Escola Politècnica Superior de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL: Sistema d'ultrasons per mesura del nivell d'aigua del llac del campus de Castelldefels

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica de Telecomunicació. Especialitat en Sistemes de Telecomunicació.

AUTOR: David López Felguera

DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

DATA: 24-Febrer-2006

Títol: Sistema d'ultrasons per mesura del nivell d'aigua del llac del campus de Castelldefels

Autor: David López Felguera

Director: Oscar Casas Piedrafita

Data: 24-Febrer-2006

Resum

En aquest treball es presenta un disseny d'un sistema sensor pel tal de mesurar el nivell del llac del campus de Castelldefels.

Amb aquest objectiu s'ha desenvolupat un sistema sensor de mesura de nivell per ultrasons. El sistema ha requerit el disseny d'un sistema de emissió i recepció d'ultrasons, un sistema de comunicació sense fils i un programa amb labview per tractar les mesures i presentar-les a la pantalla de l'ordinador.

El treball s'ha dividit en dues parts, el disseny de cada part del sistema sensor i les proves experimentals, donant una conclusió final sobre els objectius aconseguits.

Title: System of ultrasounds to measure the level of the water of the lake of the campus of Castelldefels

Author: David López Felguera

Director: Oscar Casas Piedrafita

Date: 24-Febrer-2006

Overview

In this work a design of a sensorial system appears to measure the level of the lake of the EPSC (Superior Polytechnical School of Castelldefels) of Castelldefels.

With this objective a sensorial system of measurement of level by ultrasounds has been developed. The system has required of the design of a system of emission and reception of ultrasounds, a system of communication wireless and a program in labview to treat the measures and to present them by computer.

The work is had divide in two parts, the experimental design of each part of the sensorial system and tests, giving a final conclusion on the obtained objectives.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ **1**

CAPÍTOL 1. TECNIQUES DE MESURA DE NIVELL DE LIQUIDS **2**

1.1 Introducció **2**

1.2 Alternatives per la mesura del nivell de líquids. **2**

1.2.1 Sensor radar 2
1.2.2 Sensor radar guiat 3
1.2.3 Sensor capacitiu 4
1.2.4 Sensor d'ultrasons 4

1.3 Selecció del tipus de sensor **5**

1.4 Selecció del sensor d'ultrasons **6**

CAPÍTOL 2. DISSENY DEL SISTEMA SENSOR **7**

2.1 Objectius **7**

2.2 Especificacions funcionals i tècniques **7**

2.3 Sistema d'ultrasons. L'integrat PW0268 ..... **8**

2.3.1 Funcionament 9
2.3.2 Provés funcionals i disseny 9
2.3.2.1 Comportament en funció de Vcc 10
2.3.2.2 Comportament del circuit d'oscil·lació. Rellotge de l'integrat 11
2.3.2.3 Oscil·lador RC. Sortida d'ultrasons 12
2.3.3 Disseny del pols d'iniciació 12
2.3.4 Proves de l'emissió d'ultrasons 13
2.3.5 Proves de la recepció d'ultrasons 15

2.4 Sistema de control i comunicació digital **16**

2.4.1 Primeres proves amb el PIC 16
2.4.2 Segona part: integració amb el port serie de l'ordinador 18
2.4.3 Tercera part: codi final per al PIC 19

2.5 Disseny de l'adaptació del MAX232 ..... **19**

2.6 Disseny de la part de comunicacions sense fils **20**

2.6.1 Emissor (C-0507) 21
2.6.2 Receptor (C-0504) 22

2.7 Programa d'obtenció de dades pel port serie de l'ordinador **23**

2.7.1 Programa per a l'obtenció de dades a l'ordinador (Nivell del Llac) 23
2.7.1.1 Configuració del port sèrie 23
2.7.1.2 Descodificació de dades i presentació de resultats 23
2.7.2 Programa complet..... 25
2.7.2.1 Nivell del Llac..... 25

2.8 Disseny de les plaques PCB (prototip) 27

2.8.1 Disseny de la placa PCB per als ultrasons 27
2.8.2 Disseny de la placa PCB del emissor de RF 28
2.8.3 Disseny de la placa PCB del receptor de RF 28

CAPÍTOL 3. RESULTATS EXPERIMENTALS 30

3.1 Introducció 30

3.2 Proves amb el sistema d'ultrasons 30

3.2.1 Exactitud del sistema 30
3.2.2 Repetibilitat del sistema 32
3.2.3 Variacions del sistema degudes a la temperatura 34
3.2.4 Resolució del sistema 34

3.3 Proves amb el sistema de comunicació sense fils 34

3.3.1 Models de propagació..... 35

CAPÍTOL 4. CONCLUSIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR..... 38

4.1 Conclusions 38

4.2 Perspectives de futur..... 38

4.3 Estudi d'ambientalització 38

BIBLIOGRAFIA 39

ANNEXOS..... 40

INTRODUCCIÓ

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar un sistema sensor que sigui capaç de mesurar, de forma continua, el nivell del llac del campus de Castelldefels. Aquest sistema sensor és un subprojecte dins del projecte laboratori real que té un nus de mesura al llac i on es portaran a terme les mesures necessàries per tenir una estimació del nivell del llac, temperatura ambiental i conductivitat. L'estimació del nivell no només es mesurarà amb un sensor, el projecte laboratori real està comprés d'un sensor de nivell capacitiu, un sensor de temperatura, un sensor de nivell per ultrasons i un sensor de conductivitat.

El sistema s'ha de constituir com un nus d'una xarxa de sensors autònoms per tal de poder fer mesures en altres parts del campus.

En aquest projecte es concretarà el disseny del sistema sensor mitjançant ultrasons, i està dividit en tres capítols que engloben tot el procés de disseny.

En el primer capítol es presenten els diferents tipus de sensors que es poden utilitzar per fer aquestes mesures junt amb unes explicacions funcionals i tècniques de cadascun.

En el segon capítol s'explica com s'ha dissenyat el sistema sensor i les diferents parts que el composen.

En el tercer capítol s'exposen els resultats experimentals, de les diverses proves fetes al laboratori, obtingudes de les diferents parts del sistema. Aquest capítol es separa en dues parts, una amb les proves de la part del sensor d'ultrasons i una altra part amb les proves amb la comunicació sense fils.

Per últim, en el quart capítol es presenten les conclusions extretes del sistema final, les diverses perspectives de futur i un comentari sobre l'impacte al medi ambient.

CAPÍTOL 1. TECNIQUES DE MESURA DE NIVELL DE LIQUIDS

1.1 Introducció

L'objectiu del projecte és mesurar el nivell de l'aigua del llac del campus de Castelldefels per tal de tenir un control en temps real de la seva alçada i correlar aquesta mesura amb altres dades com conductivitat. El sistema sensor que farà les mesures ha de ser portable i les dades que extregui han de ser digitals per després donar-les format, presentar-les en pantalla a l'ordinador i guardar el historial. Es vol que el sistema contingui una part de comunicació sense fils i també es vol un compromís en quant a consum i cost del sistema. Es vol que el sistema sigui de baix consum i preu no gaire car.

1.2 Alternatives per la mesura del nivell de líquids.

La problemàtica proposada es pot solucionar amb diferents tipus de sensors [2], segons les especificacions esmentades es poden utilitzar un o altre sistema sensor. A continuació es presenten diferents tècniques que poden servir per resoldre aquest problema.

1.2.1 Sensor radar

El principi bàsic d'aquest sistema es fonamenta en el temps de vol d'un pols generat amb instruments radar. S'utilitzen les següents bandes freqüencials: L (1-2 GHz), S (2-4 GHz), C (4-8 GHz), X (8-12,5 GHz), segons la mesura que es vulgui fer i la precisió que es vol, s'agafarà una banda u altre.

El funcionament d'aquest sistema consisteix en emetre un petit pols radar cap a la superfície del producte. Aquest pols es reflexa i es rep en un sistema combinat d'emissió i recepció i es converteix en informació de nivell. Es poden arribar a mesurar nivells de fins 40 metres segons el sensor que s'utilitzi.

Aquest no és un mètode invasor de mesura de líquids. S'utilitza en condicions extremes, com per exemple, en la formació dels gasos, la boira o el buit. Les altes pressions i temperatures no afecten a aquest sistema, pot treballar a temperatures de -60 ºC fins a 400 ºC i pressions de 1 a 160 bar. Aquest sistema pot arribar a mesurar variacions distància de 3 mm. L'inconvenient d'aquest mètode es el seu elevat cost. En la figura 1.1 es pot veure una il·lustració d'aquest tipus de sensor.

Fig. 1.1 Sensor radar

1.2.2 Sensor radar guiat

El principi bàsic d'aquest mètode és molt semblant al del radar, però en aquest cas els polsos d'alta freqüència del radar son guiats amb una corda o una barra.

D'aquesta manera, el pols s'envia a través d'un medi físic, com ara una corda o una barra, es reflexa en la superfície del producte i partint del temps que el pols ha estat a l'aire es calcula el nivell del líquid. Amb aquest mètode es poden fer mesures de fins 30 metres i també es pot utilitzar en altes pressions, aguanta fins 40 bar.

Aquest també és un mètode no invasor que s'utilitza per a mesures contínues de líquids o bé de sòlids polvorents o a granel. Un inconvenient d'aquest sistema, com l'anterior, és el seu elevat cost. La figura 1.2 mostra un model d'aquest sensor.

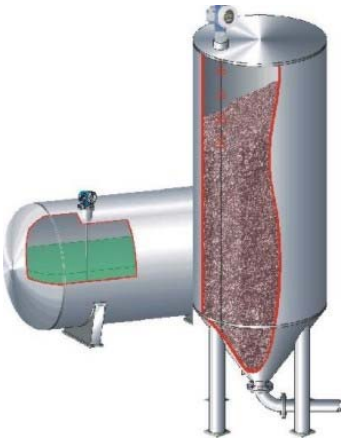


Fig. 1.2 Sensor radar guiat

1.2.3 Sensor capacitiu

Les variacions de nivell del líquid en aquest mètode es detecten a partir de la variació de capacitat d'un element dissenyat com a condensador (la formula 1.1 mostra la relació entre la capacitat i el nivell [1]).

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot L$$

$$\varepsilon_0 \ i \ \varepsilon_1 : permitivitat\ electrica$$

$$L : valor\ de\ nivell$$

$$r_2 \ i \ r_1 : radi\ del\ recipient\ i\ de\ la\ barra \qquad \textbf{(1.1)}$$

Aquest element varia la seva capacitat segons sigui el nivell. Amb aquest sistema es poden mesurar distancies des de centímetres fins 10 metres amb resolució de mil·límetres. Les variacions de temperatura també afecten a aquest mètode, s'ha de donar atenció al coeficient de temperatura que expressa la variació relativa de la capacitat sobre el seu valor nominal. Aquests sensors aguanten temperatures de -80 ºC fins 400 ºC. En la figura 1.3 es pot veure un exemple de sensor capacitius.

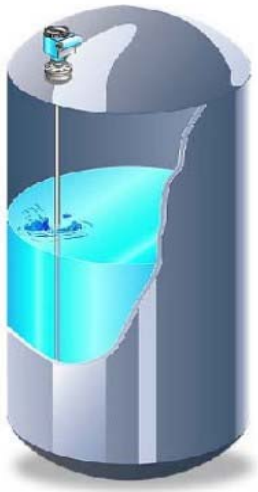


Fig. 1.3 Sensor capacitiu

1.2.4 Sensor d'ultrasons

El principi bàsic d'aquest mètode és molt semblant al principi del sistema de radar o radar guiat, però en aquest cas s'utilitzen ones mecàniques i no de RF. El rang d'aquestes freqüències es troba per sobre del nivell audible, es a dir, per sobre del 20 kHz.

El mètode de mesura consisteix en emetre un pols ultrasònic cap a la superfície del producte la qual farà que aquest pols es reflexi i torni cap al sensor. El mètode consisteix en saber quan temps es troba aquest pols a l'aire, i sabent l'altura total del tanc es pot trobar el nivell del líquid.

Amb aquest sistema es poden mesurar distancies fins a 25 metres i pot aguantar temperatures de -40 ºC fins 80 ºC. Al contrari que els sensors de radar, aquest tipus de sensor sí és sensible als canvis de temperatura, es a dir, segons la temperatura el sistema s'haurà de calibrar. Això es degut a que la velocitat del so depèn de la temperatura. El consum i el cost, comparat amb els sistemes radar, son més petits però a canvi s'obtenen resolucions majors, d'uns 5 mm. En la figura 1.4 es mostra un sensor d'aquest tipus.

Fig. 1.4 Sensor ultrasònic

1.3 Selecció del tipus de sensor

Un cop s'han vist aquest tipus de sensors es pot decidir quin sensor serà el més adient per al problema esmentat.

Els sensors de radar s'utilitzen per a llocs on haurà molta variació de pressió. En el nostre cas, la pressió a la que es sotmetrà el sensor es una pressió atmosfèrica normal amb poca variació. Aleshores els sensors de radar queden exclosos de la nostra selecció perquè amb sensors de menor complexitat i menor cost es pot dissenyar el sistema.

Per resoldre el problema esmentat es pot escollir entre el sistema d'ultrasons o el sistema capacitiu. Dins del projecte laboratori real s'han escollit aquest dos mètodes per fer les mesures de nivell, i en el nostre cas en concret s'escull el sistema per ultrasons.

1.4 Selecció del sensor d'ultrasons

Una vegada s'ha escollit el sistema sensor, s'ha de fer la selecció de com es farà aquest sistema sensor.

El principi del sensor d'ultrasons consisteix en emetre un pols de freqüència superior a 20 kHz, s'utilitzaran 40 kHz que es la típica que s'utilitza en aquestos sistemes, i al rebre'l per l'efecte de la reflexió, calcular el temps que aquest a estat a l'aire. Aquest càlcul es pot fer amb un microcontrolador (µC) de baix cost i consum.

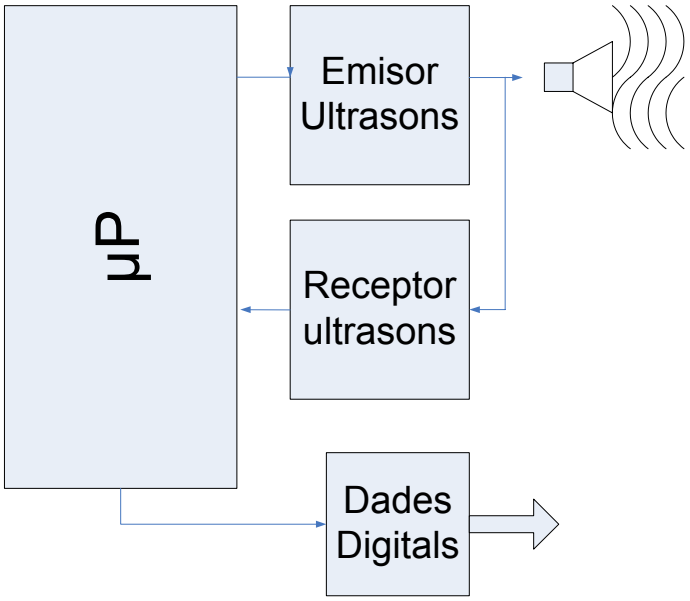


Fig. 1.5 Diagrama de blocs del sensor d'ultrasons

La generació i recepció es pot fer de forma discreta, amb dos sistemes diferenciats, però cara a fer més compacta la solució, pensat que es un sistema autònom, s'ha buscat una solució basada en un únic integrat que pogués controlar l'emissió, la recepció i la transmissió del senyal per ser controlat per el µC. Al capítol següent es presenta el detall del disseny.

CAPÍTOL 2. DISSENY DEL SISTEMA SENSOR

2.1 Objectius

Per tal de resoldre la problemàtica esmentada i amb els sensors escollits es vol aconseguir un sistema capaç de mesurar el nivell del llac del campus de Castelldefels. El sistema farà mesures en un interval de temps determinat, processarà les dades i les enviarà mitjançant un emissor de RF en alguna de les bandes lliures ISM, rebrà les dades i les presentarà per pantalla d'ordinador. En la figura 2.1 es veu un diagrama del sistema esmentat.

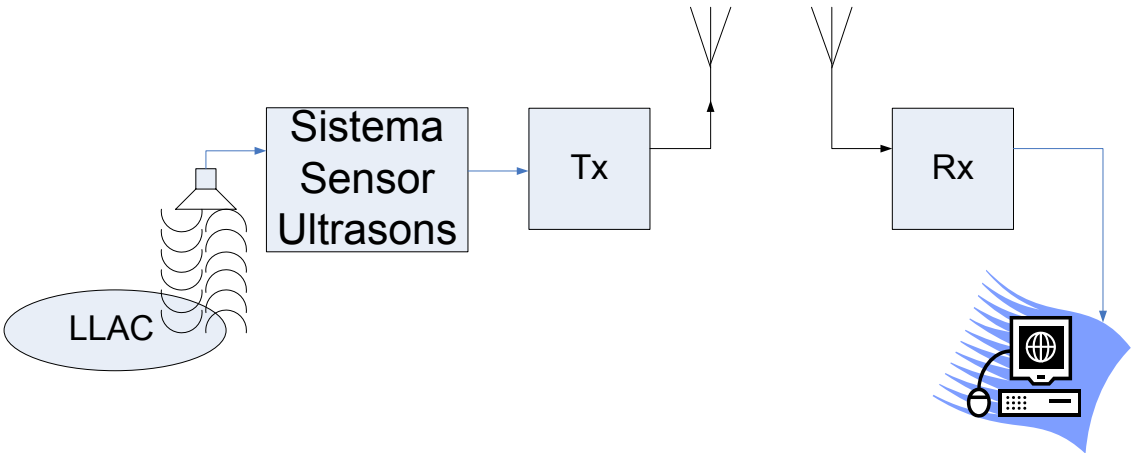


Fig. 2.1 Diagrama de blocs del sistema

2.2 Especificacions funcionals i tècniques

El temps màxim i mínim que s'ha de mesurar ve donat per la distància mínima i màxima que haurà entre el sensor d'ultrasons i la superfície del llac, que és l'objecte que es mesurarà. La distància màxima serà d'uns 3 metres i la mínima d'1 metre, es a dir, mesurarà variacions del nivell del llac d'uns 2 metres des de la posició de mesura. A partir d'aquí es podrà saber el temps que trigarà un pols d'ultrasons en recórrer aquest espai.

El temps que es mesurarà es calcularà a partir d'un pols que recorre la distància dues vegades (d'anada i de tornada). En una distància de 3 metres el pols haurà recorregut 6 metres i per una distància d'1 metre el pols haurà recorregut 2 metres (en la formula 2.3 es poden veure els temps resultants). El càlcul del temps es farà amb el doble de la distància requerida dividit per la velocitat del so. Aquesta velocitat del so depèn de la temperatura tal i com es veu a la formula 2.1 [3].

$$
\begin{aligned}
& v = \sqrt{\frac{\kappa \cdot R \cdot T}{m}} \\
& R : conts.\ dels\ gassos (8,31451\, {}^{J}\!/_{mol \cdot K}) \\
& \kappa : calor\ especific\ (1,4\ per\ l'aire) \\
& T : temperatura(K) \\
& m : pes\ molecular\ promitg\ de\ l'aire (287\, {}^{J}\!/_{kg \cdot K})
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.1)}
$$

La formula 2.1 es pot linealitzar per fer més senzills els càlculs a la formula 2.2.

$$
v = (331,5 + 0,6 \cdot T(^{o}C))\, {}^{m}\!/_{s} \qquad \textbf{(2.2)}
$$

Normalment la velocitat del so a l'aire a 20 ºC es de $343\ {}^{m}\!/_{s}$ per tant els temps resultants de les distancies màxima i mínima de mesura son els mostrat a continuació en la formula 2.3.

$$
\begin{aligned}
t_{\max} &= \frac{2 \cdot d_{\max}}{v} = \frac{2 \cdot 3}{343} \approx 17,49\ ms \\
t_{\min} &= \frac{2 \cdot d_{\min}}{v} = \frac{2 \cdot 1}{343} \approx 5,83\ ms
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.3)}
$$

Aquests temps, màxim i mínim, reflexen el temps que el pols serà a l'aire en les mesures. Els canvis de temperatura es tindran en compte a l'hora de donar els resultats finals perquè el sistema global del laboratori real, disposarà d'un sensor de temperatura i d'aquesta forma es podrà calcular la velocitat del so correctament mitjançant una calibració amb l'equació 2.2.

2.3 Sistema d'ultrasons. L'integrat PW0268

En el sistema sensor, la part d'ultrasons és la més important ja que son els encarregats de mesurar la distància que donarà el valor del nivell. Aquest ha de emetre un pols a la freqüència de 40 kHz, que es la freqüència utilitzada per aquests sistemes, ha de poder rebre'l i d'alguna forma diferenciar el temps que el pols de 40 kHz ha estat a l'aire. Per fer totes aquestes funcions s'ha fet ús d'un sistema integrat que fa tot el que s'ha especificat, l'integrat PW0268 [4]. El disseny del sensor amb aquest integrat es capaç de mesurar distancies de fins 18 metres, suficient per fer les nostres mesures com es veurà més endavant. El disseny donat, segons especificacions del manual, no és sensible als canvis de temperatura que ja ens interessarà per tenir menys errors a l'hora de donar resultats.

2.3.1 Funcionament

Fig. 2.2 Microxip d'ultrasons PW0268

En la figura 2.2 es pot veure l'encapsulat de l'integrat PW0268. Aquest integrat funciona de la següent manera. Quan a la pota d'entrada se li excita amb un pols d'una durada determinada, l'integrat genera un pols d'ultrasons a la sortida. Quan el mateix pols es rep per l'acció d'algun rebot amb la superfície d'un material, l'integrat posa a nivell baix (0 V) la pota d'entrada durant un temps determinat. A la figura 2.3 es pot veure el funcionament d'aquest integrat gràficament.

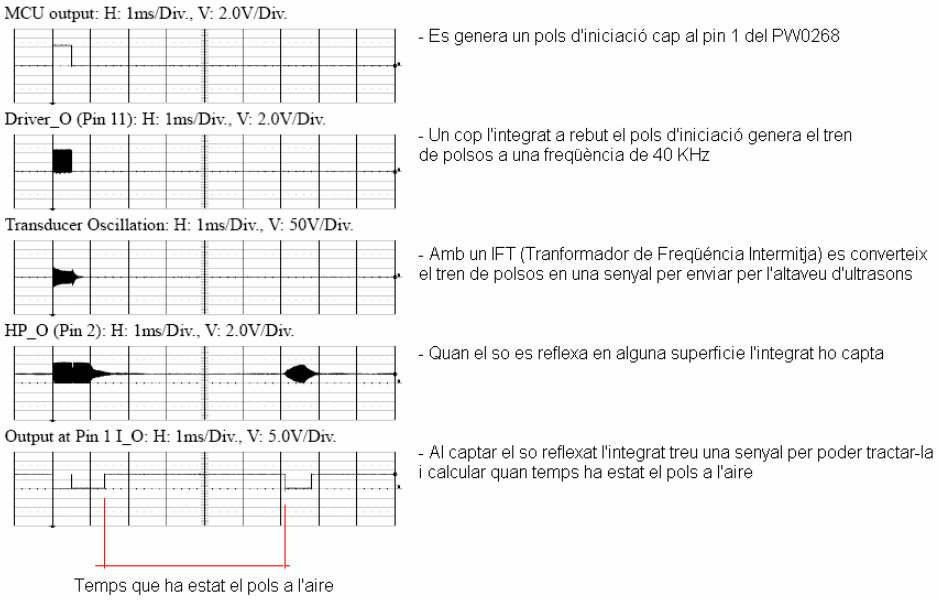


Fig. 2.3 Explicació del funcionament de l'integrat PW0268

2.3.2 Provés funcionals i disseny

Per optimitzar el disseny s'han fet provés funcionals de les diferents parts del sistema.

2.3.2.1 Comportament en funció de Vcc

El circuit que s'utilitzarà per fer aquestes mesures és el mostrat a la figura 2.4:

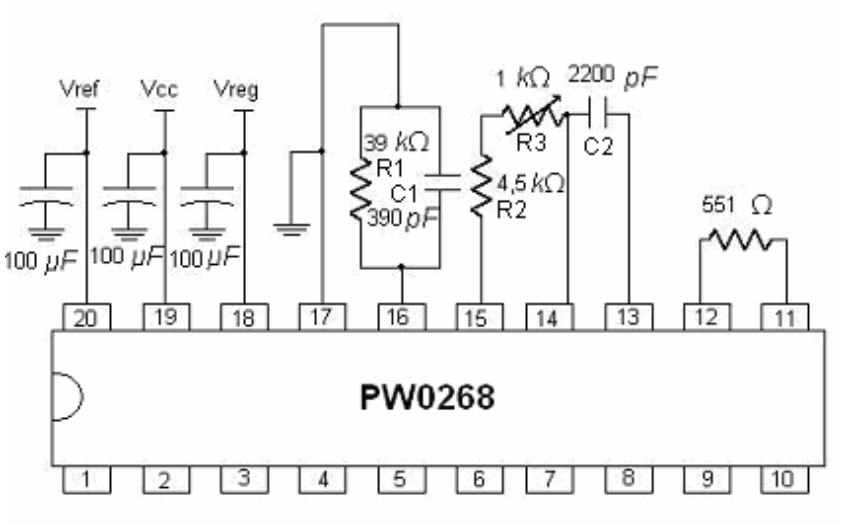


Fig. 2.4 Circuit de proves per a la caracterització del PW0268

Segons el manual de l'integrat, aquest funciona fins 11 Volts. Les proves es faran des de 2,5 Volts fins a 11 Volts per veure el comportament que tenen les sortides Vreg i Vref que son els terminals d'interès. Com que el sistema anirà alimentat amb bateries les proves es fan per veure el llindar del correcte funcionament en front les descarregues de les bateries. Es connecta el circuit de la figura 2.4 a una font d'alimentació variable i es mira amb un multímetre el voltatge que donen les sortides esmentades abans.

En la gràfica següent es poden veure els resultats obtinguts d'aquesta proba amb aquest sistema:

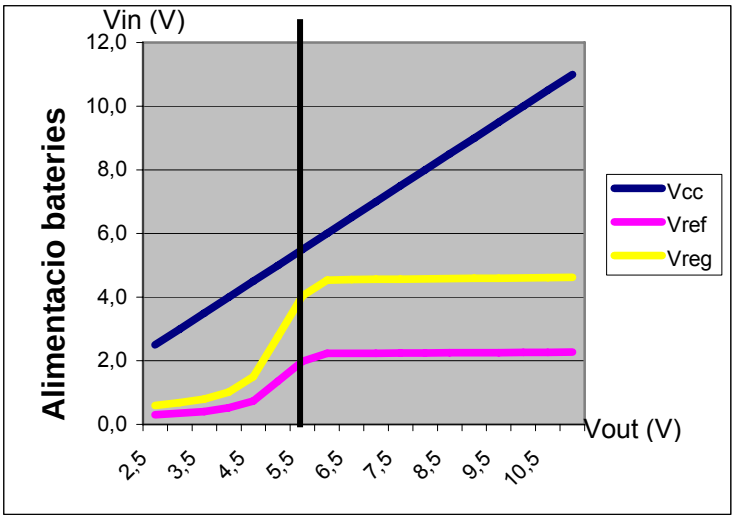


Fig. 2.5 Gràfica comparativa entre Vcc, Vreg i Vref (per veure els valors exactes consultar annex)

En aquesta gràfica es pot veure que l'integrat té un comportament estable des de uns 6 Volts fins als 11 Volts, però per sota del 6 Volts Vref i Vreg no compleixen especificacions, per que segons el manual Vreg ha d'estar per sobre dels 3,8 Volts per funcionar bé. Per tant el llindar es de 6 V, per sota d'aquesta alimentació l'integrat no funcionarà correctament.

2.3.2.2 Comportament del circuit d'oscil·lació. Rellotge de l'integrat

En aquesta part es vol saber quin rellotge intern tindrà l'integrat segons la resistència i el condensador que es posi en paral·lel a l'entrada CLK de l'integrat. Aquest rellotge controla l'amplada màxima del pols d'iniciació, el temps que triga l'amplificador de ganancia (TCG) i el ritme de repetició de polsos d'iniciació. Aquests temps es tindran en compte a l'hora de calcular la distància mínima de mesura.

Segons la figura 2.4 el rellotge intern seria d'uns 60 kHz amb una R1 = 39 kΩ i un C1 = 390 pF. Es fa la prova amb la resistència i el condensador que diu aquest esquemàtic i surt una freqüència de rellotge de 66 kHz. Això es degut a que el condensador i la resistència tenen una certa tolerància i no son els valors teòrics reals. Es fa la mesura dels valors reals i dona una R1 = 38 kΩ, que està dintre dels valors de la tolerància del 5% de la resistència, i un C1 = 376 pF. Es deixa la resistència de 38 kΩ i es varia el condensador per veure les freqüències que surten. A la taula següent es poden veure els valors (teòric i real) dels condensadors provats i la freqüència de rellotge intern que surt. Els elements que s'han agafat finalment son els que estan de color taronja:

Taula. 2.1 Taula comparativa de condensadors i la freqüència que donen a CLK.

C1 Valor Teòric (pF)	C1 Valor Real (pF)	Freqüència del rellotge intern de l'integrat(kHz)
820	755	34
680	642	40
560	551	46
470	438	58
390	376	66
330	338	72
270	269	89
220	206	113

Amb els components seleccionats dona un senyal de rellotge de 66 kHz tal i com es mostra en la figura 2.6 obtinguda amb l'oscil·loscopi:

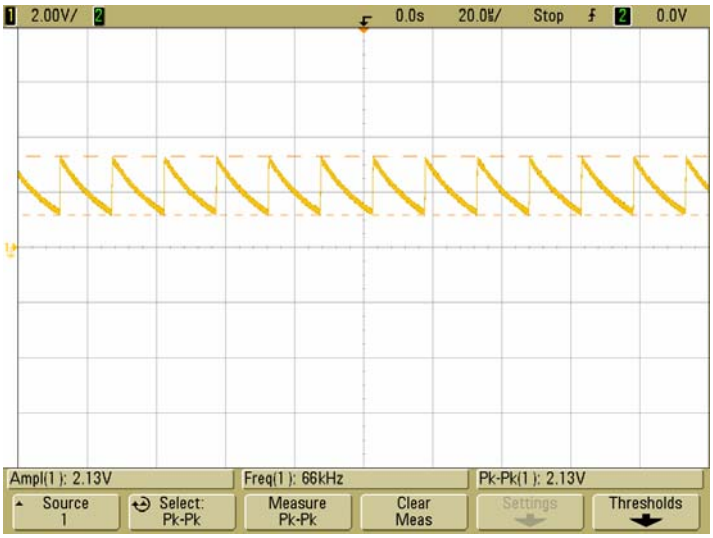


Fig. 2.6 Rellotge intern de l'integrat PW0268

2.3.2.3 Oscil·lador RC. Sortida d'ultrasons

Es vol aconseguir un senyal de sortida de 40 kHz. Amb el disseny de la figura 2.4 s'observen els valors de les resistències i condensador que s'han d'utilitzar. Els valors son R2 = 4,5 kΩ, R3 = 1 kΩ i C2 = 2,2 nF. R3 es un potenciómetre que s'utilitzarà per calibrar la freqüència de sortida als 40 kHz.

2.3.3 Disseny del pols d'iniciació

Una vegada s'ha vist el comportament del xip amb l'alimentació es passa a la següent part, que és fer-lo funcionar. Per aconseguir-ho es necessita un pols d'iniciació a l'entrada d'una amplada determinada. La mida d'aquest pols ve donada per la formula 2.4.

$$t \leq \frac{396}{f} \qquad \textbf{(2.4)}$$

També s'ha de tenir en compte el temps que s'ha de deixar per poder repetir el pols d'iniciació. Aquest temps també ve donat per la fórmula 2.5.

$$t' \geq \frac{9900}{f} + t \qquad \textbf{(2.5)}$$

Utilitzant aquestes dues fórmules i una *f* = 66 kHz, que es la freqüència del rellotge intern de l'integrat, es troba que $t \leq 6ms$ i $t' \geq 155ms$.

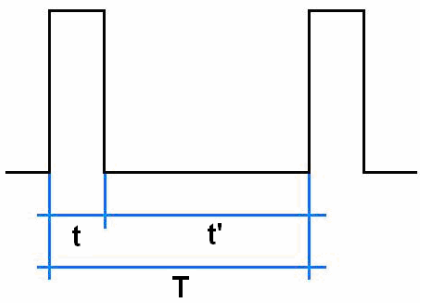


Fig. 2.7 Pols d'iniciació

Com que s'ha d'excitar la pota d'entrada amb un pols d'iniciació i per aquesta mateixa pota es dona la senyal de que el pols s'ha rebut, es té que tractar de forma que aquestes senyals no es solapin. Per això s'utilitza un transistor en tall o saturació, segons es vulgui, per agafar una senyal o emetre l'altra. Primer de tot es verifica que el transistor que s'agafa pot funcionar bé per generar el pols d'iniciació requerit. Es fa una prova amb un petit circuit, per veure si el transistor escollit (BC547) funciona adequadament per el que es necessita. El circuit de proves és el de la figura 2.8.

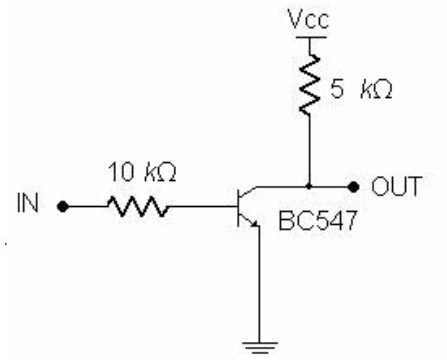


Fig. 2.8 Circuit de proves amb el BC547.

Amb un generador de polsos es genera el pols amb les característiques de durada de temps abans esmentades, però com que el BC547 és un transistor que inverteix la senyal, aquest pols es crea invertit al de la figura 2.7 amb amplitud d'uns 5 Vpp, durada de pols (t) 1 ms i temps d'espera per repetir el pols (t') major de 155 ms.

2.3.4 Proves de l'emissió d'ultrasons

Després d'aconseguir el pols desitjat amb el BC547, es connecta el disparador al PW0268 per veure el funcionament de la part d'emissió d'ultrasons. El circuit és quasi el mateix al de la figura 2.4 però ara per saber si funciona es connecta a la pota de sortida un transistor i una etapa de transformació de freqüència per

adequar la senyal al altaveu. Aquesta etapa serveix per augmentar la tensió de la senyal d'ultrasons per a que l'altaveu sigui capaç d'emetre la màxima potencia possible per així arribar a al distància més gran possible.

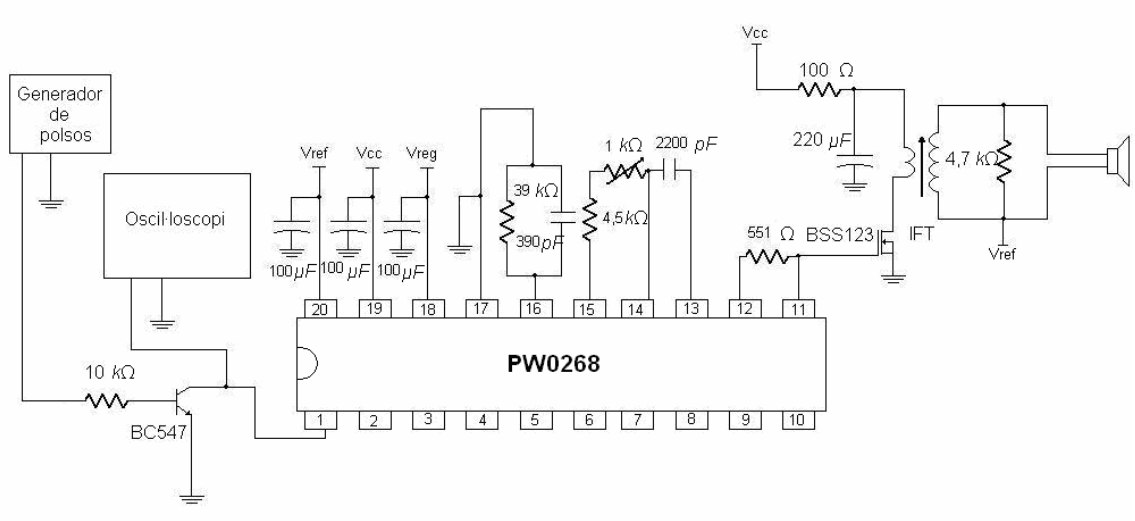
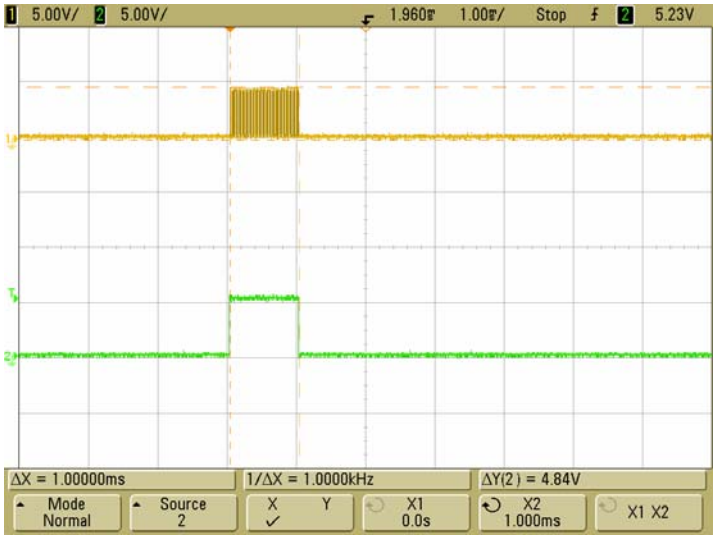


Fig. 2.9 Circuit de proves d'emissió d'ultrasons

Després de ficar el pols d'iniciació al PW0268, treu una senyal quadrada de durada igual al pols d'iniciació tal i com es veu a la figura 2.10. La senyal de sortida té una freqüència de 40 kHz que és la que s'ha explicat al apartat 2.3.2.3.



Senyal de sortida

Senyal d'iniciació

Fig. 2.10 Amplada del pols d'iniciació igual a la pols de sortida del PW0268

Un cop s'ha provat l'emissió dels ultrasons, es mira quina amplada de polsos d'iniciació aguanta l'integrat i es comprova la teoria dels temps d'espera.

Es proven diferents polsos amb diferents amplades (1 ms, 3 ms, 6 ms, 8 ms) a l'entrada, i es mira com varia la sortida. Es comprova que la sortida amb els

polsos més petits de 8 ms funciona correctament, perquè després de cada pols, surt un tren de polsos. Però amb el pols d'amplada 8 ms, el tren de polsos que hauria de sortir no surt. Així, es comprova que per activar l'integrat l'amplada del pols ha de ser, tal i com s'ha calculat abans, menor o igual a 6 ms.

També es comprova l'altre temps que s'ha de deixar per tornar a activar l'integrat, variant la freqüència amb la que s'introdueixen els polsos d'iniciació. Amb el càlcul fet abans s'havia trobat que aquest temps d'espera era d'uns 155 ms i amb la comprovació al laboratori es troba que s'ha de deixar aquest temps entre polsos d'activació, com a mínim, per tal de que s'activi l'integrat.

2.3.5 Proves de la recepció d'ultrasons

Un cop ja funciona la part d'emissió dels ultrasons, es prova la part de recepció. Per aquest punt el generador de polsos és insuficient per fer les proves i s'ha d'agafar un PIC per tal de programar un pols adient per fer les proves.

Abans de fer les proves de recepció, s'ha de programar el PIC per adequar-lo a les nostre necessitats. En l'apartat 2.4 s'explica tota la programació referent al PIC.

Un cop s'han fet les proves amb el PIC es passa a la part de comunicació sense fils que s'explica a l'apartat 2.6.

L'integrat PW0268 té un processat de la senyal, triga una mica en donar resultats coherents. Primer de tot s'ha de saber quin és aquest temps de processat per poder saber quina serà la distància mínima que es mesurarà. En el manual diu que aquest temps és el que triga l'amplificador de ganancia, que va en funció de la freqüència del rellotge intern. Aquest temps es troba amb l'equació 2.6.

$$t_g = \frac{220}{f} = \frac{220}{66000} = 3{,}33\ ms \qquad \textbf{(2.6)}$$

Un cop es té el temps mínim teòric, es comprova amb l'oscil·loscopi. El muntatge seria igual al de la figura 2.9 però canviant el generador de polsos per un PIC amb el codi corresponen (la primera versió del codi s'explica a l'apartat 2.4.1.) i tapant l'altaveu d'ultrasons, per a que no hi hagin rebots, es mira l'error que dona l'integrat. Fent aquest muntatge la senyal que es rep a l'entrada és la mostrada en al figura 2.11 on es veu que el temps d'error es de 3,4 ms, molt semblant al que s'ha trobat teòricament. Amb aquest temps i una temperatura de 20 ºC la distància mínima que es pot mesurar serà de 0,58 metres.

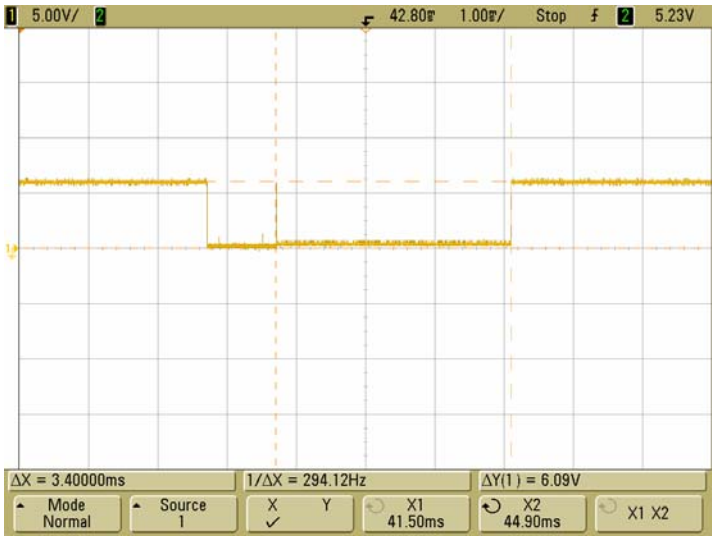


Fig. 2.11 Error de temps de l'integrat PW0268

Per mesurar la distància màxima s'ha d'enfocar l'altaveu cap a una superfície que es trobi a una distància de 18 metres. Com que en aquest projecte només interessa si arriba a mesurar distancies de 3 metres es fan les probes a aquesta distància i es veu, que s'agafen mesures d'aquesta distància sense problemes.

2.4 Sistema de control i comunicació digital

Amb la implantació d'un µC es pretén tenir un control del sistema d'ultrasons al igual que també es podran donar resultats digitals cap a l'ordinador a través del port serie.

2.4.1 Primeres proves amb el PIC

S'ha agafat el PIC16F73 perquè amb les característiques que dona ja es suficient per poder fer les accions que es volen. El primer que s'ha fet ha estat l'elaboració d'un petit circuit de proves, com el de la figura 2.12, per veure el funcionament del PIC.

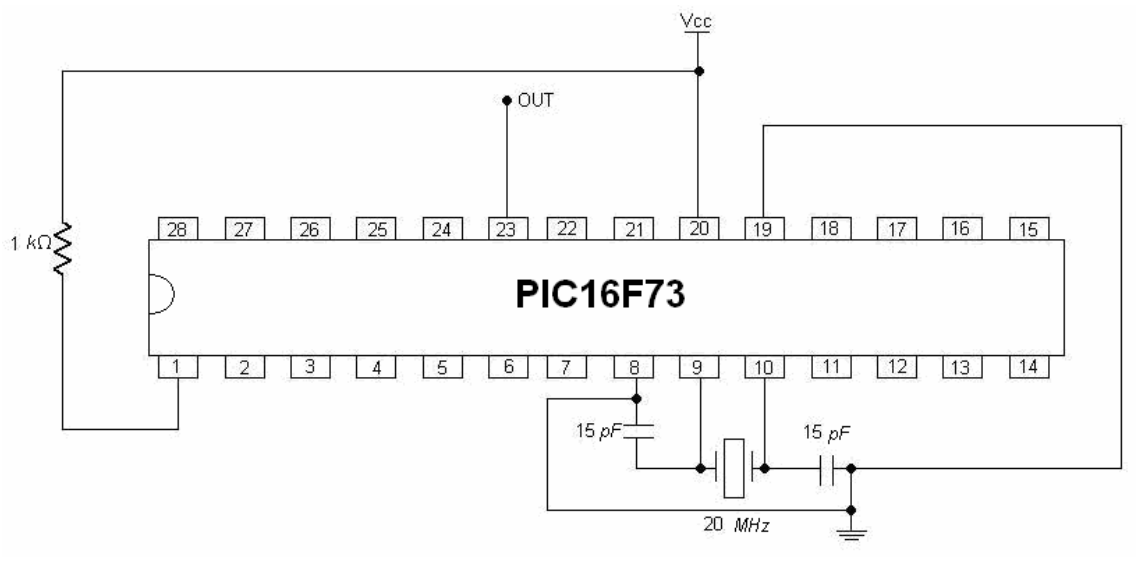


Fig. 2.12 Circuit de proves amb el PIC16F73

Per programar el PIC s'ha fet ús de l'ordinador i s'ha utilitzat: el PICC Compiler i un programador de PICs per poder programar el PIC amb l'ordinador.

El programa de proves hauria de generar un pols amb les característiques de temps calculades al apartat 2.3.3. També hauria de poder calcular el temps que passa d'un pols a un altre, per tal de saber la distància que recorren els ultrasons.

Abans de començar amb el programa s'ha de configurar el rellotge intern del PIC i per això s'ha de decidir quina serà la variació mínima de distància que es permetrà. Per decidir aquest valor es mira, amb l'ajuda del programa PICC Compiler, les configuracions de rellotge que permet posar. Després d'això, es decideix utilitzar la configuració de rellotge que té un overflow d'uns 51,2 µs. Amb aquesta configuració es pot aconseguir mesurar una variació d'1 cm aproximadament. Amb l'equació 2.7 es veu aquest càlcul.

$$\Delta d_{\min} = \frac{\frac{51,2\mu s}{340\, m/s}}{2} = 8,7mm \qquad \textbf{(2.7)}$$

Amb aquestes especificacions del programa pel PIC es pot generar el primer codi per fer les proves de funcionament de l'emissió dels ultrasons. A continuació es veu, en un diagrama de bolcs, el funcionament que ha de tenir aquesta primera versió. A l'annex es pot llegir el codi complet.

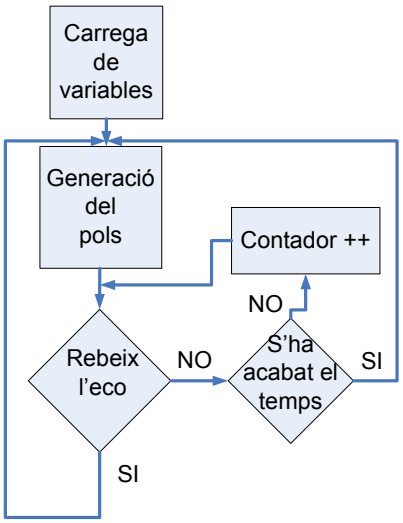


Fig. 2.13 Diagrama de blocs de la primera versió del codi per al PIC

Per poder fer les proves de recepció, amb aquest codi ja és suficient.

2.4.2 Segona part: integració amb el port serie de l'ordinador

En aquesta part es varia el codi del programa per tal que el PIC tregui la informació desitjada pel port sèrie que té. El codi resultant es pot veure a l'annex. A continuació s'il·lustra el diagrama de bolcs amb les millores corresponents.

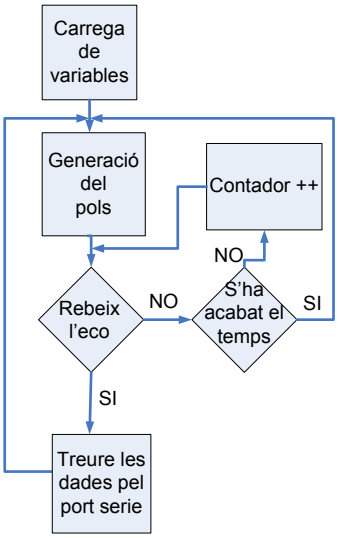


Fig. 2.14 Diagrama de blocs de la segona versió del codi per al PIC

Aquest codi estarà preparat per al programa de Labview “Nivell del Llac”, tal i com s’explica a la part corresponent.

2.4.3 Tercera part: codi final per al PIC

El que es pretén amb aquesta última versió de codi és fer que el sistema agafi mesures en un cert temps determinat i repetir-les en un interval de temps. L’estructura del codi és molt semblant al codi de la segona part l’únic canvi és que n’hi ha algunes variables de més i un timer extra per ajudar a comptar el temps dels intervals determinats de repetició de mesures. El codi es pot veure a l’annex. A continuació s’exposa un diagrama de blocs per visualitzar l’acció d’aquest codi:

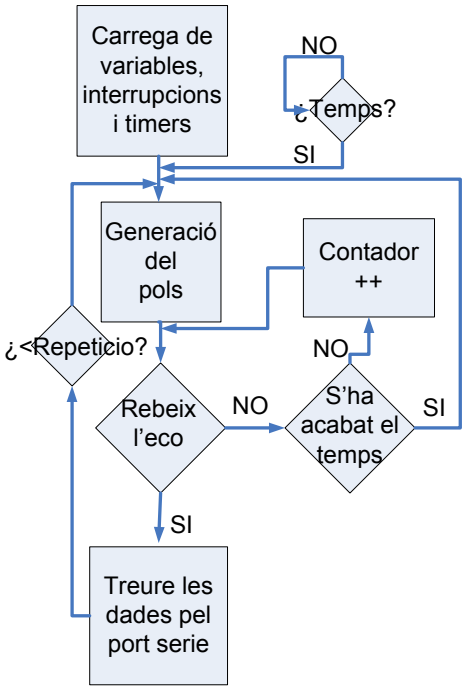


Fig. 2.15 Diagrama de blocs de l’ultima versió del codi per al PIC

2.5 Disseny de l’adaptació del MAX232

En aquesta part només es passaran els nivells TTL que dona el PIC a nivells RS232 per a que l’ordinador pugui reconèixer les dades de mesura.

En la figura 2.17 es representa l’esquema que es farà servir per muntar el MAX232. Per alimentar el MAX232 es farà servir un regulador de tensió 7805 per tal de regular l’alimentació de les bateries als 5 Volts d’alimentació del MAX232 i no posar un altra bateria. El muntatge del regulador es el mostrat a la figura 2.16.

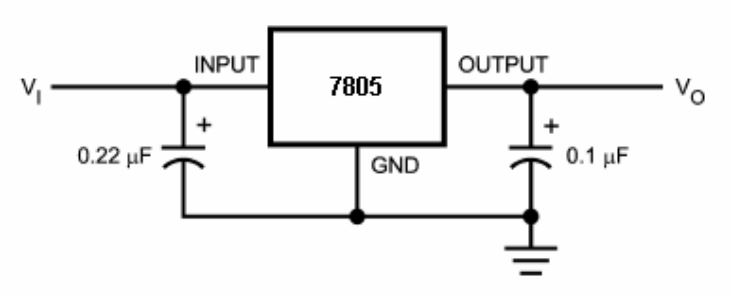


Fig. 2.16 Muntatge del regulador 7805

S'utilitza aquest regulador perquè dona un corrent màxim d'1 A i es prou corrent per alimentar el sistema correctament.

La forma de connectar es MAX232 al PIC es la següent: el pin 10 del MAX232 es connecta al pin 17 del PIC16F73 (es connecta al pin 17 perquè és el pin configurat per a la transmissió serie al codi del PIC però es pot utilitzar qualsevol pin Input/Output del PIC) i el pin 7 es connecta al pin 2 del connector DB9 del port serie.

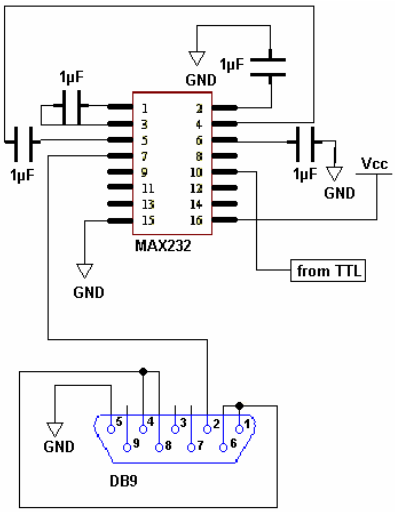


Fig. 2.17 Esquema de l'adaptació del MAX232

Amb aquesta adaptació del MAX232 es poden fer proves i mirar els resultats a l'ordinador, amb l'ajuda del programa de labview creat.

2.6 Disseny de la part de comunicacions sense fils

En aquesta part s'explica el funcionament del emissor i receptor que s'han utilitzat per fer la comunicació sense fils.

2.6.1 Emissor (C-0507)

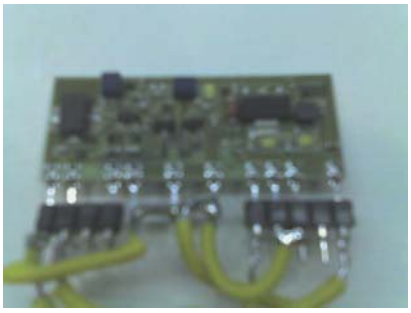


Fig. 2.18 Emissor C-0507

L'emissor utilitzat és un emissor de RF (Radiofreqüència) en la banda ISM de 434 MHz de la casa CEBEK. L'encapsulat es mostra en la figura 2.18 [6]. S'ha escollit aquest emissor per la seva potencia de sortida (500 mW) i el seu baix consum (típic 60 mA). Amb aquest emissor es pretén que la senyal arribi bé des de la torre de professors de l'escola fins al punt on estarà el sensor al llac, a una distància de 150 metres aproximadament però amb obstacles.

Primer de tot es fan unes primeres proves amb la protoboard per veure el funcionament de l'emissor variant la freqüència d'entrada i l'alimentació. S'agafa un generador de funcions i es programa amb una senyal quadrada de 5 Vpp i una freqüència variable entre 1200 Hz i 9600 Hz. S'agafa un analitzador d'espectres per veure la potencia que dona aquest emissor a diferents tensions d'alimentació (entre 12 Volts i 18 Volts). Les antenes que s'utilitzen son dipols de ganancia 0 dB i entre l'emissor i l'analitzador d'espectres hi ha una distància d'uns 20 cm aproximadament. Aquesta separació entre l'emissor i l'analitzador d'espectres donarà unes certes pèrdues a la senyal emesa però en aquest cas, no ens interessa el valor de la senyal, sinó a quina freqüència es major. A la figura 2.19 es pot visualitzar un esquema del muntatge.

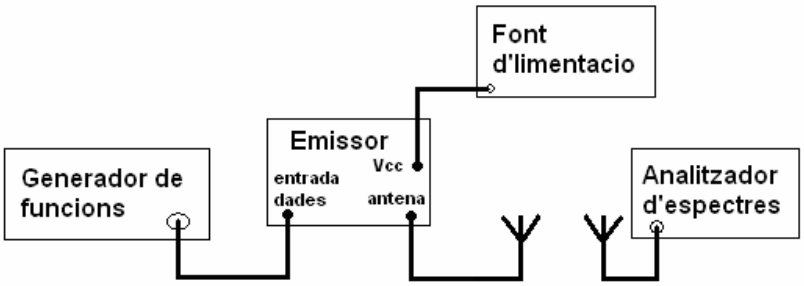


Fig. 2.19 Muntatge de proves de l'emissor C-0507

Amb aquest muntatge s'aconsegueixen veure els resultats de la figura 2.20.

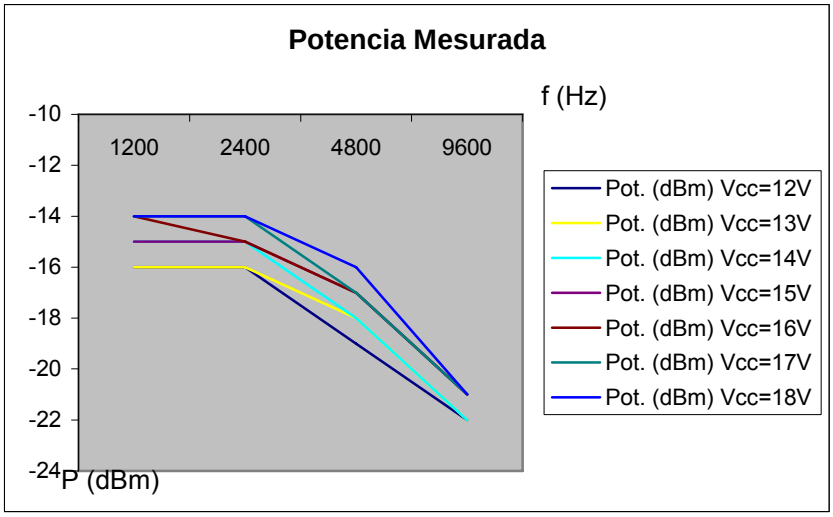


Fig. 2.20 Representació de la potencia generada en funció de la tensió d'alimentació i la freqüència d'entrada a l'emissor

Un cop s'han fet les proves es veu que a freqüències petites la potencia de emissió és més gran. Per tant s'utilitzarà la freqüència de 1200 Hz per transmetre ja que emet màxima potencia i la velocitat és suficient.

2.6.2 Receptor (C-0504)

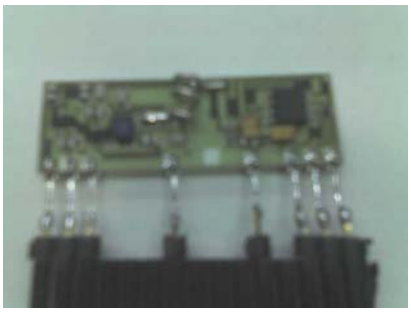


Fig. 2.21 Receptor C-0504

El receptor utilitzat també és de la casa CEBEK, el C-0504 mostrat a la figura 2.21 [5]. S'ha agafat aquest receptor perquè era adequat per les nostres necessitats, amb una sensibilitat de -60 dBm i un consum petit de 20 mA

2.7 Programa d'obtenció de dades pel port serie de l'ordinador.

En aquest apartat s'explica com s'ha fet el programa d'ordinador amb labview per l'obtenció de dades pel port serie.

2.7.1 Programa per a l'obtenció de dades a l'ordinador (Nivell del Llac)

Per a l'obtenció de dades s'utilitza un programa fet en labview que es nomenarà Nivell del Llac. Aquest programa consta de 2 parts: configuració del port sèrie, descodificació de dades i presentació de resultats. En la figura 2.23 es pot veure un diagrama de blocs del funcionament bàsic d'aquest programa.

2.7.1.1 Configuració del port sèrie

Per configurar adequadament el port sèrie per a que l'ordinador pugui entendre's amb el PIC s'ha de mirar quina es la configuració del port sèrie del PIC que s'utilitza, en aquest cas la del PIC16F73. La configuració que s'utilitza per enviar les dades pel port sèrie del PIC es la següent:

```
#use rs232(baud=1200,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
```

D'aquesta línia només ens interessa el baud = 1200 i parity = N.

Amb això i sabent que els bits d'informació son 8 ja es pot configurar el port sèrie a labview. Les dades que s'han de posar per la configuració son les mostrades a la taula 2.2.

Taula 2.2. Dades per la configuració del port serie al programa Labview

Dada	Valor
Baud rate	1200
Data bits	8
Parity	None
Stop bits	1.0
Flow control	None

2.7.1.2 Descodificació de dades i presentació de resultats

Aquesta part consisteix en extreure les dades agafades del port sèrie i donar-les un format per presentar-les per pantalla.

Per obtenir les dades del port sèrie s'ha de saber com les envia el PIC cap a l'ordinador. En aquest cas envia 10 bytes dels quals només 2 son d'informació i els altres son bytes de redundància i sincronisme. En la figura 2.24 es pot veure un diagrama de blocs de com es el funcionament de l'extracció de les dades per després presentar-les per pantalla.

Un cop ja es tenen les dades només queda fer les corresponents operacions matemàtiques i donar els resultats corresponents. Aquestes operacions es poden veure en la figura 2.22.

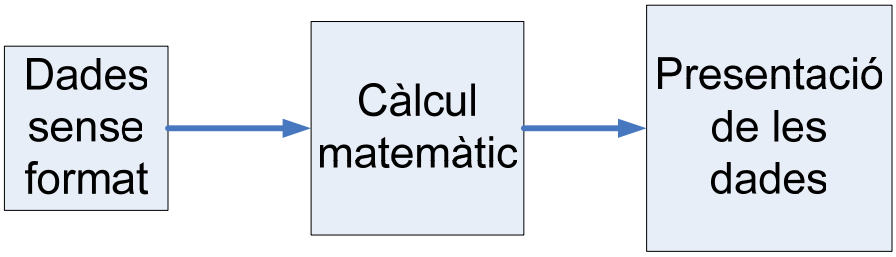


Fig. 2.22 Diagrama de blocs de les funcions matemàtiques per presentar les dades

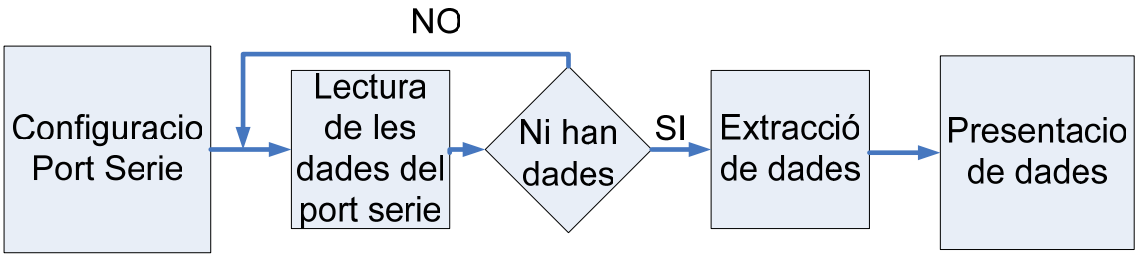


Fig. 2.23 Diagrama de blocs del programa principal

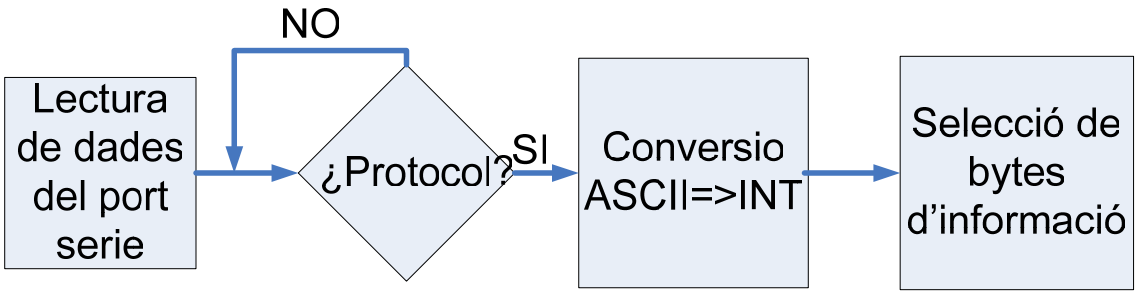


Fig. 2.24 Diagrama de blocs de l'extracció de dades

2.7.2 Programa complet

A continuació s'exposen les parts del programa per a que es pugui veure el resultat final.

2.7.2.1 Nivell del Llac

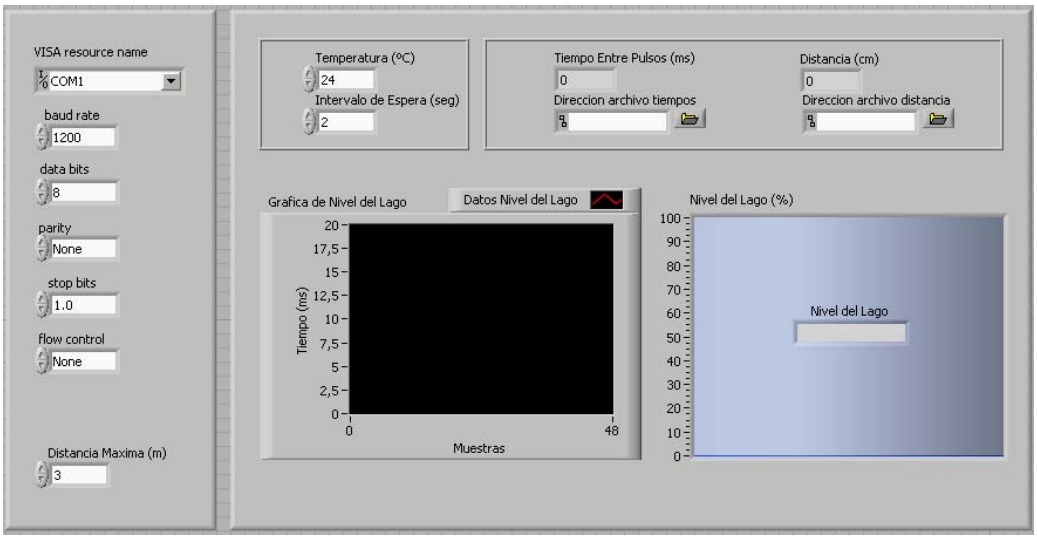


Fig. 2.25 Panel frontal del programa principal

En la pantalla mostrada en la figura 2.25 es pot veure, en la primera columna, el menú de les configuracions del port sèrie (VISA resource name, baud rate, data bits, parity, stop bits i flow control) i la distància màxima que es mesurarà amb els ultrasons. Aquesta distància màxima s'utilitza per poder fer la simulació del nivell del llac al bloc de la dreta que s'omplirà segons la distància que es mesuri. També, d'alt de la gràfica de nivell del llac es poden veure uns controls per la temperatura i el temps d'espera per a que s'ompli el buffer del port serie de l'ordinador. Aquest control de temperatura serveix per controlar la velocitat del so a l'hora de fer els càlculs per donar la distància. Les mesures es mostren al quadre que hi ha d'alt de la simulació del nivell del llac. També es guarden les mesures agafades en arxius de text per tenir les dades per si es volen utilitzar per algun càlcul.

Es pot configurar l'opció de control remot en un altre ordinador. Per fer aquesta configuració s'ha d'anar al menu "Tools -> Options -> Web Server:Configuration" i habilitar la opció de "Enable Web Server" com es mostra en la figura 2.26.

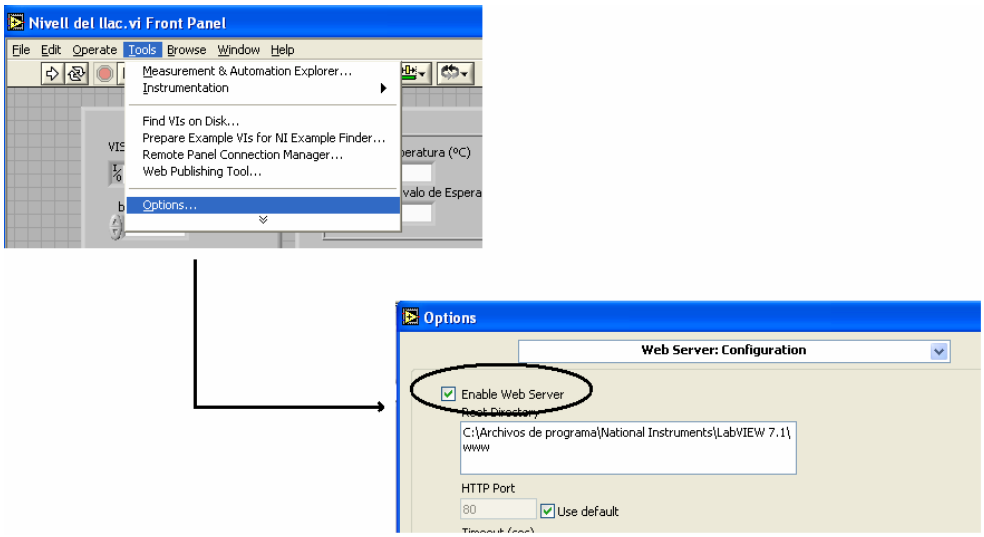


Fig. 2.26 Configuració per al control remot

Després es selecciona "Tools -> Options -> Web Server:Visible Vis" i es posa el nom del vi corresponent, en aquest cas Nivell del llac tal i com es mostra en la figura 2.27.

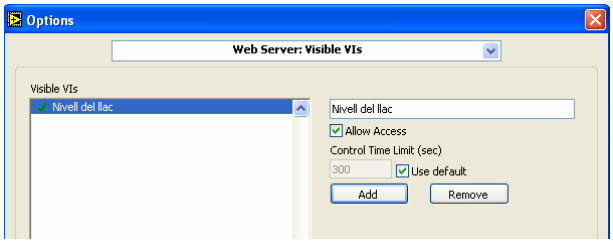


Fig. 2.27 Opcions per fer visible el programa per al control remot

Per últim es selecciona "Tools -> Web Publishing Tool" i es seleccionen les opcions "Border" i "Request Control" per poder controlar el programa remotament. Per últim es guarda i s'agafa el nom de l'enllaç que dona per poder fer el control remot. Aquestes accions es mostren en la figura 2.28.

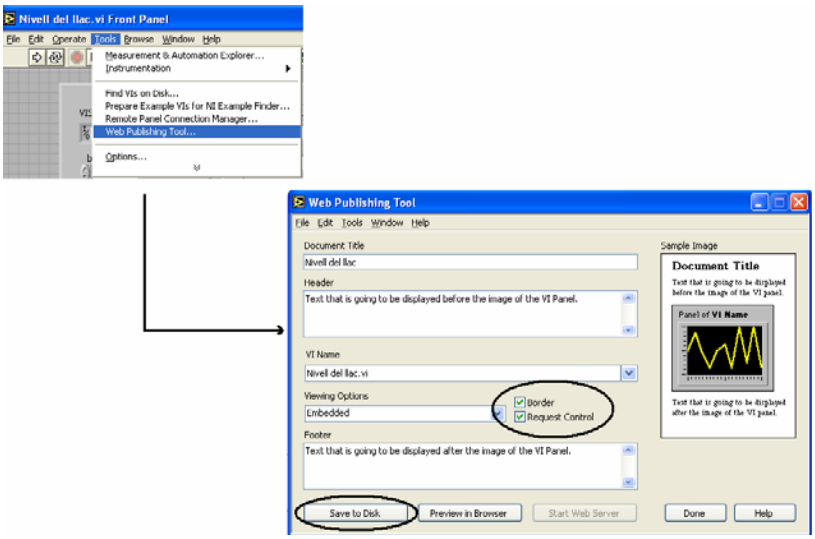


Fig. 2.28 Opcions per guardar l'accés per control remot

2.8 Disseny de les plaques PCB (prototip)

Ara es l'hora de passar a fer el disseny d'un petit prototip en placa PCB per veure les millores que s'aconsegueixen.

2.8.1 Disseny de la placa PCB per als ultrasons

Primer de tot és fer l'esquemàtic del circuit en un paper o en un programa d'ordinador, en aquest projecte s'utilitza l'ordinador i el programa PCAD per dissenyar l'esquemàtic, aquest esquemàtic es pot veure a l'annex. A continuació es passa a fer el disseny del circuit en placa PCB, s'intenta que el circuit sigui el més petit possible. Per últim es passa a muntar la placa. L'aspecte de la placa PCB es mostra a la figura 2.29.

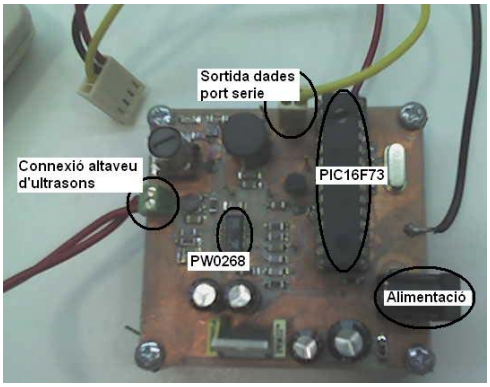


Fig. 2.29 Placa PCB del sistema d'ultrasons

Amb la placa PCB s'aconsegueixen mesures de distància més grans que amb la placa protoboard o la baquelita, perquè les connexions entre els components son millors i ni han menys pèrdues.

En aquesta placa s'han posat alguns punts de test per veure el comportament del senyal. També hi ha un jumper per agafar la senyal que anirà cap al port serie de l'ordinador o, si ni ha sistema sense fils, al emissor. En el capítol 3 es poden veure les proves realitzades amb aquesta placa PCB.

2.8.2 Disseny de la placa PCB del emissor de RF

Per fer aquesta placa s'ha pensat en tenir dues opcions: una que en la placa estigui integrat l'emissor RF per poder fer comunicació sense fils, i un altra, que aquesta placa també serveixi per poder fer comunicació amb cable a través del port serie per si l'emissor RF no funciona. El resultat obtingut es mostra en la figura 2.30.

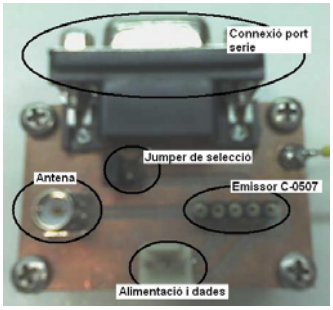


Fig. 2.30 Placa PCB de l'emissor RF

2.8.3 Disseny de la placa PCB del receptor de RF

Aquesta placa s'ha pensat per a que el receptor no hi vagi alimentat a bateries. Com que aquesta placa serà la que estigui al costat de l'ordinador, s'ha pensat en alimentar-la des de l'ordinador a través del port USB. Aquest port té quatre terminals, dos de dades, un d'alimentació i un altre de massa. Els terminals de dades no interessen perquè les dades que es fan servir son RS232 i les dades del port USB tenen un altre format. El que s'utilitzarà serà l'alimentació i massa. L'alimentació del port USB dona 5 V i un corrent de 100 mA que ja ens serveix per al que es vol ja que el receptor RF s'alimenta a 5 V i consumeix uns 20 mA.

En aquesta placa no només hi serà el receptor RF, també hi serà l'integrat MAX232 per a que adeqüi les dades tretes del receptor RF, de 5 V, a dades RS232 per a que l'ordinador les entengui.

També permetrà, com la placa PCB de l'emissor RF, l'opció de que les dades s'agafin a través del receptor o per cable. L'aspecte d'aquest placa es mostra en la figura 2.31.

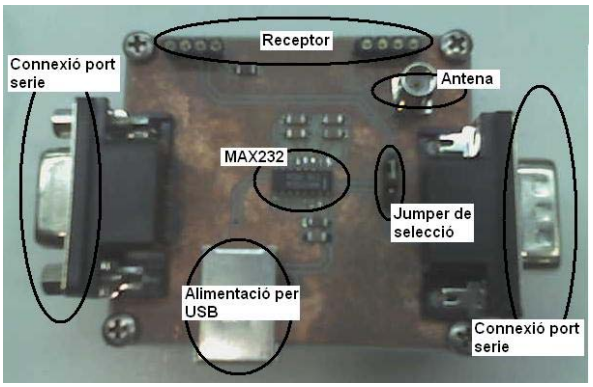


Fig. 2.31 Placa PCB del receptor RF

CAPÍTOL 3. RESULTATS EXPERIMENTALS

3.1 Introducció

En aquest capítol s'expliquen tots els resultats aconseguits amb les proves al laboratori. Aquestes proves s'han separat en dos apartats, un amb el sistema sensor d'ultrasons i un altre amb la part de comunicació sense fils.

3.2 Proves amb el sistema d'ultrasons

Les proves que es fan en aquesta part tenen a veure amb l'obtenció de les dades. Es mira la exactitud del sistema així com la repetibilitat, la resolució i les variacions del sistema degudes a la temperatura.

3.2.1 Exactitud del sistema

En aquesta prova es veu la fidelitat que dona el sistema. Per fer aquesta prova d'exactitud del sistema, s'ha agafat un regle de 2,75 m i s'han fet divisions de 5 cm. S'ha col·locat l'altaveu d'ultrasons al principi d'aquest regle i s'ha posat un cartró perpendicularment, per fer de paret, a aquest regle per poder variar la distància per a que rebotin les ones mecàniques i mesurar diferents distàncies. Un exemple de com s'han fet aquestes mesures es pot veure a la figura 3.1.

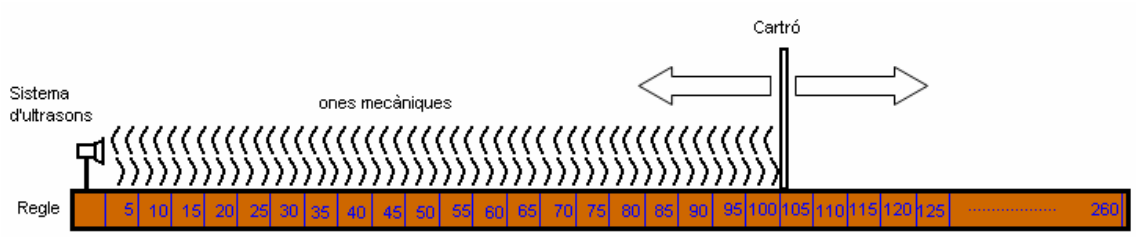


Fig. 3.1 Exemple de mesura amb el regle

Amb el programa de labview, Nivell del llac, s'han agafat les dades de temps i distància que donava aquesta mesura. Com que la velocitat del so depèn de la temperatura es posa, a l'opció del labview, la temperatura que hi havia al laboratori, que era de 24 ºC, i es fan les mesures. S'ha vist que fins que no s'ha posat el cartró al 85 cm no s'han notat canvis en les dades que donava el labview. Aleshores s'ha posat el cartró als 80 cm per veure quin era el valor que donava i aquest valor és el mínim que es pot mesurar amb aquest mètode. El valor que ha donat és 69,9 cm, això es degut a que l'integrat PW0268 té uns processos interns que fan que la mesura doni errors d'offset o de calibració. Per calibrar aquest error s'agafen els valors erronis que dona el labview en

cadascuna de les mesures amb el regle. El la figura 3.2 es poden veure les rectes de mesura de temps que dona el labview comparada amb la recta de valors reals.

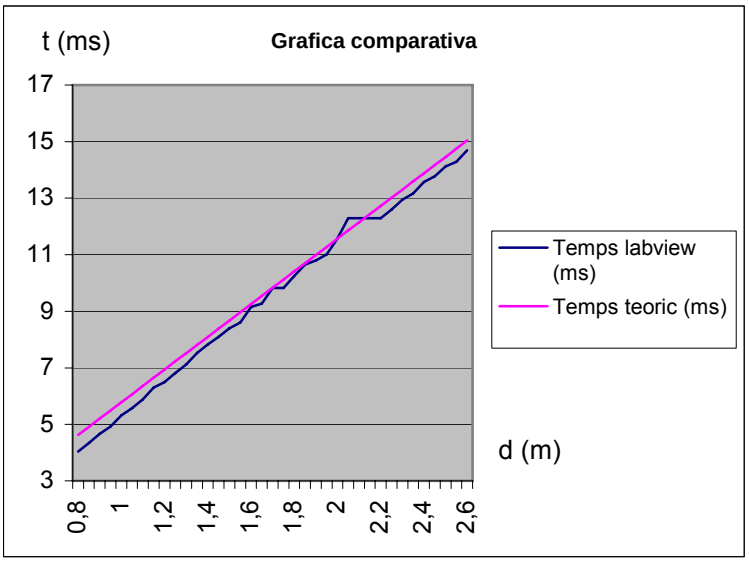


Fig. 3.2 Gràfica comparativa dels temps reals amb els temps mesurats al labview

S'agafen les dades de temps perquè son amb les que el labview fa els càlculs per després donar el resultat de distància. En la gràfica es poden veure que les dues rectes tenen quasi la mateixa pendent però una està més sobre que l'altra.

Per calibrar aquest error es calcularà una recta que doni un valor amb un error més petit, com es mostra en la formula 3.1. S'han de calcular les constants a_t i b_t per donar un resultat.

$$t_{real} = t_{mesurat} \cdot a_t + b_t \qquad \textbf{(3.1)}$$

Per fer aquest càlcul s'agafen el valor més petit i el valor més gran i es fa un sistema per donar la recta resultant. Aqueta operació es veu en la formula 3.2.

$$\left.\begin{array}{l} 14{,}69\ ms = 15{,}04\ ms \cdot a_t + b_t \\ 4{,}04\ ms = 4{,}63\ ms \cdot a_t + b_t \end{array}\right\rangle a_t = 0{,}9774; b_t = 0{,}0007 \qquad \textbf{(3.2)}$$

Un cop s'ha calibrat el sistema amb aquesta recta es mira un altre cop la diferencia amb la realitat i s'observa que les mesures donades pel labview s'aproximen més a la realitat. En la figura 3.3 es veu aquesta comparativa.

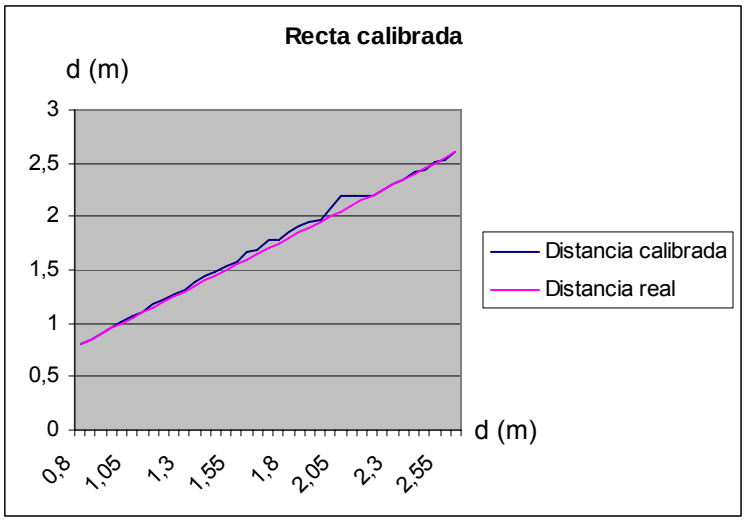


Fig. 3.3 Gràfica comparativa de les mesures reals amb les mesures fetes amb labview

El pic que es veu sobre els 2,1 metres es degut als rebots de les ones mecàniques en l'entorn on s'han fet les proves, on hi han molts obstacles. Si l'altaveu d'ultrasons es col·loca dintre d'un tub o en un entorn on no hi hagin tants obstacles, aquest pic no sortirà. Un cop s'ha calibrat el sistema es pot continuar fent proves per veure el comportament global.

3.2.2 Repetibilitat del sistema

En aquesta prova s'aprecia la separació que hi ha entre dues o més mesures del sistema fetes sobre la mateixa distància. Per fer aquesta prova s'ha utilitzat el mateix muntatge de la figura 3.1 però ara el cartró s'està en una distància fixa durant un interval de 100 mesures. Les mesures que s'agafen en aquesta prova son 1 m, 2 m i 2,50 m.

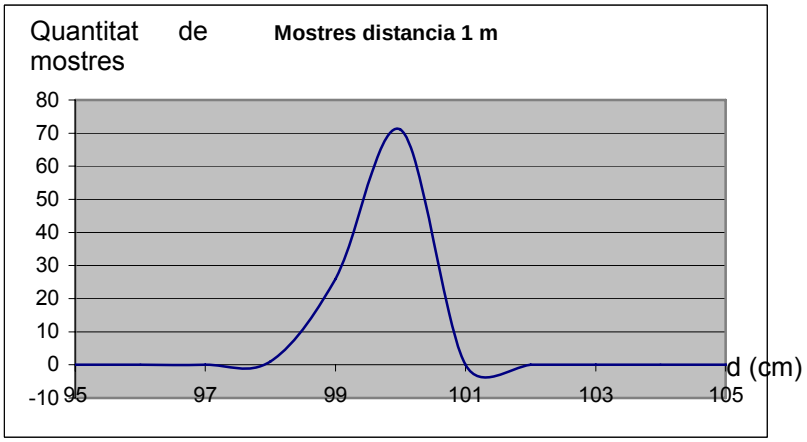


Fig. 3.4 Gràfica resultant de les proves de repetibilitat amb 1 m de distància

De la prova amb 1 metre de distància s'extreu una mitja de 99 cm i una desviació estàndard de 2,81 de totes les mesures fetes. En la figura 3.4 es representen els resultats gràficament i es pot veure que la major part de les mesures cauen sobre els 100 cm. Així es veu que la repetibilitat del sistema en aquesta distància és bona perquè el valor mesurat és el valor que dona majorment el labview.

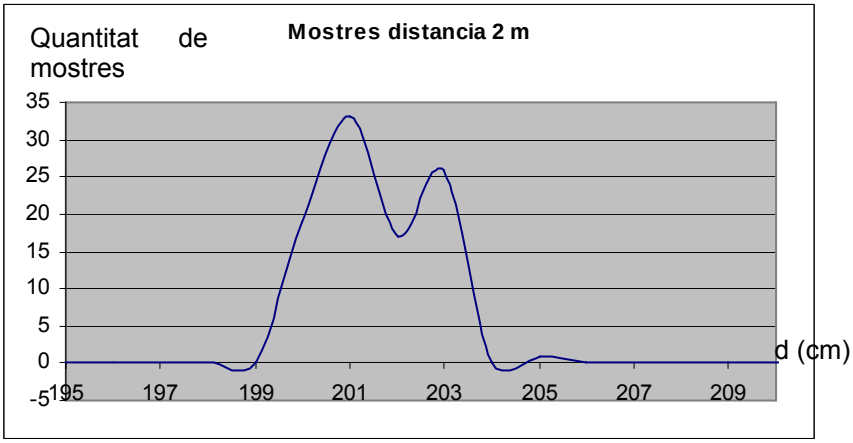


Fig. 3.5 Gràfica resultant de les proves de repetibilitat amb 2 m de distància

De la prova amb 2 metres de distància s'extreu una mitja de 202 cm i una desviació estàndard de 3,43. En la figura 3.5 es representen els resultats gràficament i es pot veure que la major part de les mesures cauen sobre els 201 cm que s'aproxima molt als 2 m. També es pot veure que hi ha un altre pic sobre els 203 cm, això fa que la mitja tingui un error de 2 cm.

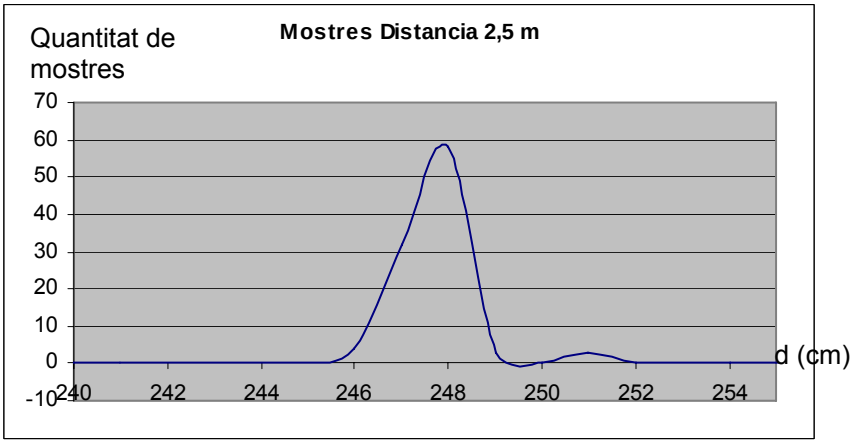


Fig. 3.6 Gràfica resultant de les proves de repetibilitat amb 2,5 m de distància

De la prova amb 2,5 metres de distància s'extreu una mitja de 247 cm i una desviació estàndard de 0,84. En la figura 3.6 es representen els resultats gràficament i es pot veure que la major part de les mesures cauen sobre els 248 cm que també s'aproxima molt als 2,5 m. En aquesta última prova es veu que l'error que hi havia en la distància de 2 m també hi es.

La conclusió que s'extreu d'aquesta prova és que l'error que es pot aconseguir amb la mesura, un cop calibrat el sistema, és de ± 2 cm. Aquest sistema treballa amb mesures d'una mostra, per millorar aquest error el que es pot fer és promitjar el resultat amb varies mostres. Amb aquest promitj la mesura donada pel labview s'acostarà més a la realitat.

3.2.3 Variacions del sistema degudes a la temperatura

Amb aquesta prova es veurà si hi ha canvis en les mesures degudes a la variació de temperatura.

Per fer aquesta prova es fica el sistema en una càmera climàtica i es varia la temperatura. D'inici es començarà amb una temperatura de -10 ºC durant 2 minuts i s'anirà augmentant fins arribar als 30 ºC. Com la càmera que hi ha al laboratori es petita només es pot fer la proba mesurant una distància de 80 cm.

Un cop s'ha fet la prova es comprova que, una vegada calibrat el sistema, per variacions de temperatura l'error està per sota d'1 cm. Com aquest error està per sota de la resolució del sistema, no l'afecta

3.2.4 Resolució del sistema

Amb aquesta prova es pretén saber quina és la mínima variació de distància que mesura el sistema.

En teoria aquesta resolució ve donada per la formula 2.7 i es aproximadament 1 cm. Per comprovar aquesta dada s'agafarà el regle i una de les divisions de 5 cm es dividirà en 5 per fer divisions d'1cm. Es mourà el cartró per veure si el sistema es sensible a aquesta variació i així es comprovarà la resolució. Al fer aquesta prova s'observa que la resolució es de 1 cm que precisament és el calculat a la teoria i que ens serveix per fer les mesures.

3.3 Proves amb el sistema de comunicació sense fils

Amb aquesta prova es vol saber si el sistema escollit de transmissió es el idoni.

3.3.1 Models de propagació

Primer de tot abans de fer les proves s'estudien els models de propagació per saber si la potencia que dona l'emissor arribarà al lloc on es vol. Els dos models que més s'adeqüen a la nostra situació son el model d'espai lliure (formula 3.3) que és el model de propagació d'ones en espais on hi ha visibilitat directa i sense cap obstacle entre l'emissor i el receptor, i el model d'Okumura-Hata (formula 3.4). El model d'Okumura-Hata s'utilitza per al càlcul de pèrdues en zones urbanitzades amb edificis no gaire alts. En realitat, en el campus de Castelldefels, hi ha un model entremesclat amb aquest dos models.

$$\begin{aligned} &L_F(dB) = 32,45 + 20\cdot\log_{10} f_c(MHz) + 20\cdot\log_{10} d(km) \\ &L_F : perdues \\ &f_c : freqüència\ utilitzada \end{aligned} \qquad \textbf{(3.3)}$$

$$\begin{aligned} &L_P(dB) = 69,55 + 26,16\cdot\log_{10} f(MHz) - 13,82\cdot\log_{10} h_t(m) - a(h_m(m)) + \\ &+(44,9 - 6,55\cdot\log_{10} h_t(m))\cdot\log_{10} d(km) \\ &a(h_m) = (1,1\cdot\log_{10} f(MHz) - 0,7)\cdot h_m - (1,56\cdot\log_{10} f(MHz).0,8) \\ &h_m = altura\ antena\ receptor \\ &h_t = altura\ antena\ emisor \end{aligned} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Amb aquests models es pot saber quina serà l'atenuació de la senyal emesa. En la gràfica de la figura 3.8 es pot veure una representació de les atenuacions que donen els dos models anteriors. Els valors de l'atenuació que es tindrà en realitat estarà entre aquest dos models.

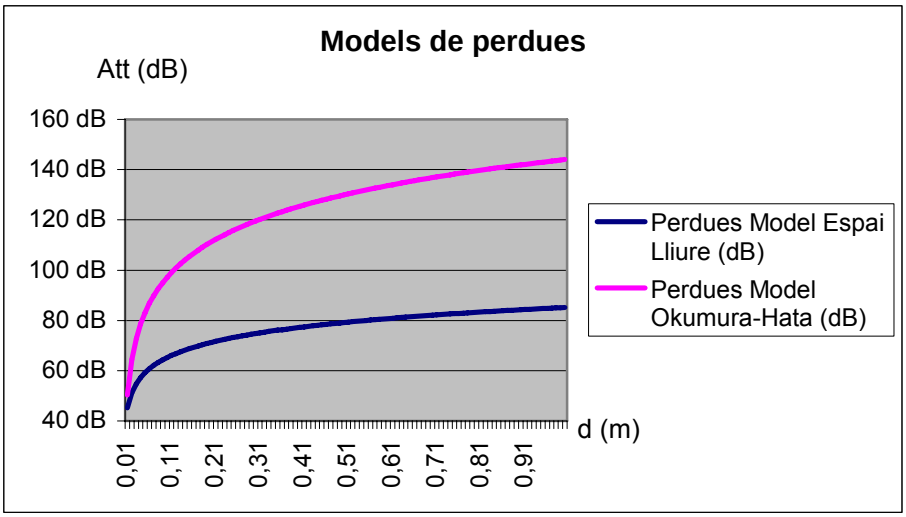


Fig. 3.8 Representació de models de propagació

Per saber quina serà la distància a la qual s'arribarà, primer s'ha de saber quina serà la potencia d'emissió. Per obtenir aquest valor s'ha de connectar directament la sortida de l'emissor amb l'entrada de l'analitzador d'espectres. Al fer aquest muntatge s'obté que la potencia de la senyal és de 20 dBm. Per fer l'estimació de la distància s'ha de restar, a la potencia que dona l'emissor, la sensibilitat que té el receptor que son -60 dBm. Amb aquestes dades es té un marge de 80 dB que dona una distància, en els models de propagació, d'uns 50 metres en el pitjor cas i 550 metres en el millor.

Per saber amb certesa quina serà la distància real a la qual s'arribarà amb aquest emissor es fa un plànol amb les pèrdues reals que dona. Per fer aquest plànol es col·loca l'emissor a la torre de professor de l'EPSC i amb l'analitzador d'espectres portàtil s'obtenen els valor reals. El plànol resultant es el mostrat en la figura 3.9.

En el plànol es veuen les atenuacions en uns punts en concret del campus. En els punts on l'atenuació es major a 80 dB la senyal no arribarà, en la resta es captarà senyal. En el punt on es faran les mesures al llac l'atenuació de la senyal és major de 80 dB amb la qual cosa la comunicació no funcionarà. Per tant s'ha de canviar el sistema de comunicació sense fils per un superheterodi i ficar antenes amb ganancia, com poden ser les colineals, per guanyar distància.

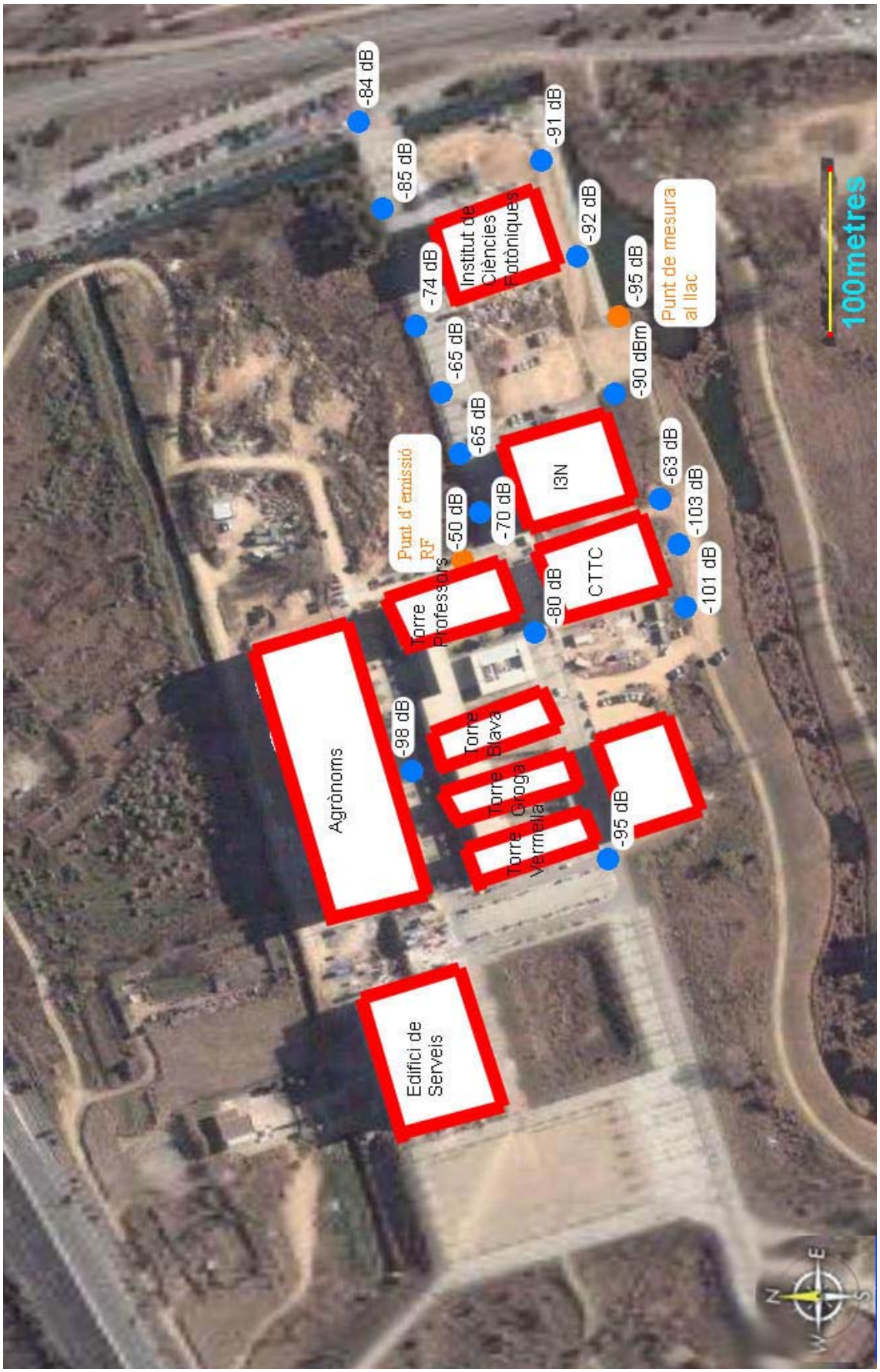


Fig. 3.9 Plànol de atenuació

CAPÍTOL 4. CONCLUSIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR

4.1 Conclusions

Al principi d'aquest projecte s'havien proposat uns objectius en el disseny del sistema sensor, aquest objectius van ser: mesurar el nivell de l'aigua del llac del campus de Castelldefels, tenir un control en temps real d'aquestes mesures, que el sistema sensor sigues portable, que les dades que extregui siguin digitals per després donar-les format i presentar-les en pantalla a l'ordinador i que el sistema tingui una comunicació sense fils per poder visualitzar les dades a qualsevol ordinador de l'EPSC.

El sistema pot fer mesures que variïn 2 metres, que es la variació esperada de l'alçada del nivell del llac, amb una resolució d'1 cm i un error de ±2 cm. Les mesures obtingudes son tractades per un µC i passades a un ordinador, mitjançant el port serie, per poder-les presentar per pantalla. El sistema té una part de comunicació sense fils que fa que sigui portable. Per últim el programa creat al labview té l'opció de control remot a través d'Internet, la qual cosa fa que qualsevol orinador pugui fer-lo servir.

4.2 Perspectives de futur

Per millorar el sistema, pel que fa a la part d'ultrasons, ja ens serveix tal i com s'ha dissenyat. De totes formes aquesta part d'ultrasons formarà part d'unes altres, al projecte del laboratori real, amb un sensor de temperatura, que millora l'adquisició de dades ja que es sabrà la temperatura per poder calcular la velocitat del so, i altres sensors que ajudaran a fer la mesura de distància.

Per millorar la part de comunicació sense fils, es pot optar per altres sistema d'emissió i recepció que siguin més potents o utilitzar un amplificador per fer que la senyal sigui millor a la sortida de l'emissor o a l'entrada del receptor. També es poden utilitzar antenes amb més ganancia que les que s'han utilitzat en aquest projecte, ja que les antenes utilitzades en aquest projecte son de ganancia 0 dB.

4.3 Estudi d'ambientalització

El sistema dissenyat en aquest projecte no te moltes repercussions per al medi ambient, tots els components electrònics es poden reciclar un cop s'hagi exhaurit la vida útil d'aquests, al igual que les bateries utilitzades de font d'alimentació.

BIBLIOGRAFIA

[1] Casanella Alonso, Ramon, "*Liquid Interface Level Sensing Using Electrode Arrays*"

[2] Tipus de sensor de nivell
Web: http://www.es.endress.com/
Data última visita: 21-02-06

[3] Informació sobre les formules de la velocitat del so
Web: http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_del_sonido
Data última visita: 21-02-06

[4] Datasheet de l'integrat d'ultrasons
Web: http://www.diltronic.com/pdf/prowave/sonarIC.pdf
Data última visita: 22-02-06

[5] Datasheet del receptor RF
Web: http://www.infotecnic.com/cebek/Components/C-0504.pdf
Data última visita: 21-02-06

[6] Datasheet de l'emissor RF
Web: http://www.infotecnic.com/cebek/Components/C-0507.pdf
Data última visita: 21-02-06

Escola Politècnica Superior de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANNEXOS

TÍTOL DEL TFC/PFC: Sistema d'ultrasons per mesura del nivell d'aigua del llac del campus de Castelldefels

TITULACIÓ: E.T.T., Sistemes de Telecomunicació

AUTOR: David López Felguera

DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

DATA: 24-Febrer-2006

Valors de la comparativa Vcc, Vreg i Vref

Vcc	Vref	Vreg
2,5	0,301	0,596
3,0	0,347	0,686
3,5	0,404	0,795
4,0	0,527	1,015
4,5	0,735	1,500
5,0	1,352	2,762
5,5	1,983	4,043
6,0	2,233	4,533
6,5	2,230	4,548
7,0	2,235	4,558
7,5	2,240	4,567
8,0	2,244	4,577
8,5	2,249	4,586
9,0	2,253	4,593
9,5	2,253	4,592
10,0	2,257	4,602
10,5	2,262	4,613
11,0	2,269	4,625

Primera versió del codi per al PIC16F73

```
/*************************************************************************/
//Declaración del micro usado
#include <16F73.h>

//Configuración del micro
#use delay(clock=20000000,restart_wdt) //Configurac. de la velocidad del
reloj                                                    del micro
#fuses HS,NOWDT    //Tipo de reloj (HighSpeed, HS) y watchDog (WDT)

//Declaración variables
int16 contador;                    //contador se utiliza para averiguar el tiempo
entre                                  los pulsos de Rx y Tx
int bandera;                  //bandera la utilizo para ayudarme con los if


#define BUCLE 9766                 //esta variable sirve para dar el tiempo de
                                       espera                    BUCLE=(tiempo
espera/overflow(51,2us)
#INT_RTCC                     //Interrupcion del timer
RTCC_isr() {                   //controlo el tiempo entre los pulsos de Rx y Tx
                                       ultrasonicos
  contador++;
}

/*************************************************************************/

void main() {

  disable_interrupts(INT_RTCC);                //deshabilito la interrupcion del
timer
  enable_interrupts(GLOBAL);               //habilito las interrupcion globales

  //Config. de contador
  set_rtcc(0);
  setup_counters(RTCC_INTERNAL,WDT_2304MS);              //con    esta
declaracion                                                    tengo  un
overflow de unos                                               51,2us
  /*inicializo variables*/
  contador=0;
  bandera=0;
```

```
  //Bucle del programa principal
  while(TRUE){
    /*comienza la medida*/
      if(bandera==0){
      /*genero el pulso de inicio*/
        disable_interrupts(INT_RTCC);
        bandera=1;
        output_high(PIN_B2);
        delay_ms(1);
        output_low(PIN_B2);
        delay_ms(2);                    //retardo para controlar el pequeño
pulso                                       que genera al principio
        set_rtcc(0);                  //genera el PW0268 y poder trabarjar
                                            correctamente
        enable_interrupts(INT_RTCC);
      }
      if(bandera==1){
        if(input(PIN_B1)==0){
        /*calculo el tiempo entre pulsos*/
          disable_interrupts(INT_RTCC);
          delay_ms(400);
          contador=contador+55;                   //añado 2.8ms por el
tiempo                                                 del primer pulso
          set_rtcc(0);
          bandera=0;
          contador=0;
        }
        /*este if lo utilizo por si no hay pulso de retorno que espere un cierto
              tiempo, que es un tiempo
          maximo para poder volver a hacer otra medida mas adelante*/
        if(contador>=BUCLE){
          disable_interrupts(INT_RTCC);
          set_rtcc(0);
          bandera=0;
          contador=0;
        }
      }
  }//while true
}//main
```

Segona versió del codi per al PIC16F73

```
/*****************************************************************************/
//Declaración del micro usado
#include <16F73.h>

//Configuración del micro
#use delay(clock=20000000,restart_wdt) //Configurac. de la velocidad del
reloj                                                    del micro
#fuses HS,NOWDT    //Tipo de reloj (HighSpeed, HS) y watchDog (WDT)
#use rs232(baud=2400,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)

//Declaración variables
int tpsB;                        //tpsA y tpsB las utilizaria si quiero enviar 2 bytes
para                                     el tiempo
int tpsA;
int16 contador;                  //contador se utiliza para averiguar el tiempo entre
los pulsos de Rx y Tx
int bandera;                     //bandera la utilizo para ayudarme con los if
int start;                       //variable que controla el comienzo del proceso que
se                                       lee a traves del puerto serie
                                 //del PIC que genera el PC

#define BUCLE 9766                   //esta variable sirve para dar el tiempo de
                                             espera BUCLE=(tiempo
                                                     espera/overflow(51,2us)
#INT_RTCC                        //Interrupcion del timer
RTCC_isr() {                     //controlo el tiempo entre los pulsos de Rx y Tx
                                         ultrasonicos
  contador++;
}
#INT_RDA                         //interrupcion del buffer del puerto serie, se activa
si                                       hay algo en el buffer
RDA_isr(){                       //miro a ver que es lo que hay en el buffer
  start=getc();
}

/*****************************************************************************/
```

```
void main() {

  disable_interrupts(INT_RTCC);                    //deshabilito la interrupcion del
timer
  enable_interrupts(INT_RDA);                    //habilito la interrupcion del puerto
                                                                    serie
  enable_interrupts(GLOBAL);                    //habilito las interrupcion globales

  //Config. de contador
  set_rtcc(0);
  setup_counters(RTCC_INTERNAL,WDT_2304MS);   //con esta declaracion
                                                                    tengo un
overflow                                                            de unos
51,2us
  /*inicializo variables*/
  contador=0;
  bandera=0;
  start=0;
  tpsA=0;
  tpsB=0;

  //Bucle del programa principal
  while(TRUE){
    while(start==1){
    /*comienza la medida*/
      if(bandera==0){
      /*genero el pulso de inicio*/
        disable_interrupts(INT_RTCC);
        bandera=1;
        output_high(PIN_B2);
        delay_ms(1);
        output_low(PIN_B2);
        delay_ms(2);                          //retardo para controlar el pequeño
pulso                                                  que genera al principio
        set_rtcc(0);                          //genera el PW0268 y poder trabarjar
                                                       correctamente
        enable_interrupts(INT_RTCC);
      }
      if(bandera==1){
        if(input(PIN_B1)==0){
        /*calculo el tiempo entre pulsos*/
          disable_interrupts(INT_RTCC);
          delay_ms(400);
          contador=contador+55;                          //añado 2.8ms por el
tiempo                                                          del primer pulso
```

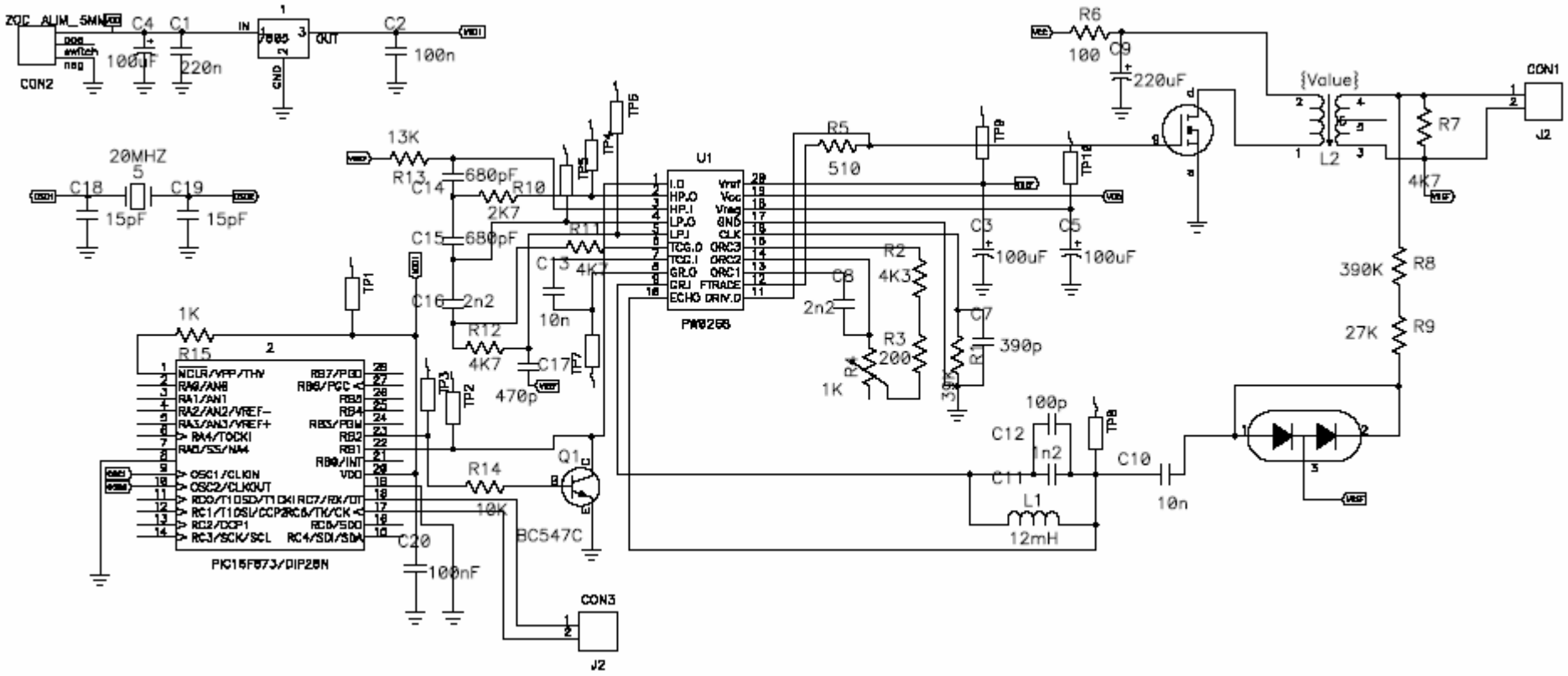
```
tpsB=MAKE8(contador,0);                    //me quedo con los 8
                                        primeros bits de contador
          tpsA=MAKE8(contador,1);                    //me quedo con los
                                                     siguientes 8 bits de
contador,                                                pero solo se
utiliza 1
          putc(0);
          putc(0);
          putc(0);
          putc('-');                          //bytes de sincronismo
          putc('-');                          ////////////////////////////////
          putc('-');                          //comienzo de inf
          putc(tpsB);                            //primer byte de inf
          putc('-');                          //sentencia para separar los bytes
          putc(tpsA);                            //segundo byte de inf
          putc('-');                          //fin inf
          set_rtcc(0);
          bandera=0;
          contador=0;
        }
        /*este if lo utilizo por si no hay pulso de retorno que espere un cierto
tiempo, que es un tiempo
          maximo para poder volver a hacer otra medida mas adelante*/
        if(contador>=BUCLE){
          disable_interrupts(INT_RTCC);
          set_rtcc(0);
          bandera=0;
          contador=0;
        }
```

Última versió del codi per al PIC16F73

```
/*****************************************************************************/
//Declaración del micro usado
#include <16F73.h>

//Configuración del micro
#use delay(clock=20000000,restart_wdt) //Configurac. de la velocidad del
reloj del micro
#fuses HS,NOWDT    //Tipo de reloj (HighSpeed, HS) y watchDog (WDT)
#use rs232(baud=2400,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)

//Declaración variables
int tpsB;                    //tpsA y tpsB las utilizaria si quiero enviar 2 bytes
para el tiempo
int tpsA;
int16 contador;              //contador se utiliza para averiguar el tiempo entre
los pulsos de Rx y Tx
int32 tiempo;                //tiempo controla la repeticion de las medidas
int bandera;                 //variable que utilizo para ayudarme con los if del
programa de ultrasonidos
int ultrasonido;             //variable que utilizo para activar el sensor de
ultrasonidos
int start;                   //start es la variable que hace que comience la toma
de medida
int pulsos;                  //variable de control para la repeticion de pulsos en
una medicion

int32 REPETICION;            //utilizo un int32 const porque no se si el
define tiene la capacidad suficienten

#define BUCLE 9766           //constante que sirve para dar el tiempo de
espera BUCLE=(tiempo espera/overflow(51,2us)
#define VECES 10             //constante que sirve para repetir el pulso
tantas veces en una medicion
```

```
#INT_TIMER1                    //Llamo a la funcion del timer 1
TIMER1_isr(){
  tiempo++;
  if(tiempo==REPETICION){
    tiempo=0;
    ultrasonidos=1;
    pulsos=VECES;
    enable_interrupts(INT_RTCC);
  }
}
#INT_RTCC                      //LLamo a la funcion del timer 0
RTCC_isr() {                   //interrupcion que se produce cada 51,2us que es
el timer que he dado
  if(contador==0){
      start=1;
      contador++;
      disable_interrupts(INT_RTCC);
  }
  contador++;
}

/*****************************************************************************/

void main() {

  disable_interrupts(INT_RTCC);          //deshabilito la interrupcion del timer
0
  enable_interrupts(INT_TIMER1);         //deshabilito la interrupcion del timer
1
  enable_interrupts(GLOBAL);             //habilito las interrupciones globlales

  //Config. de contador
  set_rtcc(0);
  setup_counters(RTCC_INTERNAL,WDT_2304MS);   //con esta declaracion
tengo un overflow del timer 0 de 51,2us
  setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_4);      //con esta declaracion
tengo un overflow del timer 1 de 52,4ms
  /*inicializo las variables*/

  REPETICION=1145;                       //1min   //constante que controla el
tiempo entre medida y medida
```

```
pulsos=VECES;
  contador=0;
  tiempo=0;
  bandera=0;
  ultrasonido=0;
  start=0;
  tpsA=0;
  tpsB=0;


  //Bucle del programa principal
  while(TRUE){
    if(ultrasonidos==1){
      while(pulsos>0){
        if(pulsos<VECES){
          enable_interrupts(INT_RTCC);
        }
        while(start==1){
          if(bandera==0){
          /*genero el pulso de inicio*/
            disable_interrupts(INT_RTCC);
            bandera=1;
            output_high(PIN_B2);
            delay_ms(1);
            output_low(PIN_B2);
            delay_ms(4);                    //retardo para controlar el pequeño
pulso que genera al principio
            set_rtcc(0);
            enable_interrupts(INT_RTCC);
            pulsos--;
          }
          if(bandera==1){
            if(input(PIN_B1)==0){
            /*averiguo el tiempo entre los pulsos de la medicion*/
              disable_interrupts(INT_RTCC);
              delay_ms(400);
              contador=contador+78;                    //añado 4 ms por el
tiempo del primer pulso
              tpsB=MAKE8(contador,0);                  //me quedo con los
8 primero bits del contador
```

```
tpsA=MAKE8(contador,1);                    //extraigo los siguiente 8 bits del
contador
                putc(0);
                putc(0);
                putc(0);
                putc('-');                          //byte para sincronismo de
receptor
                putc('-');                          //byte para sincronismo de
receptor
                putc('-');                        //comienzo de inf
                putc(tpsB);                         //primer byte de inf
                putc('-');                          //sentencia para separar los
bytes
                putc(tpsA);                           //segundo byte de inf//en
este byte solo se utilizara el primer bit
                putc('-');                        //fin de inf
                delay_ms(1000);                       /*agrego este delay para
que el ruido generado por el
                                                pulso iniciador no afecte a la
transmision*/
                set_rtcc(0);
                /*reinicializo las varibles para volver a comerzar la proxima vez
en otra medida*/
                bandera=0;
                contador=0;
                if(pulsos==0){                              //con este if salto al
siguiente sensor
                  ultrasonido=1;
                }
                start=0;
              }
              /*este if lo utilizo por si no hay pulso de retorno que espere un
cierto tiempo, que es un tiempo
              maximo para poder volver a hacer otra medida mas adelante*/
              if(contador>=BUCLE){
                disable_interrupts(INT_RTCC);
                set_rtcc(0);
                bandera=0;
                contador=0;
                if(pulsos==0){                              //con este if salto al
siguiente sensor
                  ultrasonido=1;
                }
                start=0;
              }
            }
          }//while start
        }//while pulsos
      }//if ultrasonidos
```

Esquemàtic de la placa PCB d'ultrasons