts fosques, controlables elèctricament. Per a l'ús d'aquest component, es va haver de tenir en compte el voltatge i el protocol que feia servir. Amb protocol, em refereixo al sistema d'enviament de senyals i la seva interpretació per a la creació de caràcters. El primer LCD que complia les condicions òptimes era el C-2602 de Cebek [CEB_LCD_05a i b]. Aquest era una pantalla de 16 caràcters per fila, de 2 files. Em proporcionava un estalvi d'energia considerable, comparat amb el display LED, i m'oferia moltes més possibilitats que aquest. En quant a preu, cal dir que tampoc era inadequat, valia 10 € aprox. i el podia connectar al PICAXE. Tot i així aquesta última característica va ser el seu punt dèbil. L'LCD que integrava un controlador interpretador de la

senyal, i un sistema de control de contrast força fàcil de manejar, necessitava la connexió de sis potes, directament als ports d'entrada/sortida (Input/Output) del PICAXE. La connexió de vuit potes només per al LCD suposava molts problemes. Necessitem com a mínim una pota I/O (Input/Output) per a la connexió de la sonda de temperatura, i si, a més volia fer servir el sistema de memòria del que s'ha parlat abans, necessitaríem dues potes més (corresponents al scl i al sda, les dues connexions del bus I²C), que comparteixen la funció amb la funció I/O. Així, tot i les seves avantatges, va tenir-se que descartar l'LCD C-2602. Començant a buscar altres solucions, va ser desenterrada la possibilitat d'utilitzar mòduls de display LED. Fins que es va trobar la solució als problemes, un LCD que funcionava pel bus I²C, LCD02 S310118 [INT_LCD_05a] o, en el seu defecte, per mode sèrie. La pantalla de cristall líquid I²C, a més a més d'utilitzar només dues potes del PICAXE (scl i sda), tenia vint caràcters per quatre files; comptava també amb sistema de retroil·luminació, i era molt fàcil d'utilitzar. Una altra possibilitat que contemplava aquest display, era la opció de connectar-hi un teclat matricial de dotze botons S310119 [INT_Tec_05]. Aquest teclat (de tipus telèfon), proporcionava la interactivitat que es desitjava en l'estació meteorològica, que recordem-ho, és domèstica. Per tant una vegada trobat aquest display i teclat, va ser acceptat. El seu preu era força més elevat (32€ per internet [http_SR_05]) però les característiques s'ho valien.

2.1.10. FPU i Dispositius d'ampliació:

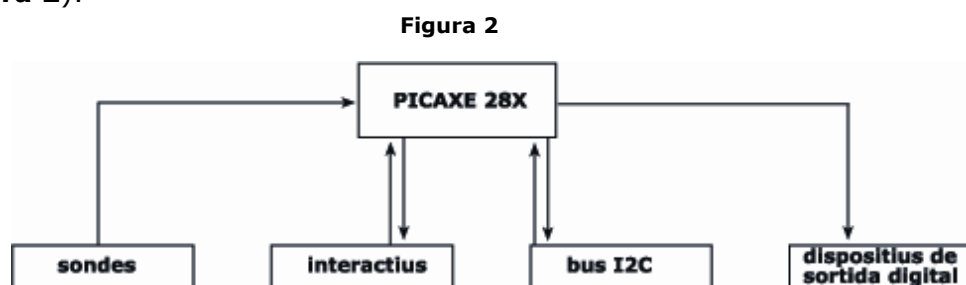
Moltes vegades, al món de la electrònica, ens trobem amb problemes de conversió de dades. Aquests solen estar deguts a diferents formes d'interpretació per part dels circuits integrats. També sovint sorgeixen problemes de conversió de valors analògics a numèrics. En aquests últims podríem establir una analogia amb el que passa amb la resolució de funcions. Si un sensor, per exemple ens retorna un valor analògic (recordem que analògic vol dir que va del 0 al 255, mentre que el digital s'expressa amb el sistema binari d'1 i 0), de la forma $f(x) = \text{valor} = k \cdot \text{variable}$ ¹⁰, hauríem de fer operacions per extreure el valor de la variable, i serien operacions una mica complicades per a un controlador PICAXE. Per aquest motiu, a l'estació meteorològica, s'hi ha afegit un coprocessador. Aquest és el uM-FPU-V2 de Micromega [uM_FPU_05], un coprocessador destinat, sobretot als circuits amb controlador PICAXE, i que també es connecta al bus I²C. L'estació meteorològica, que aconsegueix així una nova forma d'ampliació i suport de dades, podrà calcular exponencials, logaritmes etc.

A més a més, com s'ha vist, l'estació meteorològica compta amb un important sistema d'ampliació. Podrà ampliar-se la interactivitat, la memòria, els sensors, les alarmes, i tots els dispositius de sortida que hi ha, però també podran ampliar-se les potes. Aquesta característica és la que ens ofereix el xip PCF8574P I²C Expander [PHIL_Expa_02] del fabricant Philips semiconductors. Aquest integrat, proporciona al PICAXE el complement de vuit potes alternatives I/O (Entrada/Sortida digitals). Com a proposta es va plantejar la possibilitat de fer servir aquestes vuit potes com a ampliació per a la part interactiva. Així doncs, s'han fet servir aquests vuit pins alternatius per a vuit polsadors alternatius (dos per fila de l'LCD). D'aquesta manera hi ha dotze botons (del teclat matricial tipus telèfon) i vuit més d'aquest complement; vint en total.

2.2. Esquema intern de l'estació meteorològica:

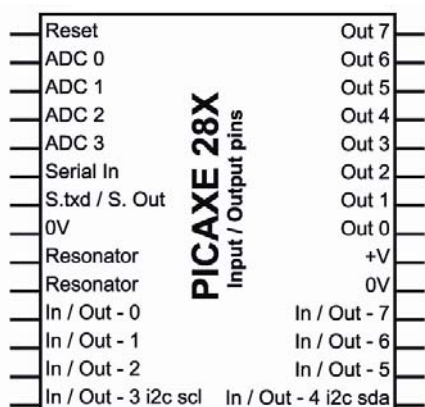
2.2.1. Connexions generals:

L'estació meteorològica presenta una distribució basada en el control del PICAXE, per tant tots els elements i dispositius, aniran a parar directa o indirectament al controlador. Per organitzar millor aquest apartat, s'ha dividit en blocs: sondes (dispositius d'entrada), interactius (dispositius de sortida gràfics), bus I²C, i dispositius de sortida i ampliació. L'esquema de connexió i control és el següent (**Figura 2**):



El PICAXE, el controlador central, podríem dir que és la "CPU (Central Process Unit , unitat de procés central)" de la placa. Compta amb 28 potes, però d'aquestes cal diferenciar-ne les d'entrada i sortida o les de alimentació i control del PICAXE com es mostra a la **Figura 3**. Estan organitzades segons tres grups o ports.

Figura 3



El PORT A inclou les potes 2 a la 5, i totes elles són pins que funcionen com a entrades analògiques/digitals (totes dues funcions alhora); el PORT B, el conformen les potes 21 a la 28 i són pins de sortida digital (Output) fixos i sense cap altra opció; pel que fa el PORT C, és el que el formen les potes 11 a 18, i té vuit pins d'entrada/sortida (I/O, també els dos alhora), dels quals la pota 14 i 15, tenen incloses les

funcions I²C, (scl i sda respectivament) i per tant seran reservades pel bus. A l'hora de connectar els dispositius, s'ha de tenir en compte, quin tipus de pins estem utilitzant. Els pins són les característiques de la pota (si són d'entrada digital i/o analògica o de sortida, si pertanyen al port A B o C, etc.). Així doncs la organització de potes va variar durant el procés de disseny de la placa, ja que escollint uns sensors o uns altres, i fent servir un display, o altre la disposició i repartiment de potes canviava.

2.2.2. Procés de disseny. Distribució del circuit #1 i #2:

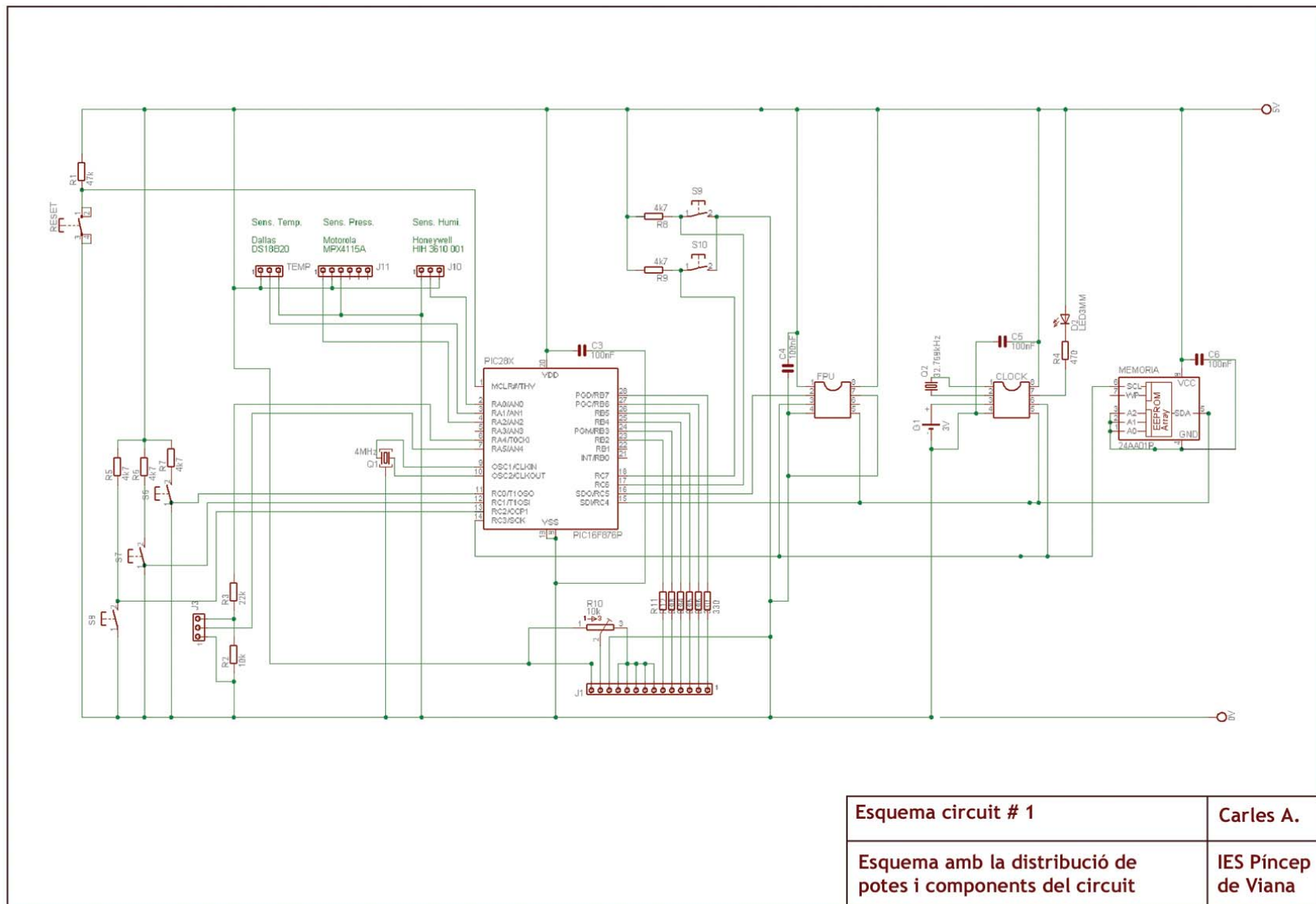
La primera distribució (**Esquema 1**) ja incloïa els tres sensors. Recordem que els sensors de pressió i humitat retornaven el valor en forma analògica, per tant han de connectar-se al port A, i que el sensor de temperatura ha de connectar-se al port A o C, ja que envia el valor en forma digital. Pel que fa I²C, ja havien estat escollits els dispositius de memòria i clock, però encara no s'havia inclòs, en el disseny del circuit, el I²C Expander ja que no era estrictament necessària la seva utilització. Pel que fa la part gràfica va ser on es van trobar problemes. El primer disseny, feia servir l'LCD C-2602 de Cebek, que com em dit feia servir un esquema de connexió que requeria sis potes del PICAXE. Com que els pins als que estaria connectat havien de ser tant d'entrada com de sortida de dades, es va intentar trobar una solució, tot canviant components i dispositius de les potes assignades anteriorment. Per falta d'una sola pota d'entrada/sortida digital, es va descartar el disseny, i el model d'LCD, com s'ha vist abans. Però el disseny incorporava altres dispositius. Pel que fa la part interactiva, s'havia optat per un sistema de cinc pulsadors (corresponents a les dues files de l'LCD més un d'encesa o apagada), que enviaven una senyal binària (tancat 0 o obert 1) que era interpretada per un dels pins d'entrada digital del PICAXE. Així doncs, i organitzant-ho segons els apartats anteriors, trobem que: a la part de sondes hi ha els tres sensors, dels quals el

DS18B20 (Sensor de temperatura) està connectat a alimentació, massa i a la pota d'entrada analògica/digital 0 (que en aquest cas s'utilitzaria com a digital d'entrada⁴), el sensor de temperatura igualment connectat als 5V i massa, i connectada la seva pota de sortida a la pota Analògica 1, igual que el sensor de pressió amb el pin següent (Analògica 2). Pel que fa la part dels "interactius", en aquest disseny només es troba l'existència dels cinc pulsadors, un connectat a la pota 11 (pin d'entrada/sortida digital), l'altre a la pota 12 (també d'entrada/sortida digital, o I/O) el següent igualment connectat a la pota 13 (I/O també), i els dos restants connectats de la mateixa manera a dos pins de les mateixes característiques (potes 17 i 18). A la part del bus I²C tots els dispositius estaven connectats de la manera que s'ha explicat a l'apartat de I²C, remarcant una connexió no comuna en el bus, la d'una de les potes del coprocessador (uM FPU-V2) a un pin I/O (pota 16, i ocupant, així totes les potes d'entrada/sortida lliures disponibles). La connexió d'aquest integrat, i la dels dispositius I²C, no variarà conforme es vagi millorant el circuit. Aquest en concret que consta de vuit potes, en destina dues al bus (scl i sda) dues a l'alimentació (potes 1 i 8 del xip), una a l'entrada de dades (la que em mencionat), i dues més destinades a la connexió amb massa⁵, deixant una pota de l'integrat lliure de connexió (tal i com estipula el fabricant). La memòria EEPROM, que també consta de vuit potes, en destina dues a la seva alimentació (pota 1 – U(5V), pota 8 – Gnd), dues a la connexió amb el bus amb les potes 5 i 6 (scl i sda respectivament), i deixa la pin WP (pota 7) desconnectat per desprotegir-ne l'escriptura. Les potes 2, 3 i 4 (pins A0, A1 i A2) són les potes d'adreça però en aquesta versió del xip no són necessàries i estan connectades a massa. Pel que fa el Serial real time clock DS1307 de Dallas, requereix la connexió de les potes 6 i 5 al bus I²C, la pota 8 a voltatge (també de 5V) i la 4 a massa, tanmateix la pota 7 va connectada a voltatge passant abans per una resistència de 470Ω i un diode LED en sentit oposat, a més a més, el xip porta connectat entre les seves potes 1 i 2 un oscil·lador de 32,768 Hz que li marca la pulsació. Pel que fa la part de dispositius de sortida digital del PICAXE, en el circuit dissenyat només queden dues potes del PORT B lliures, ja que les altres s'han emprat en l'LCD. Així doncs en el primer disseny, resten lliures les potes 5, 21 i 22 (ja que la resta han estat ocupades com s'ha explicat, o formen part del circuit que requereix el PICAXE 28X [PIC_28X_05a]). Aquest circuit va haver de ser replantejat per l'error de connexió esmentat, que fa referència a la inadequada connexió de les potes de l'LCD.

⁴ Pin d'entrada analògica o ADC és el mateix, ja que ADC prové de l'anglès (Analogical to Digital Converter) i és possible que aquesta abreviatura s'usi sovint en aquesta memòria.

⁵ Massa o Gnd és el mateix que 0V, la part que no té voltatge.

Esquema 1 – Distribució i disseny de circuit #1. A partir d'un esquema, creat amb EAGLE Layout Editor 4.01



Pel que fa la segona modificació del circuit (**Esquema 2**), tan sols incorpora tres modificacions. La primera, i més notòria, és el canvi d'LCD; ja no es fa servir el C-2602, es fa servir el que serà LCD definitiu S310118 connectat per mitjà d'I²C. Així, es deixen lliures tots els pins del PORT B (Outputs, sortides digitals). L'altre canvi que cal mencionar és el que sofreix l'organització de les sondes i polsadors: la sonda de temperatura anirà connectada amb el mateix esquema d'alimentació a la pota 11 (pin I/O 0, PORT C), i els sensors de pressió i humitat es desplaçaran una pota cap amunt, quedant en un pin d'entrada analògica (igual que abans) però corresponent a les potes 2 i 3 (sens. humitat i sens. pressió respectivament) mantenint el mateix esquema d'alimentació. Per altra banda els polsadors ocuparan la resta de pins ADC (ADC 2 i ADC 3) i els mateixos I/O 1 i 2 (corresponents a les potes 12 i 13) deixant lliures les potes 17 i 18 (I/O 6 i 7). El tercer canvi és l'afegiment de connectors. Ja que el preu de l'estació meteorològica era força elevat (degut al cost que suposa l'LCD i els sensors analògics). Els connectors que seran soldats a la placa base seran mascles, i tots estaran polaritzats per evitar confusions de connexió. Aquests se substituiran per la soldadura directa dels dos sensors analògics (oferint així un retall de preu per a l'usuari que ho prefereixi), i serà col·locat un connector de quatre potes (5V – sda – scl – Gnd) per a l'ampliació de dispositius I²C. La resta de dispositius i components restaran connectats de la mateixa manera que en l'esquema anterior.

2.2.3. Disseny del circuit definitiu:

Arribats a aquest punt cal plantejar-se què fer amb el disseny que s'ha obtingut. Què es pot millorar, què es pot perfeccionar. A la distribució del circuit #2 es veu com s'introdueix un element important; els connectors d'ampliació, una millora respecte els altres dissenys, que serà inclosa al disseny final. Per a que l'estació sigui ampliable, no només hem de disposar del connector per al bus I²C, sinó connectors per a l'ampliació de sondes i altres dispositius. Aquesta és una de les perfeccions que s'inclou en el disseny total; quatre connectors (dos per a l'entrada ADC i dos per a la I/O) per a l'ampliació de sondatge. Així és com s'ha aconseguit una estació ampliable. Pel que fa al PORT B (que quedava lliure segons el disseny #2) també se li ha connectat un connector de deu pins. Els connectors de tota l'estació tenen un disseny senzill i un esquema igual per a tots ells⁶: als extrems s'hi connecta l'alimentació (5V al pin de més a l'esquerra i 0V al de més a la dreta) deixant les potes intermèdies, així s'estableix el mateix sistema per a tots ells.

⁶ Tots els connectors de 3. Excepte el connector sèrie del PICAXE, del que es parlarà mes endavant

Com es mostra a l'**Esquema 3** el disseny definitiu incorpora múltiples millores, però per comprendre-les totes més val explicar pota per pota del PICAXE amb què ens trobem, entrant així en les connexions que requereix un controlador d'aquestes característiques. Començant per la primera pota, es pot observar a l'esquema com es connecta a un circuit amb pulsador. Es tracta de la pota "Reset" que reinicia el programa del controlador amb la seva pulsació. Si es segueixen observant les potes del PICAXE es pot comprovar com entrem al territori del PORT A, les quatre potes d'entrada analògicodigital. Al pin ADC0 hi ha connectat el sensor d'humitat Honeywell HIH 3600 001, que alhora està alimentat com la resta de components. Més avall al pin ADC1 es pot veure com es connecta el sensor de pressió al PICAXE. Els dos pins ADC següents (2 i 3) són els que aniran connectats a un connector cadascun, per a l'ampliació de sondatge analògic (o digital en el seu defecte). Els connectors mascle, que són els que aniran soldats a la placa base, es connectaran a un jack estèreo (que també té tres connexions o potes) i aquest serà cargolat a la caixa externa de l'estació meteorològica, per fer de la capacitat d'ampliació de tots els dispositius, una opció més còmoda. Les dues potes següents (6 i 7) corresponen als pins Serial In i Sertxd / Serial Out (respectivament). Són dos pins de control del PICAXE, són les connexions que necessita el PICAXE per comunicar-se amb el port

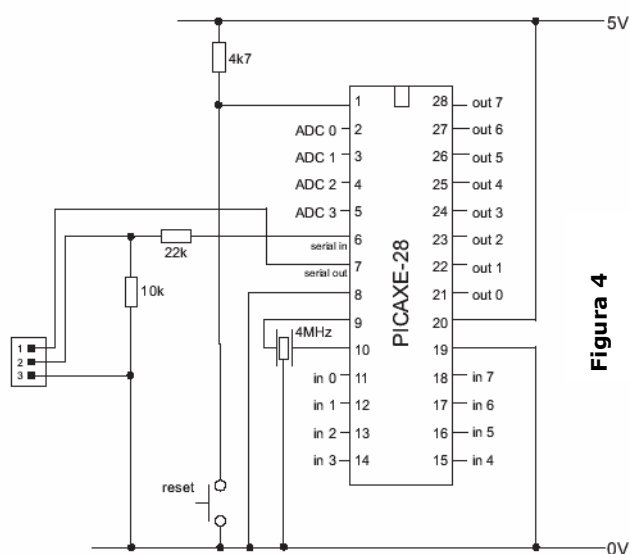


Figura 4

232 d'un PC. La primera farà amb massa un divisor de tensió, (amb les dues resistències connectades com es mostra a la **Figura 4**⁷) i el connector estarà connectat a massa. A la pota 7 i al divisor en aquest ordre (d'esquerra a dreta o d'avall amunt). Les potes 8 i 19 (que a l'esquema trobem separades a la part inferior del controlador) aniran connectades a massa (Vss⁸), mentre que les potes 9 i

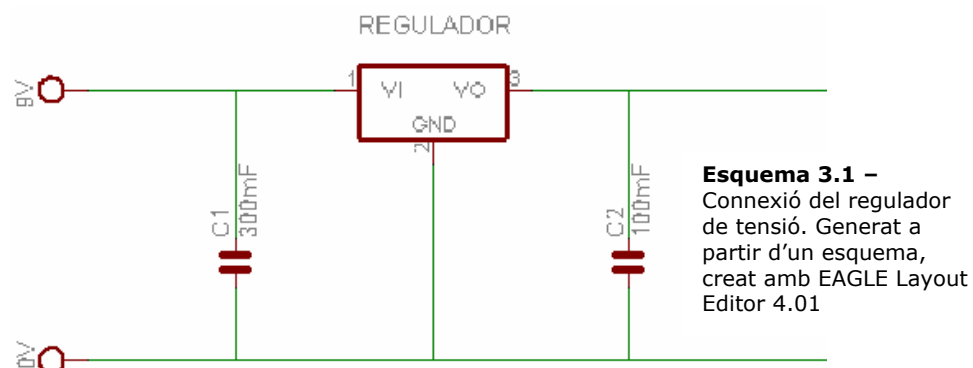
10 seran les que correspondran als pins de l'oscil·lador (o clock) del PICAXE. Es connectaran als dos extrems de l'oscil·lador de 4MHz de freqüència que alhora estarà connectat a massa com requereix. Seguint amb les potes següents es pot observar com ens trobem al PORT C (port dels pins I/O), o precisament a la pota

⁷ La numeració del connector no és la mateixa que s'empra en aquesta memòria. Aquesta diferència serà explicada més endavant quan s'exposin els errors del circuit i la seva resolució.

⁸ Vss és un "sinònim" de massa i Gnd (abreviació americana). Vdd correspon a U (voltatge en aquest cas de 5V).

11 (I/O 0) resta connectat el sensor de temperatura Dallas DS18B20 amb el mateix esquema d'alimentació que les altres sondes. Els pins I/O 1 i 2 són els que s'empren amb un connector per ampliació de sondatge digital (o de sortida digital). La pota 14 (pin scl) i la 15 (pin sda), són les que connecten tots els dispositius I²C al PICAXE 28 X. Cal remarcar el notori canvi que s'observa; la connexió del dispositiu d'ampliació de potes (I/O) via I²C (I²C Expander, de Philips Semiconductors). La pota 16 (I/O 5) connectada al circuit del coprocessador i les dues potes següents (17 i 18) connectades a un connector de tres pins que també serviran per a l'ampliació de dispositius, aquests es recomana usar-los per a controlar algun testimoni lluminós que informi a l'usuari de l'encesa o funcionament de l'estació (tot i que no és estrictament necessari aquest us dels pins). El següent grup de potes (PORT B, pins de sortida, Output) van connectats a un llarg connector de deu potes (que es corresponen a les vuit del PICAXE més alimentació i massa. Un altre dels components que s'han de tenir en compte i dels que cal parlar-ne, són els condensadors que incorporen tots els circuits integrats (PICAXE, memòria, rellotge...). Es tracta d'un nano condensador que protegirà els xips quan estiguin exposats a un tall brusc d'alimentació (condensadors de 100nF).

Fins ara s'ha vist com tot el voltatge que rep el circuit és de 5V, però això no implica l'ús d'una font que n'ofereixi aquesta en concret, normalment per a projectes d'aquest tipus es fan servir piles del tipus AA (1,5V x 4) o de 9V, pel que ha d'existir un circuit encarregat de regular la tensió que entra al circuit. Aquest circuit també l'incorpora aquesta estació meteorològica, i és el que compon el 78(L)05, un regulador de tensió que es "menja" el voltatge que li sobra (i el deixa a 5V estables). Així el regulador ofereix un voltatge de 5V al circuit. Aquest mòdul de la placa està connectat de la següent manera (**Esquema 3.1**):



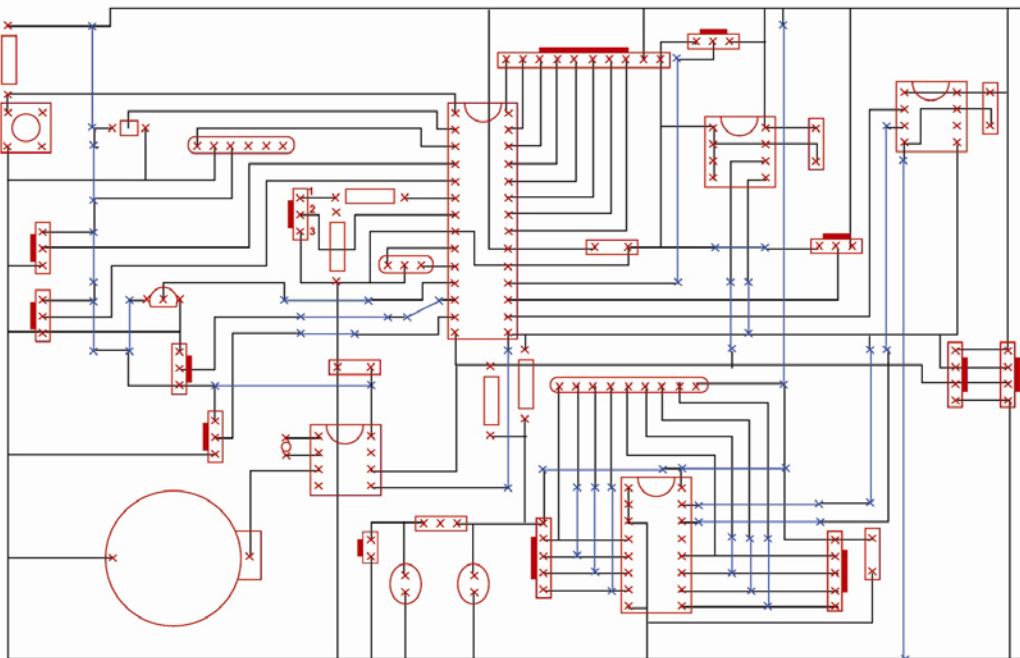
2.3. Disseny de la placa base:

2.3.1. Espai i limitacions:

Per construir l'estació meteorològica, se soldaran els components i es faran les connexions que requereixen, dissenyades als esquemes de circuit anteriors. Però s'ha de tenir molt en compte l'espai que aquesta pot ocupar. Tractant-se d'una estació meteorològica domèstica, el volum que ocupa haurà de ser lleugerament ergonòmic. Per al prototip, però, les limitacions d'espai són poques, així doncs el prototip no ocuparà molt més de 150 x 100 mm aprox. i serà soldat sobre una placa de fibra de vidre amb separació de forats de 2,54 mm. El disseny del layout⁹ va ser bàsicament col·locar els components en les posicions que estalviessin més espai i fil de connexió.

2.3.3. Layouts i modificacions d'aquests:

El primer layout (**Layout 1**) dissenyat va ser el definitiu, tot i que després se'n canviessin petites coses i se n'afegissin algunes altres.



Layout 1 – Sense modificacions. Vista superior.
Creat amb Freehand 11 (MXa)

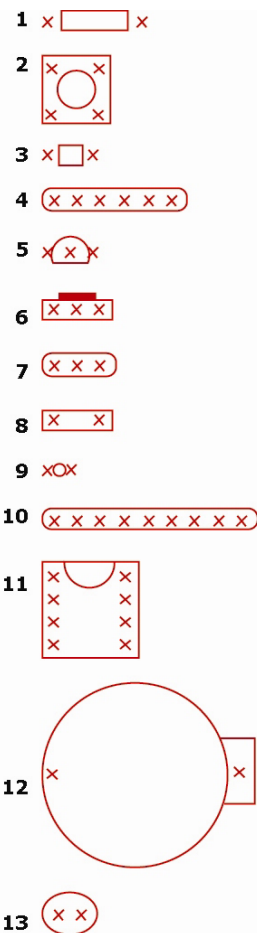
Llegenda de colors:

- Color dels components electrònics
- Color de les pistes del circuit
- Color dels ponts

⁹ El layout és el document gràfic que ens mostra la disposició del circuit a la placa.

Per a aquest layout s'ha fet servir una simbologia pròpia, així doncs, per explicar-lo es farà per parts, i s'explicarà símbol per símbol, el seu significat. Cal dir que del **layout 1** que no és exactament igual que l'esquema definitiu del circuit, ja que moltes de les modificacions de circuit es feren després del soldatge de components i per tant després del disseny dels layouts. Els símbols que s'han usat han estat els següents:

1. Resistència. Al circuit n'hi ha un total de 5, tres de les quals són de 4k7 Ohms (4,7 kΩ).
2. Polsador. S'ha de tenir en compte que té una pota de cada costat connectat amb la seva contigua, i que per tant s'ha de vigilar com es solden.
3. Sonda d'humitat HIH 3600 001. Com el seu elevat cost pot encarrir l'estació meteorològica es pot optar per substituir aquest sensor per un connector, amb el qual es connectarà una vegada comprat a part.
4. Sonda de pressió MPX4115A 867. Igualment pot ser substituït per un connector de les seves dimensions per reduir costos de l'estació meteorològica. Tots els sensors tenen polaritat, una connexió indeguda podria causar danys als components (per més informació sobre les potes consultar el seu datasheet, inclòs al CD)
5. Sensor de temperatura DS18B20.
6. Connector polaritzat. Que estigui o no polaritzat només depèn d'una columna que n'impedeix la connexió al revés.
7. Resonador del PICAXE 28 X de 4MHz de freqüència.
8. Condensador, o nanocondensador. Tots els que es troben a l'estació meteorològica són de 100nF, i són els emprats en la protecció dels xips i circuits integrats.
9. Oscil·lador de ~32Hz per al Serial Real Time Clock.
10. Array de resistències. Al circuit apareix aquest component per fer més fàcil el soldatge de les resistències que es fan servir al I²C Expander. S'usa l'array de 4k7 per estalviar espai en el circuit i per la comoditat que implica tenir totes les resistències en una sola franja de forats.



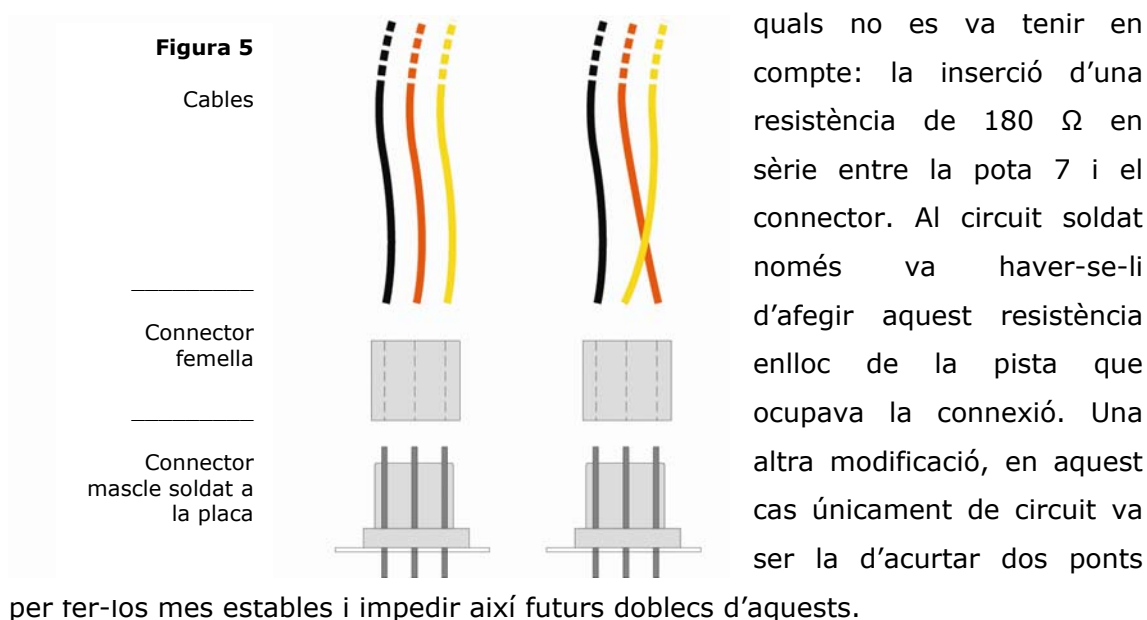
11. Símbol destinat a tots els xips i circuits integrats, l'amplada de tots els de l'estació és de 4, i la llargària varia segons el component. Exactament no es tracta del xip, sinó d'un sòcol on connectar-lo. Soldant aquest sòcol podem posar i treure un xip tantes vegades com siguin necessàries sense fer servir el soldador.

12. Suport per a la pila de botó CR2032. Fa la mateixa funció que un sòcol.

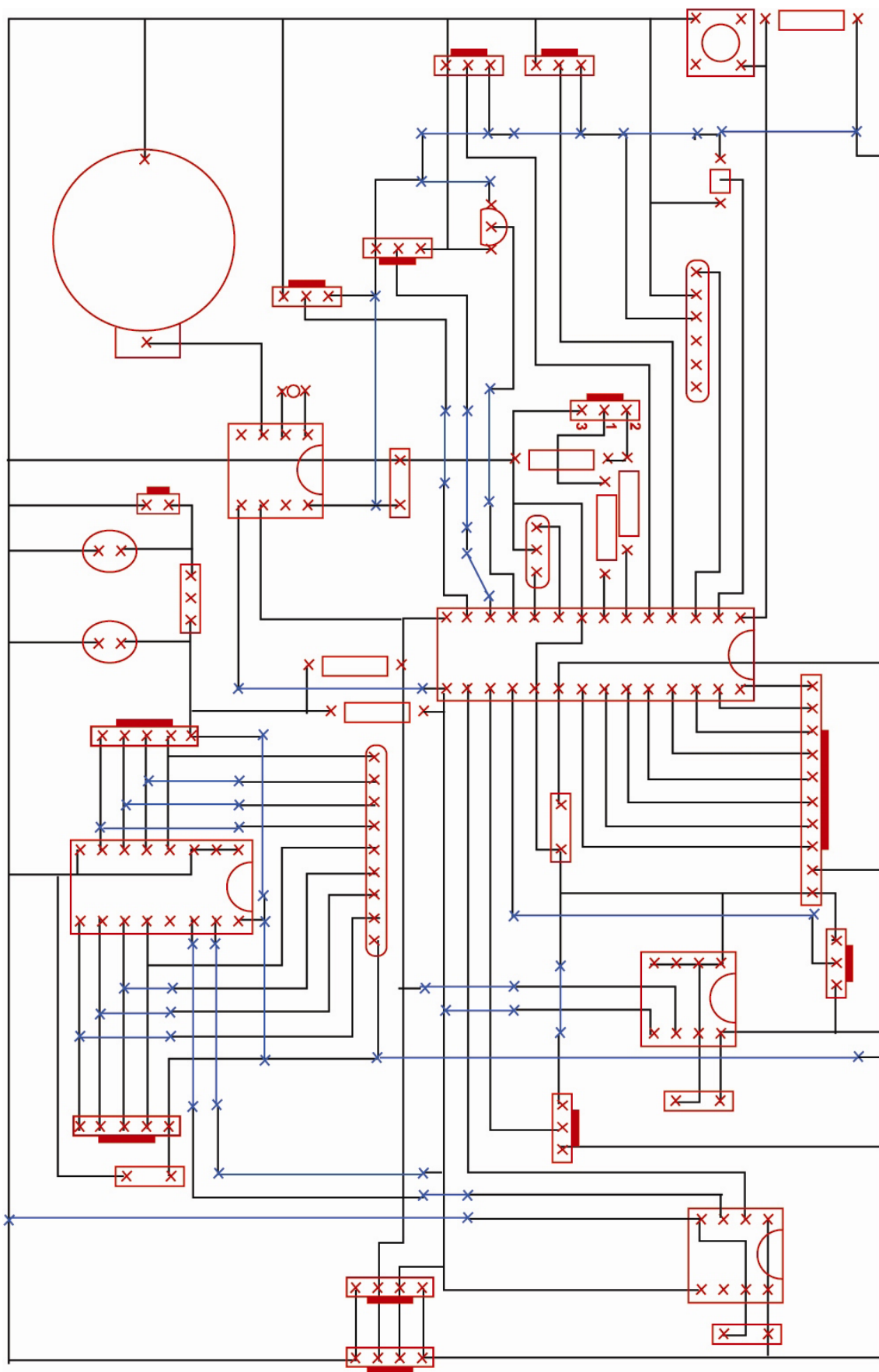
13. Condensador electrolític.

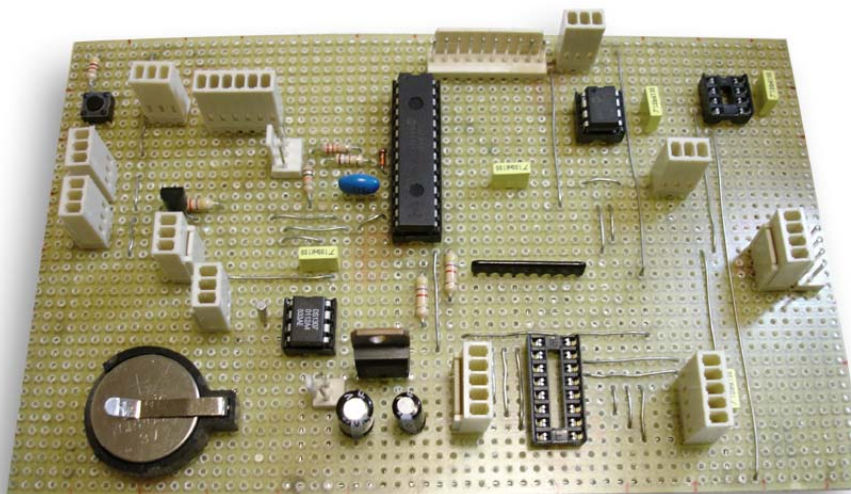
(més informació sobre les connexions del circuit a l'**Annex 1.1.**).

El circuit sembla així força correcte, però van caler modificacions. La primera fa referència al connector del PICAXE, el connector que utilitza per connectar-se amb el port sèrie 232 del PC. Com es pot veure al **Layout 1**, l'ordre d'amunt avall és l'habitual 1,2 i 3, i també és el que es correspon amb la **Figura 4** (pàg. 18). Però el cert és que si comparem el **Layout 1** amb la **Figura 4** aquestes connexions no són correctes, hi ha un desordre al layout. Tots els connectors de tres potes estan connectats a un jack estèreo de tres potes per tant la solució va ser intercanviar els cables del connector (**Figura 5**). Així no s'havia de desoldar el connector ni el circuit que el composava en sortir perjudicat (només cal canviar el numero de pota del connector (de 1, 2, 3 a 2, 1, 3). Una altra modificació que es necessària tenir en compte va ser la de les modificacions de circuit. Al tractar-se d'un controlador basat en l'expansió de l'anterior les connexions requereixen tres modificacions, una de les

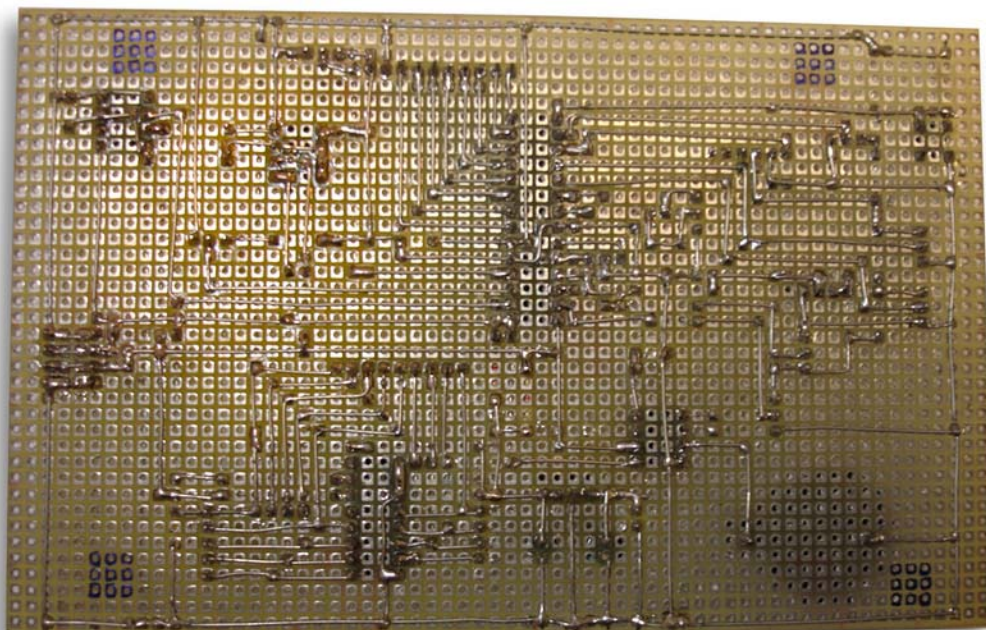


Així el layout definitiu era el següent (**Layout 2**):





Fotografia 1: Foto de l'estació meteorològica soldada. Vista de la placa base (superior)



Fotografia 2: Fotografia de les soldadures de la placa base (placa base vista inferior)

2.3.3. Planificació d'hores: (per a aquest prototip)

Per a la construcció d'aquest prototip s'ha emprat el temps de la següent manera (**Taula 2**):

Taula 2				
PROCESOS PER LA CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP				
<i>pas</i>	<i>DESCRIPCIÓ</i>	<i>EINES O MATERIALES</i>	<i>TEMPS (aprox.)</i>	<i>OBSERVACIONS</i>
1	Cerca d'informació sobre sondes i components necessaris per a l'estació meteorològica	Internet (sobretot pàgines de fabricants i distribuïdors)	La cerca va durar 1 mes i mig (3h/setmana) 15 h.	Aquests processos no s'han de repetir per a la reproducció del projecte.
2	Escollir els sensors definitius	Materials extrets d'Internet	4 h.	
3	Dissenyar el circuit	Primer a mà, després es digitalitzaven usant el programa EAGLE 4.07	7 h. (es compten les decisions finals i els dissenys intermigs)	
4	Disseny del layout	Fet a mà i digitalitzat amb Freehand 11 (o MXa)	2 h.	
--	--inici de la construcció--	--	--	--
6	Tallar placa de circuit imprès	Serra. Placa de circuit imprès	5 min.	
7	Soldar components	Soldador de soldadura tova. Estany (Sn 60% Pb 40%). Components del circuit.	4 h.	
8	Comprovar connexions	Tester i/o oscil·loscopi	30 min.	
9	Solucionar problemes #1	Totes les anteriors	1 h.	Només si hi ha errors ¹⁰

¹⁰ Tot el que porta aquesta etiqueta suposa un càlcul aproximat de les hores que es triga en solucionar un petit problema que no impliqui grans modificacions (no es el que es va trigar en solucionar els problemes particulars d'aquest prototip)

10	Posada en marxa. Comprovació de connexions #2	Alimentació elèctrica, més totes les anteriors	1 h.	
11	Solucionar problemes #2	Totes les anteriors	1 h.	Només si hi ha errors
12	Proves de connexió amb el port 232 del PC	Cable sèrie	5 min.	
13	Solucionar problemes #3	Totes les anteriors	1 h.	Només si hi ha errors
14	Disseny de software (programa_3.bas)	Programing Editor instal·lat al PC i el cable sèrie	2 h.	Aquest procés no s'ha de repetir per a la reproducció del projecte.
15	Comprovació de funcionament #1	Totes les anteriors	30 min.	
16	Solucionar últims problemes #4	Totes les anteriors	30 min.	Només si hi ha errors
17	Posada en funcionament		0 min.	
			TOTAL: 39h i 40 min aprox.	Comptant els no necessaris
			TOTAL: 6 h i 10 min aprox.¹¹	Sense comptar els no necessaris

L'estació meteorològica digital domèstica necessita un total de 6 h. per a la seva construcció, el que suposa una setmana (1h al dia aprox.) per a una persona poc experimentada¹².

¹¹ Podríem afegir el muntatge dins una caixa, però ja que no s'ha fet en aquest projecte, i que és un tema molt "a gust personal", no s'ha comptat al còmput total.

¹² Poc experimentada, ja que els càlculs s'han fet pensant en la rapidesa que una persona poc habituada a soldar components, trigaria a soldar i muntar l'estació meteorològica sense cap error.

2.4. Costos:

Per calcular els costos s'ha de tenir en compte el preu dels materials i les eines, però es calcula el preu del prototip (**Taula 4**) i el de la seva producció en sèrie (**Taula 5**) per separat. La **Taula 3**, mostra el preu de les matèries primeres (es a dir tots els components que cal soldar), segons el que han costat per a fer el prototip¹³:

Taula 3							
COST DE LES PRIMERES MATÈRIES							
Nom	Fabricant	Descripció	Tipus	Ref.	Preu¹⁴	Q¹⁵	Total
PICAXE	Microchip	Controlador PIC	28 X	AXE010X	4,85 £	1	7,05 €
Sòcol	--	Sòcol PICAXE	28	028	0,50 €	1	0,50 €
Sòcol	Ariston	Sòcol xips de 8 potes	4	ZO084	0,36 €	3	1,08 €
Sòcol	Ariston	Sòcol xips de 16 potes	16	ZO0816	0,40 €	1	0,40 €
Xip de Memòria	Microchip	Memòria EEPROM	2kB	24LC16B	0,60 £	1	0,87 €
Clock	Dallas	Serial Real Time Clock	-	DS1307	2,30 £	1	3,34 €
Co-CPU	Micromega	Coprocessador	-	FPU001	8,25 £	1	11,99 €
LCD	Intplus	Display I ² C	LCD	S310118	32,80 €	1	32,80 €
Teclat	Intplus	Teclat tipus telèfon	Matricial	S310119	4,96 €	1	4,96 €
Expansor de potes	Philips	Remote 8-bit I/O Expander	8-bit. Via I ² C	PCF8574	2,46 €	1	2,46 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 3 potes	3 – Mascle	CO33033	0,11 €	7	0,77 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 3 potes	3 – Femella	CO34033	0,11 €	7	0,77 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 4 potes	4 – Mascle	CO33043	0,21 €	2	0,42 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 4 potes	4 – Femella	CO34043	0,21 €	3	0,63 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 2 potes	2 – Mascle	CO32032	0,07 €	1	0,07 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 2 potes	2 – Femella	CO32042	0,07 €	1	0,07 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 5 potes	5 – Mascle	CO35035	0,29 €	2	0,58 €

¹³ El preu és el que va costar al distribuïdor en que foren comprades, no l'estàndard.

¹⁴ Preu unitari. Amb I.V.A.

¹⁵ Quantitat

Connector	Ariston	Connec. Poste 5 pots	5 – Femella	CO35045	0,29 €	2	0,58 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 10 pots	10- Mascle	CO35103	0,53 €	1	0,53 €
Connector	Ariston	Connec. Poste 7 pots	7 – Femella	CO37047	0,37 €	1	0,37 €
Terminal	Ariston	25 Terminals per al cable	2 mm.	CO397025	0,32 €	2x25	0,64 €
Resistència	--	Resistència	180Ω	--	0,15 €	1	0,15 €
Resistència	--	Resistència	4k7Ω	--	0,20 €	3	0,60 €
Resistència	--	Resistència	10kΩ	--	0,20 €	1	0,20 €
Resistència	--	Resistència	22kΩ	--	0,25 €	1	0,25 €
Array	--	Array de resistències	4k7	4609R473	0,11 €	1	0,11 €
Cond.	--	Nano-condensador	100nF	MKTE104100	0,03 €	5	0,15 €
Cond.	Ariston	Condensador electrolític	100mF	--	0,20 €	1	0,20 €
Cond.	Ariston	Condensador electrolític	300mF	--	0,37 €	1	0,37 €
Sensor Temp.	Dallas	Programmable resolution 1-Wire Digital Thermometer	TO-92	DS18B20	1,99 £	1	2,89 €
Sensor Humitat	Honeywell	Humidity Sensor	--	HIH 3600001	18,00 £	1	26,15 €
Sensor Pressió	Motorola	Integrated Silicon Pressure Sensor	867	MPX4115A	30,00 €	1	30,00 €
Polsador	Ariston	Polsador reset (paquet de 3)	4,3mm.	P60042	0,27 €	1x3 =3	0,27 €
Sòcol	Ariston	Polsadors per l'LCD (paquet de 3)	9,5mm.	P60062	0,27 €	3x3 =9	0,81 €
Regulador	--	Regulador de tensió	78(L)05	MC78L05P	0,11 €	1	0,11 €
Resson.	Microchip	Ressonador pel PICAXE	4MHz	--	--	1	-- (inclòs amb el PICAXE)
Oscil·lador	Dallas	Oscil·lador	32,768 Hz	RES038	0,22 £	1	0,32 €
Pila	--	Pila de botó.	3V Liti CR2032	BAT004	0,56 £	1	0,81 €
Suport per a pila	--	Suport per pila de botó	CR2032	33075/1	0,26 €	1	0,26 €
Jack	--	Connector jack estèreo chasis	3,5mm.	CBS35	0,30 €	7	1,68 €

		sense interruptor					
Fil	--	Fil per a les pistes i els ponts	--	--	1,00 €	1	1,00 €
Connector pila	--	Clip per connectar pila al circuit	9V	--	0,30 €	1	0,30 €
Placa C.I.	CEF	Placa de circuit imprés.	Fibra de vidre. 2,54 mm.	CEF41	3,12 €	2	6,24 €
Etsany	JBC	Bobina d'estany	60% Sn 40% Pb	0552315	4,50 €	1	4,50 €
TOTAL COSTOS MAT. PRIMERES							147,26 €

Una vegada calculat el preu de les matèries primeres ja podem calcular el preu del prototip:

Taula 4

Càlculs

Costos Fixos		Capital	
Cost amortització maquinària	50%	28 €	14,00 €
Cost amortització instal·lacions	50%	0 €	0,00 €
Energia			50,00 €
Publicitat			0,00 €
Despeses financeres			0,00 €
Total Costos fixos			64,00 €

Costos Variables			
Primeres matèries	147,26 €	1	147,26 €
Nòmina			39,00 €
Total Costos Variables			186,26 €
Cost Total (fixos + variables)			250,26 €

		Prod.	1,00
		Circuit	unitats
Cost Unitari (CT/Prod.)		250,26 €	250,26 €
B ⁰	50%	250,26 €	125,13 €
Preu (CU + B ⁰)			375,39 €
IVA	16%	375,39 €	60,06 €
PVP			435,45 €

Evidentment el preu és molt elevat i, tot i reduir els beneficis a 0% (amb el que queda 248,54€ de P.V.P.) el preu és summament gran. A més a més s'ha de tenir en compte el temps que s'ha trigat en construir-lo i la valoració d'aquest.

Per calcular el preu de la seva producció en sèrie s'ha fet per a 100 unitats, una producció mitja. (**Taula 5**)

Taula 5

Càlculs

Costos Fixos		Capital	
Cost amortització maquinària	50%	28 €	14,00 €
Cost amortització instal·lacions	50%	0 €	0,00 €
Energia			50,00 €
Publicitat			0,00 €
Despeses financeres			0,00 €
Total Costos fixos			64,00 €

Costos Variables			
Primeres materies	147,26 €	100	14.726,00 €
Nòmina	40 €	4	16.000,00 €
			30.726,00
Total Costos Variables			€
			30.790,00
Cost Total (fixos + variables)			€

		Prod. Circuit	100,00
Cost Unitari (CT/Prod.)		307,90 €	307,90 €
B ^o	50%	307,90 €	153,95 €
Preu (CU + B ^o)			461,85 €
IVA	16%	461,85 €	73,90 €
PVP			535,75 €

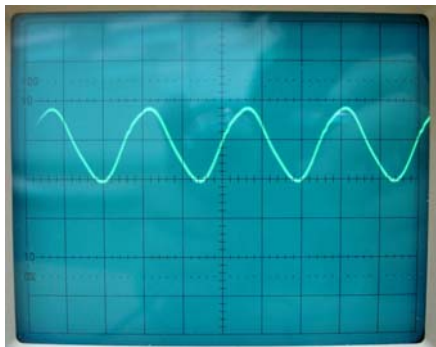
Com s'observa, el preu és força semblant a l'anterior (tenint en compte que es triga una hora i es necessita 4-5 treballadors de control de maquinària a 40€/h). S'ha de tenir en compte, però, que no s'han canviat els costos fixos, ja que depenen de l'empresa, i a la taula tenen un valor simbòlic.

2.5. Avaluació del prototip:

2.5.1. Errors de soldatge:

A l'hora de fabricar un producte en sèrie, només es poden tenir en compte errors de fabricació; alhora de dissenyar un prototip i construir-lo aquests errors també hi són presents i més comuns. En soldar l'estació meteorològica es van cometre errors de soldatge que van haver de ser reparats per al bon funcionament de l'estació. Una tarda va estar destinada a trobar els primers errors, i la forma de solucionar-los. La primera posada en marxa de l'estació meteorològica digital domèstica (el prototip), va ser per a comprovar-ne l'estat de les connexions. En primera instància va ser modificat el prototip ja que s'havia comès un error de soldatge. El primer error que es va cometre va ser el que fa referència al polsador reset. És molt habitual la mala col·locació d'aquest, ja que no és el mateix col·locar-lo en una orientació que en una altra. Això és perquè dues de les seves potes estan

connectades entre si amb les del mateix costat. Per solucionar aquest error i evitar que succeeixi en una altra ocasió es va canviar la connexió d'una pota del polsador (comparar **Layout 1** i **2**). Una vegada solucionat aquest problema es va utilitzar un oscil·loscopi per mesurar-ne la freqüència operativa (la del PICAXE):



Fotografia 3: Fotografia de l'oscil·loscopi. L'oscil·loscopi estava connectat a la pota que rep la freqüència del ressonador

La imatge que s'obté és correcta, ja que l'ona és la típica línia sinusoïdal. Els valors són de 6 cicles en 7,4 divisions. Ona d'amplitud de 3 divisions ($6V_{p-p}$)

NOTA: Valors de l'oscil·loscopi:
CC, 0,2V/divisió, sonda x10, base de temps de 0,1µs/divisió

Una vegada comprovada la ona de freqüència, també es va solucionar un problema de resistències que hi havia (les soldades al prototip eren de 47k en comptes de 4k7). Una vegada solucionats tots els errors de soldatge i modificats el layout i l'esquema es va provar la connexió Placa-PC.

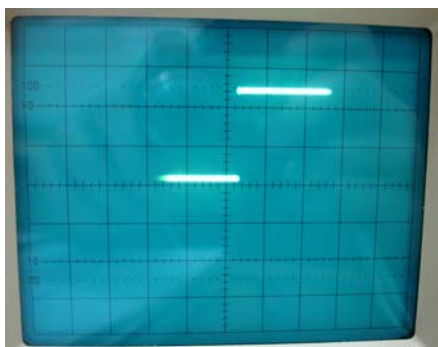
2.5.2. Proves de connexió amb l'ordinador:

La prova de connexió amb que comprovar el bon estat de les connexions, és la d'enviar un programa del PC a la placa (al PICAXE), comprovant així l'estat de la connexió PC-placa, i deixar que el controlador executi aquest programa. El programa¹⁶ que es va enviar va ser el següent:

```
_programa:  high 7                'posa la pota 28 (Out 7) a 1
            pause 100             'espera 100 ms
            low 7                 'posa el Out 7 a 0
            pause 200             'espera 200 ms
            goto _programa        'torna a començar
```

Aquest programa, un cop enviat, va ser comprovat amb l'oscil·loscopi. Es va calibrar la sonda d'aquest i es va connectar a la pota 28 (Out 7) per veure'n els resultats. La ona que s'obtenia era una ona quadrada, per tant el funcionament era el correcte. És important comprovar l'estat del PICAXE abans de començar a buscar errades al circuit, ja que pot ser que aquest hagi quedat malmès per alguna de les connexions incorrectes.

¹⁶ Tot el referent sobre la programació BASIC s'explicarà més endavant.



Fotografia 4: Fotografia de l'oscil·loscopi en el moment de mesura anterior. L'oscil·loscopi estava connectat a massa i al pin de sortida digital 7 (Out 7 – Pota 28)

Com s'observa els valors que marca l'oscil·loscopi són de 0V i de 5V sense valors intermedis ja que es una sortida digital (i per tant pot estar o a 0 ($U_{pin} = 0V$) o a 1 ($U_{pin} = 5V$)

NOTA: Valors de l'oscil·loscopi:
CC, 0,2V/divisió, sonda x10, base de temps de 5ms/divisió

Per connectar el PICAXE 28 X de la placa al PC, es fa servir la connexió sèrie que s'ha esmentat abans i un cable que proporciona el fabricant dels controladors; un cable que en una banda té la connexió al jack estèreo (perquè recordem que tots els connectors de tres van a parar a un jack), i per l'altra la connexió al port COM del PC. El programa que s'utilitza per programar aquests xips és el "Programing Editor" [PROG_ED_06].

2.5.3. Avaluació de funcionament:

Una vegada solucionats els problemes de soldatge i comprovat el controlador, es va posar en marxa l'estació. L'estació, amb tots els seus components (LC, teclat, xips I²C) va arrencar correctament per primera vegada. Tots els seus components semblaven respondre de la manera correcte (no s'escalfaven; símptoma habitual en un cortcircuit), tots exepte l'LCD. Aquest presentava un defecte de funcionament. Com ja em dit a l'apartat d'aquest, l'LCD és un dispositiu que aprofita l'electricitat per canviar la orientació de les seves molècules i crear foscor; doncs bé, aquest era l'error que presentava: no proporcionava les parts fosques amb la nitidesa que s'esperava.

Quan s'encén el dispositiu i tot es correcte, la pantalla mostra el numero de revisió i el mode en el que es troba (ja que recordem que pot funcionar pel bus I²C o en connexió sèrie, tot canviant un jumper que incorpora el mateix dispositiu). El nostre n'és la revisió 2 i funcionava per I²C així que ens mostrava "LCD REVISION2 I2C MODE". El problema era que es veia poc, es a dir que les lletres estaven molt clares, eren poc fosques. El primer que es va fer va ser comprovar la seva alimentació (5V i massa) es va canviar la pila a la placa, que era de 9V, per quatre de 1,5 ($1,5V \times 4 = 6V$) que proporcionaven una major intensitat, i un cop comprovats que eren els valors de voltatge correctes ens vam preguntar perquè succeïa. Se'ls va enviar un e-mail als fabricants, explicant la situació i preguntant-

los per la solució. Tot esperant la resposta ens vam plantejar també que hi hagués un error del dispositiu, i que fos un error de fàbrica. A la resposta del mail, només donaven com a solució un canvi de temperatura, ja que segons deien, aquest mal funcionament podia estar degut a la utilització del dispositiu en un ambient massa calorós. Es va revisar el datasheet del producte i es va trobar el problema: l’LCD utilitzava una alimentació com la del PICAXE i els altres dispositius, però al tenir una retroiluminació constant el seu consum era molt més elevat que el de la placa. El display consumeix 280 mA, i el fet de proporcionar-li un amperatge menor era el que li produïa els errors de funcionament.

Per al problema hi ha dues solucions, totes dues perfectament vàlides. La primera va sorgir buscant a la web del distribuïdor, com s’ha dit abans aquest era l’LCD versió 2 (revisió 2), però ja n’existeix la revisió 3, amb la millora que necessita aquest projecte: la possibilitat d’encendre o apagar la retroiluminació, i per tant la possibilitat de reduir-ne el consum. Així doncs, usar la versió 3 en comptes de la 2, era una de les solucions. L’altre solució és canviar-ne la font d’alimentació que en aquest cas són les piles. Alimentar l’estació meteorològica amb el corrent habitual de les cases (220V C.A.) tot reduint-lo a uns 6V i 300 mA (C.C.) que li entrarien al regulador de tensió i que estabilitzaria als 5V que usa la placa, però oferint els 300 mA, corrent necessària per al bon ús de l’LCD. Totes dues solucions van ser acceptades, ja que el preu no variava (el LCD costava exactament el mateix), i les possibilitats que oferia l’estació eren majors que les anteriors. Una vegada el funcionament de l’estació era el correcte ja es va poder començar a treballar amb la part software.

3. Software

3.1. Introducció al llenguatge BASIC:

BASIC és una família de llenguatges de programació. Va ser creat per utilitzar-se com a eina d'ensenyament, i es va estendre per les microcontroladores domèstiques a la dècada de 1980. El nom prové de les inicials de **B**eginners **A**ll-purpose **S**ymbolic **I**nstruction **C**ode (Codi d'Instrucció Simbòlica, Proposat per a Principiants)[WP_05]. El llenguatge que s'usa per a programar l'estació meteorològica digital domèstica, per tant, serà aquest.

Quan es parla de software (programari), es parla de les instruccions que han de ser interpretades per un hardware (maquinari). Aquest és per tant el programa que s'executarà, però on es troba? Qui el controla? Qui l'executa a l'estació meteorològica? Són preguntes freqüents que se'ns poden passar pel cap en el moment de començar a parlar de software, i les seves respostes són ben senzilles: El codi (o llenguatge de programació) és troba emmagatzemat en algun dispositiu, que en el cas de l'estació és el mateix PICAXE (ja que incorpora com s'ha vist a l'apartat 1.1 una memòria interna); el controla, en aquest cas també el PICAXE, i a l'estació també serà el controlador, l'encarregat d'executar el codi. És per això que se'n diu controlador, perquè executa ordres sobre els altres dispositius.

3.2. Programes de l'estació meteorològica:

Tots els programes s'han enviat al PICAXE per mitjà del programa "Programing Editor" i la connexió sèrie de la placa al port COM del PC. Per comprovar el funcionament del sondatge, el de la memòria i el del display, s'han creat programes senzills. El primer introdueix el sistema I²C, i és el que fa les impressions de text en la pantalla:

programa_1.bas	
b0 = 0	'defineix variable
main:	
i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte	'configura i2c
writei2c b0, (12,"Lletres")	'envia valor al LCD
writei2c b0, (76,108,101,116,114,101,115)	'envia valor al LCD
goto main	'bucle

Aquest programa fa el següent; borra la pantalla i imprimeix "Lletres" dues vegades una darrera de l'altra, després torna a començar. Aquest és el funcionament del **programa_1.bas**, un programa senzill i eficaç. Però darrere d'aquesta simplicitat s'amaguen els trucs claus per entendre el llenguatge BASIC. Com es pot observar el programa comença amb `b0 = 0`, perquè es fica aquesta línia i per a què s'utilitza; aquesta línia defineix una variable, la variable `b0`. Totes les variables de BASIC que utilitzem fan servir aquesta nomenclatura, una `b` i el numero de variable que correspongui (`b1`, `b5`, `b6...`). En aquest cas `b0` és 0, ja veurem perquè. Acompanyant aquesta línia trobem el següent: `'defineix variable` això no és res més que un comentari. Sempre que veiem un apòstrof seguit de text el que estem llegint és un comentari del codi que s'ha escrit. No és obligatori, però sol ser d'ajuda, en molts casos, per entendre el programa. A la línia següent ens trobem amb `main:`, això ens indica el principi d'un bloc. És una manera d'organitzar el programa i analògicament podríem dir que és el "títol" del que hi ha a continuació. La línia de codi que segueix és la que defineix els paràmetres de configuració de la connexió I²C que es farà a continuació `i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte`. Comença amb `i2cslave 0XC6`, codi que ens indica la connexió de l'esclau, on `0XC6` correspon a l'adreça del dispositiu (si cal rellegir l'apartat d'introducció a I²C), `i2cfast`, correspon a un dels valors de configuració de la connexió [[http_I2C_PDF_05](#)] igual que `i2cbyte`, tots dos depenen del dispositiu al que es connecta el controlador. `writei2c b0, (12,"Lletres")` és el codi que s'ha d'escriure perquè apareguin lletres a la pantalla de cristall líquid. La pantalla LCD incorpora un controlador (PICAXE també) que rep la informació del dispositiu mestre (el PICAXE 28 X de la placa base). L'organització a l'LCD està, igual que al xip de memòria EEPROM, dividida en blocs. L'LCD té quatre blocs (o registres). Dels quatre blocs, tres són només de lectura, mentre que el bloc 0 és un bloc ambdues funcions. Quan és d'escriptura és quan enviarem els valors que volem que s'imprimeixin a la pantalla. Però existeixen altres tipus de valors que no corresponen a lletres i que només incorpora aquest model d'LCD (i les versions superiors evidentment). Aquests valors són les "Ordres"¹⁷, del display. En tenim un clar exemple a la línia que comentàvem: `writei2c b0, (12,"Lletres")` `b0` és 0 (ja que l'hem definit abans) i per tant envia els valors entre parèntesis al bloc 0. Apareixen dos valors, de dos tipus. El primer és una "ordre" de les que parlàvem i és el que serveix per borrar tota la pantalla (a la **Taula 6** hi ha totes les ordres d'aquest display), separat per una coma (,) apareix el segon valor, que en aquest cas apareix entre cometes ("Lletres"), i que imprimirà "Lletres" a la pantalla.

¹⁷ En castellà *comando*

Taula 6 LLISTA D'ORDRES		
D¹⁸	Ordre	Descripció
0	Nul (ignorat)	Ignorat com a comando sense operació
1	Inici del cursor	Fixa el cursor a la posició d'inici (cantonada superior esquerra)
2	Fixar cursor (1-80)	Fixa el cursor a una posició especificada al byte següent on 1 és la cantonada superior esquerra i 80 la inferior dreta.
3	Fixar cursor (línia, columna)	Fixa el cursor utilitzant dos bytes, on el primer és la línia i el segon la columna
4	Ocultar cursor	Ocultar la posició del cursor al display
5	Mostra cursor baix	Canvia el tipus de cursor a un cursor de tipus " _ "
6	Mostra cursor intermitent	Canvia el cursor a un cursor que fa intermitent
8	Borra caràcter anterior	Elimina el caràcter anterior a la posició del cursor
9	Tabulador Horitzontal (segons configuració del tabulador)	Mou la posició actual del cursor a la posició definida a la configuració del comando 18 (per defecte l'espai del tabulador és 4)
10	Salt de línia (LF) intel·ligent	Mou el cursor a la línia inferior a la mateixa posició
11	Tabulador vertical	Mou el cursor a la línia superior a la mateixa columna
12	Borra pantalla	Borra tota la pantalla i col·loca el cursor a la posició d'inici
13	Retorn de carro	Mou el cursor al principi de la línia següent
17	Borra columna	Borra tota la columna i mou el cursor a la comuna següent
18	Configuració del tabulador	Defineix el tamany del tabulador, el byte següent pot tenir un tamany de 1 a 10
27	Generador de caràcters personalitzats	Permet la creació de 8 caràcters personalitzats.
32-255	Caràcters ASCII	Escriu caràcters ASCII al display

Com es pot observar a la última línia de la **Taula 6**, el display usa el codi de caràcters ASCII. Aquest codi distingeix cada caràcter amb un número decimal del 32 al 255. Per a escriure amb aquest sistema (recomanat), es fa de la forma que podem trobar a la línia següent: `writel2c b0, (76,108,101,116,114,101,115)`. D'aquesta manera també hem escrit "Lletres" al display però utilitzant el codi de

¹⁸ D: Decimal

caràcters ASCII [Annex 3.1]. La següent línia, `goto main`, és la línia de codi que fa que el programa torni a començar, enviant-lo a `main`, l'etiqueta que li hem donat abans a tot aquest bloc.

programa_2.bas	
<code>b0 = 0</code>	
<code>lectura_temp:</code>	
<code> readtemp 0, b1</code>	'llegeix pin I/O 0 (i el
	'guarda a b1)
<code> b2 = b1 / 10</code>	'conversió a decimal (part
	'entera)
<code> b3 = b1 // 10</code>	'conversió a decimal (la
	'resta)
<code> b2 = b2 + 48</code>	'conversió a ASCII
<code> b3 = b3 + 48</code>	'conversió a ASCII
<code> i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte</code>	'configura i2c
<code> writei2c b0, (1,4,b2,b3)</code>	'borra pantalla i cursor,
	'escriu b2 b3
<code> pause 2000</code>	'espera 2s
<code> debug b1</code>	'debug de b1
<code> debug b2</code>	'debug de b2
<code> debug b3</code>	'debug de b3
<code> goto lectura_temp</code>	'bucle

Aquest programa (**programa_2.bas**) és el que s'encarregaria de llegir una sonda digital i d'enviar-ne el valor al LCD. Per a això s'utilitza el codi `readtemp` que és específic per a sondes del mateix tipus que la que incorpora l'estació meteorològica digital domèstica, el sensor DS18B20. Com que aquesta sonda envia el valor complert, abans d'enviar-lo al LCD s'ha de transformar en codi ASCII. Per fer-ho hem de separar les xifres d'aquest nombre, i això ho fem amb l'operand `/` i `//`. `/` és l'operació divisió i per tant realitza la funció que tots ja coneixem, i `//` retorna la resta d'aquesta divisió, així, si el sensor ens envia el valor `readtemp 27`, el software desplegarà aquest nombre en 2 i 7 de la següent manera:

`27 / 10 = 2` de dividir 27 entre 10 extreu les desenes.

`27 // 10 = 7` i agafa la resta de 27 entre 10.

Així, un cop ja tenim els nombres separats només cal que els convertim a ASCII amb una simple suma de +48 (veure Annex 3.1.). Tot això és el que es fa a les primeres línies de codi. Després d'haver realitzat la conversió ja es pot enviar al LCD pel sistema I²C de la mateixa manera que al **programa_1.bas**. Així queda demostrat el funcionament de les sondes i el display.

El **programa_3.bas**, realitza funcions més complexes. Només queda per demostrar el funcionament de la memòria. Recollir dades, emmagatzemar-les i llegir les emmagatzemades és el que realitza aquest programa.

programa_2.bas	
main:	
b0=0	
for b6=1 to 10	
readtemp 0, b1	'llegeix la temperatura del sensor DS18B20
b2 = b1 / 10	'conversió a decimal (part entera)
b3 = b1 // 10	'conversió a decimal (part restant)
b4 = b2 + 48	'conversió de la primera xifra a ASCII
b5 = b3 + 48	'conversió de la segona xifra a ASCII
i2cslave %10100000,i2cfast,i2cbyte	'configura I2C
writei2c b6, (b1)	'guarda valors readtemp
pause 10	
i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte	'configura i2c LCD
writei2c b0, (12,"Temp:",13,b4,b5,"C")	'envia al LCD
next b6	
for b6=1 to 10	
i2cslave %10100000,i2cfast,i2cbyte	'configura I2C
readi2c b6, (b1)	
b2 = b1 / 10	'conversió a decimal (part entera)
b3 = b1 // 10	'conversió a decimal (part restant)
b4 = b2 + 48	'conversió de la primera xifra a ASCII
b5 = b3 + 48	'conversió de la segona xifra a ASCII
i2cslave 0XC6, i2cfast, i2cbyte	'configura lcd
writei2c b0, (b4,b5,"C",32,32)	'envia al LCD
pause 100	
next b6	
pause 3000	'espera 3 s.
goto main	

La primera línia com amb els altres programes, declara la variable b0. Les següents abans d'arribar a la configuració d'I²C, són idèntiques a les del programa anterior, són les que transformen el valor de temperatura en ASCII per a que pugui ser enviat al LCD. Però si s'observa com segueix el programa, aquest no configura I²C per al LCD sinó per a la memòria. El procés és el mateix però canviant-ne l'adreça. Al escriure el valor ho fa al bloc 000 ja que recordem que aquest model de memòria té capacitat per separar dades, i a l'adreça %1010bbb0 (on les "bbb" donen lloc al

número de bloc) s'han substituït totes les "b" per 0, així que ens trobem al bloc 0. Però a l'hora d'escriure amb la funció `writel2c` en referim a un número de registre, aquest número és el que separa un registre de l'altre. En aquest cas s'ha optat per fer servir els registres de l'1 al 10. Això es fa amb un bucle `for`. Quan el fem servir, el bucle executa les ordres per a cada nombre que integra el seu interval, és a dir, si tenim (com és el cas) `for b6=1 to 10` el programa s'anirà repetint fins que no passi per a tots els nombres continguts en [1, 10]. Si hi hagués el següent codi:

```
for variable = 1 to 10
  dir hola i variable
next variable

dir adéu
```

El programa diria hola 1, hola 2, hola 3 etc... fins arribar al número 10, on acabaria i diria adéu. Fins que el programa no ha complert tot l'interval no segueix i es crea un bucle com el seu nom ho denomina. Així si tenim dins un bucle, llegir la temperatura i emmagatzemar-la a la variable del bucle en la que ens trobem, el programa llegirà deu vegades la temperatura i guardarà el valor deu vegades diferents a deu registres diferents. I és el que fa el programa a la primera part. A la segona el funcionament és el mateix, però aquesta vegada en comptes d'agafar el valor de temperatura del sensor agafa els deu valors diferents guardats en l'apartat anterior, tot convertint-los a ASCII i enviant-los després al LCD que els llista tots.

Una vegada arribats a aquest punt, el funcionament de l'estació meteorològica, només depèn del software. Aquests programes (per exemple el de lectura de temperatura), es poden millorar i ampliar a més resultats i valors, i un cop guanyada experiència amb la captació de dades, només cal bolcar-se a la interactivitat de l'estació. El teclat, per exemple, només cal connectar-lo i llegir els valors que retorna, de la mateixa manera que llegim una EEPROM (però fent servir els blocs 1 i 2 de l'LCD (més informació a la web del distribuïdor [[http_SR_05](http://SR_05)]), o els sensors analògics, dels quals només hem de modificar el `readtemp` per un `readadc`.

4. Conclusió del projecte

Per acabar, cal fer una conclusió del projecte. És cert que l'estació meteorològica digital domèstica és un producte útil per a les cases i és cert també que la capacitat d'ampliació que s'ha aconseguit és força important, però no s'ha d'oblidar que l'estació encara té molts buits, sobretot de programes que cal millorar. Evidentment, a l'hora de dissenyar un producte com aquest, s'ha de tenir molt en compte el factor temps. No es pot comparar el temps del que disposaria el departament especialitzat d'una empresa amb les hores que s'han dedicat a aquest producte, que eren limitades al tractar-se d'un Treball de Recerca.

Ha costat trobar bons sensors, i ha costat decidir-se pel millor, tot i així no s'han pogut provar tots, per això una vegada acabat el projecte encara són moltes les proves que s'han de passar per donar-lo per finalitzat. A més a més si es vol que l'estació meteorològica digital domèstica sigui una petita eina per a cadascú, és imprescindible dotar-la de forma amb una caixa o un suport.

Però com a projecte també s'ha de dir que el resultat ha sigut força bo, no s'han hagut de calibrar sondes ni s'haurà de fer amb les que s'han escollit. Tot i així, si algun dia, passats els anys, es repetís aquest projecte, és possible que ja existissin sondes encara millors que les que s'han trobat, ja que l'electrònica fa passes agegantades, i avança i creix d'una manera exponencial, com hem pogut comprovar amb l'aparició dels controladors PIC de Microchip, els quals han estat la millora fonamental d'aquests productes quotidians.

S'ha de qualificar també, què significa un Treball de Recerca; per a mi, el disseny i construcció d'aquest prototip, no solament ha resultat ser una pila d'hores de treball, sinó que m'ha construït una nova forma d'afrontar els problemes. Per a mi, aquest treball ha estat una font de coneixements que no es restringeixen a l'electrònica i a la tecnologia, sinó a la forma de treballar i a la forma de buscar les millors solucions. Suposo, doncs, que he vist reflectida perfectament la frase de Leonardo Da Vinci "La saviesa és filla de l'experiència"

Carles Araguz López
Tutoritzat per Jordi Orts

5. Bibliografia

- [CEB_LCD_05a]** C-2620
Módulo con display LCD, con la lógica de control y el generador de 192 caracteres incorporado en el display

Cebek Components
Fadisel S.L.

Primera opció d’LCD per a l’estació meteorològica
-
- [CEB_LCD_05b]** C-2620
el fabricant proporcionava un full d’informació detallada doble l’LCD¹⁹
-
- [DAL_Clk_05]** DS1307
64 x 8 Serial Real Time Clock

Dallas Semiconductors

Component I²C del disseny final.
-
- [DAL_SenT_05]** DS18B20
Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer

Dallas Semiconductors

Sensor de temperatura escollit.
-
- [HON_SenH_05]** HIH-3600 Series
Humidity Sensor

Sensing and Control
Honeywell

Sensor d’humitat escollit
-
- [HON_SenP_05]** 40PC Series
Pressure Sensor. Miniature Signal Conditioned

Sensing and Control
Honeywell

¹⁹ Tots els fulls de característiques (o datasheets) dels components rellevants estan inclosos al CD en format .pdf o .doc

Sensor de pressió descartat per rangs d'actuació.

[HON_SenT_05]	TD5A Temperature Sensor Honeywell Sensor de temperatura descartat pel tipus d'alimentació que requeria
[HS_SenH_05]	HS15P/HS12P Non-refresh type humidity sensor made of polymer. Sensor d'humitat descartat.
[http_I2C_PDF_05]	http://www.rev-ed.co.uk/docs/axe110_i2c.pdf PDF que el distribuïdor PICAXE ens ofereix sobre I ² C En anglès (última revisió el 5/1/06)
[http_PIC_05]	http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/ Web amb informació sobre el controlador PICAXE En anglès (última revisió el 5/1/06)
[http_SR_05]	http://www.superrobotica.com/S310118.htm Web amb tota la informació disponible sobre l'LCD final. Inclou els canvis de la versió 3 d'aquest dispositiu. En castellà (última revisió el 5/1/06)
[http_VV_05]	http://webs.ono.com/usr021/valleverde/ Web on es parla del protocol I ² C En castellà (última revisió el 5/1/06)
[http_WbP_05]	http://www.webopedia.com/TERM/E/EEPROM.html Web enciclopèdica. Pàgina referent a la memòria EEPROM En anglès (última revisió el 5/1/06)
[HUMI_SenH_02]	HS1100 Relative Humidity Sensor Humirel June 2002 Sensor d'humitat descartat.

[INT_LCD_05a]	S310118 - LCD02 DISPLAY LCD SERIE + I2C 4 X 20 INTPLUS – Distribuït per superinventos i superrobotica 2005 LCD definitiu connexió del qual és via I²C
[INT_LCD_05b]	El mòdul del display usa la codificació ASCII. Per més informació consultar l'annex relacionat o l'enllaç següent http://es.wikipedia.org/wiki/ASCII
[INT_Tec_05]	S310119 – Teclat Teclat matricial tipus telèfon INTPLUS – Distribuït per superinventos i superrobotica 2005 Teclat que usa la estació meteorològica
[MICH_Mem_03]	24AA16/24LC16B 16K I²C™ Serial EEPROM Microchip Technology Inc. 2003
[MOT_SenP_01]	MPX4115A Integrated silicon pressure sensor for manifold absolute pressure, altimeter or barometer applications on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated Motorola Inc. – Freescale Semiconductor 2001
[NATS_SenT_00]	Informació sobre els dos sensors (LM335 i LM35D de National Semiconductors) LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor LM335 Precision temperature sensors National Semiconductors 2000 Dos sensors de temperatura que van ser descartats

[PHIL_CL_91]	SAA1064 4-digit LED-driver with I²C-Bus interface Philips Semiconductors Febrer de 1991
[PHIL_Expa_02]	PCF8574P Remote 8-bit I/O Expander for bus I²C Philips Semiconductors 22 Novembre de 2002
[PIC_28X_05]	PICAXE 28 X Interfacing circuits Microchip Technology Inc. 2005 Full de característiques del PICAXE amb totes les connexions del dispositiu. http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual3.pdf En anglès (última revisió el 5/1/06)
[PROG_ED_06]	Programming Editor. Software de Revolution Education, amb el que programar el PICAXE. Pot adquirir-se a: http://www.rev-ed.co.uk/detail.asp?id=rev02&prodname=Programming%20Editor En anglès (última revisió el 15/1/06)
[TR_DF_98]	Treball de Recerca de David Fernández Any 1998
[TR_NG_02]	Treball de Recerca de la Núria de Guinea. Premiat amb el premi José Cantero (Fundació Epson) i 1r premi UPC de ciència i tecnologia més informació a http://iespviana.xtec.net/internet/meteo/ En català (última revisió el 5/1/06)
[uM_FPU_05]	uM-FPU V2 32-bit floating point coprocessor that easily connects to the PICAXE family, using an I²C interface. Micromega Corporation 24-01-2005
[WP_05]	Enciclopèdia electrònica on-line Wikipedia. www.wikipedia.org

Carles Araguz López, Gener de 2006
Barcelona