Escola Politècnica Superior
de Castelldefels
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

Sistema Aviònic de posicionament vertical per a un UAV

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTOR: Jaume Español Romea

DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

DATA: 27 de juliol de 2007

Títol: Sistema Aviònic de posicionament vertical per a un UAV

Autor: Jaume Español Romea

Director: Oscar Casas Piedrafita

Data: 27 de juliol de 2007

Resum

En aquest document s'explica com s'ha dissenyat i construït un altímetre de baixa alçada que funciona amb ultrasons. Es tracta d'un altímetre dissenyat per a un UAV *(Unmanaged Air Vehicle)* que pretén proporcionar dades precises d'altitud per permetre realitzar maniobres d'aterratge i enlairament de manera automàtica.

Title: Avionic vertical positioning system for an UAV

Author: Jaume Español Romea

Director: Oscar Casas Piedrafita

Date: July, 27th 2007

Overview

This document explains how a low altitude altimeter that uses ultrasounds has been designed and constructed. It is an altimeter designed for an UAV *(Unmanaged Air Vehicle)* with objective is to provide accurate data of altitude to permit that an UAV will be able to execute take off and landing manoeuvres automatically.

A la Sandra,
Per haver-nos conegut.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ **1**

CAPÍTOL 1. CONSIDERACIONS INICIALS **2**

1.1. Objectiu **2**

1.2. Especificacions funcionals **2**

1.3. Alternatives de disseny **2**
1.3.1. Altímetre baromètric 2
1.3.2. Radar 3
1.3.3. GPS 4
1.3.4. Infrarojos 4
1.3.5. Ultrasons 4

1.4. Elecció del dispositiu **4**

CAPÍTOL 2. DISSENY DEL SISTEMA DE MESURA PER ULTRASONS **6**

2.1. Sistema hardware **6**

2.2. Sistema Software **8**
2.2.1. Disseny digital 8
2.2.2. Disseny analògic 9
2.2.3. Programa principal 13

CAPÍTOL 3. DISSENY DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓ **16**

3.1. Protocol de comunicació **16**

3.2. Emissor **17**

3.3. Receptor **20**

3.4. El programa de recepció **21**
3.4.1. Sincronització de les dades 21
3.4.2. Conversió de hexadecimal a decimal 21
3.4.3. Filtrat d'errors 22
3.4.4. Correcció per temperatura 22
3.4.5. Representació de les dades 23

CAPÍTOL 4. RESULTATS EXPERIMENTALS **24**

4.1. Calibració **24**

4.2. Proves estàtiques **25**
4.2.1. Mesures a 50 cm: 26
4.2.2. Mesures a 100 cm 27
4.2.3. Mesures a 200 cm 28
4.2.4. Mesures a 300 cm 29
4.2.5. Mesures a 400 cm 30
4.2.6. Mesures a 450 cm 31
4.2.7. Mesures a 500 cm 32
4.2.8. Mesures a 550 cm 33
4.2.9. Resum de les proves estàtiques 34

4.3. Proves dinàmiques **35**
4.3.1. Pendents negatives (baixades) 42
4.3.2. Pendents positives (pujades) 49
4.3.3. Resum de les proves dinàmiques 55

CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS 57

5.1. Perspectives de futur 57
5.1.1. Abast màxim 57
5.1.2. Comunicacions 57
5.1.3. Sistema hardware 57

5.2. Comparació amb les consideracions inicials 58

5.3. Avaluació dels resultats obtinguts 58

BIBLIOGRAFIA 59

ANNEXOS 61

ANNEX 1: PROGRAMA PRINCIPAL DEL PSOC EN C 62

ANNEX 2: TAULA DE VALORS DE LA CALIBRACIÓ 65

ANNEX 3: TAULA DE VALORS DELS RESULTATS ESTÀTICS 67

ANNEX 4: GRÀFIQUES COMPLETES DE LES PROVES DINÀMIQUES 73

A4.1. Llançament 1 30/5 73
A4.2. Llançament 2 30/5 73
A4.3. Llançament 1 30/5 74
A4.4. Llançament 1 6/6 74
A4.5. Llançament 2 6/6 75
A4.6. Llançament 3 6/6 75
A4.7. Llançament 4 6/6 76
A4.8. Llançament 5 6/6 76
A4.9. Llançament 6 6/6 77
A4.10. Llançament 7 6/6 77
A4.11. Llançament 8 6/6 78
A4.12. Llançament 9 6/6 78

ANNEX 5: CD DE DOCUMENTACIÓ 79

A5.1. Bibliografia 79
A5.2. Codi de desenvolupament 79
A5.3. Codi de definitiu 79
A5.4. Proves estàtiques 79
A5.5. Proves dinàmiques 79
A5.6. Fotografíes i vídeos del treball 80

INTRODUCCIÓ

En aquest treball s'explicarà com s'ha dissenyat i construït un altímetre de baixa altitud per a un UAV *(Unmanaged Air Vehicle).* Els UAV son aparells voladors en els que no intervenen pilots. Disposen de multitud de sensors que proporcionen totes les dades necessàries a un sistema de control. El sistema de control valora les dades proporcionades i actua sobre les superfícies de control i els motors per mantenir l'aeronau en el pla de vol introduït prèviament o durant el vol.

La manca de pilot fa que els UAV no tinguin marge per a la improvisació. Per tant tots els sensors han de proporcionar les dades d'una manera fiable i precisa.

Una de les maniobres més difícils d'executar per un UAV és l'aterratge. En els últims instants del vol, l'aeronau es mou a molt baixa alçada i si es vol que aquest procés sigui totalment automàtic cal un altímetre que proporcioni dades fiables de la posició vertical respecte el terra.

S'han considerat diverses alternatives i finalment s'ha decidit implementar un altímetre basat en ultrasons. No s'han trobat referències de que això s'hagi dut mai a terme, de manera que aquest treball vol ser un primer intent per demostrar que és possible utilitzar la altimetria ultrasònica en un UAV.

En el primer capítol es presenten les alternatives proposades i les raons per les quals s'ha escollit un altímetre ultrasònic.

En el segon capítol s'explica les diferents fases del disseny i la construcció del dispositiu.

En el tercer capítol s'introdueix la necessitat de dotar l'altímetre amb un sistema de comunicació sense fils per poder fer experiments.

En el quart capítol es mostren els resultats experimentals obtinguts, que serviran per determinar si un dispositiu d'aquest tipus pot ser utilitzat en un UAV.

Finalment el cinquè i últim capítol dona les conclusions de tot el treball. En ell s'exposen les possibles millores que es podrien incorporar i una conclusió sobre la possible utilització de l'altimetria ultrasònica aplicada als UAV.

CAPÍTOL 1. CONSIDERACIONS INICIALS

1.1. Objectiu

L'objectiu del treball és dissenyar i construir un altímetre per facilitar les maniobres d'enlairament i d'aterratge d'un UAV *(Unmanaged Air Vehicle)*.

Les maniobres d'enlairament i aterratge son crítiques per la proximitat al terra. Si volem que un UAV pugui fer-les automàticament cal dotar-lo d'un sistema de posicionament vertical precís que faciliti les dades al sistema de control.

1.2. Especificacions funcionals

Considerarem que la fase crítica d'aterratge i enlairament per un UAV es troba per sota dels 10 metres fins als 10 centímetres. En aquest marge l'altímetre ha de proporcionar dades de posició almenys una vegada per segon amb un marge màxim de 5 cm de precisió per assegurar que la maniobra sigui totalment segura.

El dispositiu haurà de ser autònom, el més simple possible i amb un pes i un consum mínims ja que haurà d'anar embarcat en aeronaus de petites dimensions. La velocitat de mostreig haurà de ser com a mínim de 1 Hz.

1.3. Alternatives de disseny

Per complir les especificacions desitjades podem optar per diversos dispositius. Tots ells tenen alguns avantatges i inconvenients que s'exposen a continuació.

1.3.1. Altímetre baromètric

Podríem calcular l'alçada mesurant el gradient de pressió entre el terra i el nostre altímetre. Segons la ISA (*International Standard Atmosphere*) la variació de pressió en funció de l'alçada ve donada per la següent expressió:

$$P_z = P_0 \cdot \left(\frac{T_0+\lambda \cdot z}{T_0}\right)^{\frac{g}{R \cdot \lambda}} \qquad \textbf{(1.1)}$$

On:

P_z = Pressió a una alçada z [m]

P_0 = Pressió de referència (en aquest cas la pressió a la pista d'aterratge) [Pa]
T_0 = Temperatura de referència [K]
λ = Gradient Tèrmic (-6,65·10^-3 K/m)
z = Alçada
R = Constant
g = Gravetat (la considerem constant) de 9,8 $^{m}/_{s^2}$

Considerant que volem un altímetre amb una precisió de 5 cm obtenim que el gradient de pressió entre 0 i 5cm és de 0.60 Pa:

$$\Delta P(0\ cm, 5\ cm) = P(0\ cm) - P(5\ cm) = 0{,}60\ Pa \quad \textbf{(1.2)}$$

El Marge dinàmic entre 0 i 5 metres serà de 60Pa:

$$\Delta P(0\ m, 5\ m) = P(0\ m) - P(5\ m) = 60\ Pa \quad \textbf{(1.3)}$$

Seria possible dissenyar un dispositiu que tingués aquesta precisió. Però un canvi de 0.60Pa podria estar provocat per d'altres motius a més d'una variació en alçada. Un canvi en la temperatura o la meteorologia podria afegir un error considerable.

La única opció fiable seria transmetre la pressió de referència de la pista a l'altímetre durant l'aterratge i l'enlairament.

Per tant ens trobem davant d'un sistema que requeriria una calibració constant per part d'un equip situat a terra. Això comporta riscos com una fallada en les comunicacions que repercutiria en una pèrdua de precisió.

1.3.2. Radar

Normalment tots els avions comercials disposen d'un radioaltímetre que calcula la distància fins al terra a partir de 3000 metres. Tenen un precisió de un metre a uns 100 metres d'alçada.

Bàsicament es tracta d'un radar orientat al terra que mesura la distancia emetent un pols i calculant el retràs del senyal.

Per un UAV no necessitem un abast tan gran però si que seria convenient una precisió més elevada, uns 5 cm. Per tal d'aconseguir-ho caldria que la freqüència de rellotge fos de al menys 6 GHz.

El principal inconvenient a l'hora de muntar un dispositiu d'aquestes característiques és l'elevat preu dels components d'alta freqüència i la elevada miniaturització que requeriria el sistema.

Per tant es descarta la utilització d'un radioaltímetre pel cost elevat i la dificultat d'implementació en un laboratori de baixa freqüència.

1.3.3. GPS

És evident que un UAV hauria d'anar equipat amb un receptor GPS ja que proporciona dades de la posició en els tres eixos. El problema principal d'utilitzar un GPS per fer un aterratge és la poca precisió en l'eix vertical de aproximadament 5 metres en els receptor comercials.

Com que no disposem de receptors militars molt més fiables, podem descartar la utilització del GPS a baixes alçades.

1.3.4. Infrarojos

Existeix una amplia gama de dispositius de mesura de distàncies per infrarojos. Normalment donen una tensió en funció de la distància. Sharp té un catàleg amb dispositius que poden mesurar de 4 a 30 cm fins a dispositius capaços de mesurar de 1 m a 5 m.

El problema principal a l'hora d'utilitzar un sistema d'infrarojos és el coeficient de reflexió de les superfícies. La superfície ideal seria de color blanc i la pitjor de color negre. També es veuen afectats per la llum del sol que conté tot l'espectre visible i que per tan pot distorsionar o anular les mesures. Normalment les pistes d'aterratge poden ser negres (asfalt), marrons (terra) o bé verdes (gespa) i sempre estan a l'exterior sota la llum solar.

Així dons es descarta la utilització d'un sistema d'infrarojos degut als problemes que podrien causar la llum solar i les diferents superfícies on podria aterrar un UAV.

1.3.5. Ultrasons

Un altímetre basat en ultrasons determina l'alçada en funció dels temps que transcorre entre l'emissió d'un pols ultrasònic i la seva recepció. La principal limitació d'un sistema de mesura ultrasònic és l'abast màxim que pot arribar a ser de 15 m. Com a avantatges cal destacar que és un mètode amb una implementació senzilla i amb un cost molt reduït. No es tenen referències sobre la utilització d'un sistema de mesura basat en ultrasons aplicat a un UAV.

1.4. Elecció del dispositiu

Finalment la tècnica de mesura escollida és un sistema per ultrasons que transmetrà les dades a un ordinador sense fils. En principi un sistema d'ultrasons pot mesurar distancies fins a 15 metres amb un precisió per sota dels 5 cm. Un cop estigui dissenyat el dispositiu, es faran diverses proves per

determinar si el sistema és capaç d'efectuar les mesures de forma estàtica i posteriorment en moviment.

CAPÍTOL 2. DISSENY DEL SISTEMA DE MESURA PER ULTRASONS

En aquest capítol es presentarà el disseny del sistema de mesura basat en ultrasons. S'explicaran les diferents fases del disseny i cadascun dels blocs fonamentals.

2.1. Sistema hardware

L'element principal del sistema de mesura es un PSoC CY8C29466 de Cypres. S'ha escollit un PSoC *(Programable System on Chip)* perquè permet incloure en un sol circuit el condicionament analògic i el processat digital del senyal. D'aquesta manera evitem el consum i el pes d'altres dispositius com amplificadors, resistències i condensadors que serien imprescindibles en microcontroladors convencionals.

Gracies al PSOC el condicionament del senyal per hardware només requereix una resistència de 100 kΩ a l'entrada del receptor d'ultrasons per obtenir un offset de 2,5 V.

Els sensors d'ultrasons es van seleccionar en base a l'estoc disponible al laboratori, per determinar quin dels parells era més sensible es va injectar un senyal de 40 kHz a cadascun dels emissors. Amb un receptor, connectat a un oscil·loscopi, situat a un metre es va determinar que el parell més sensible era el parell format per un CUT 21 i un CUR 21 de onda radio.

Així doncs el nostre sistema de mesura tindrà els següents components que es poden veure a la figura **(Fig. 2.1)**

- 1 Placa d'avaluació PSoC
- 1 Pantalla LCD
- 1 PSOC CY8C29466
- 1 Resistència de 100kΩ
- 1 Emissor d'ultrasons CUT21
- 1 Receptor d'ultrasons CUR21

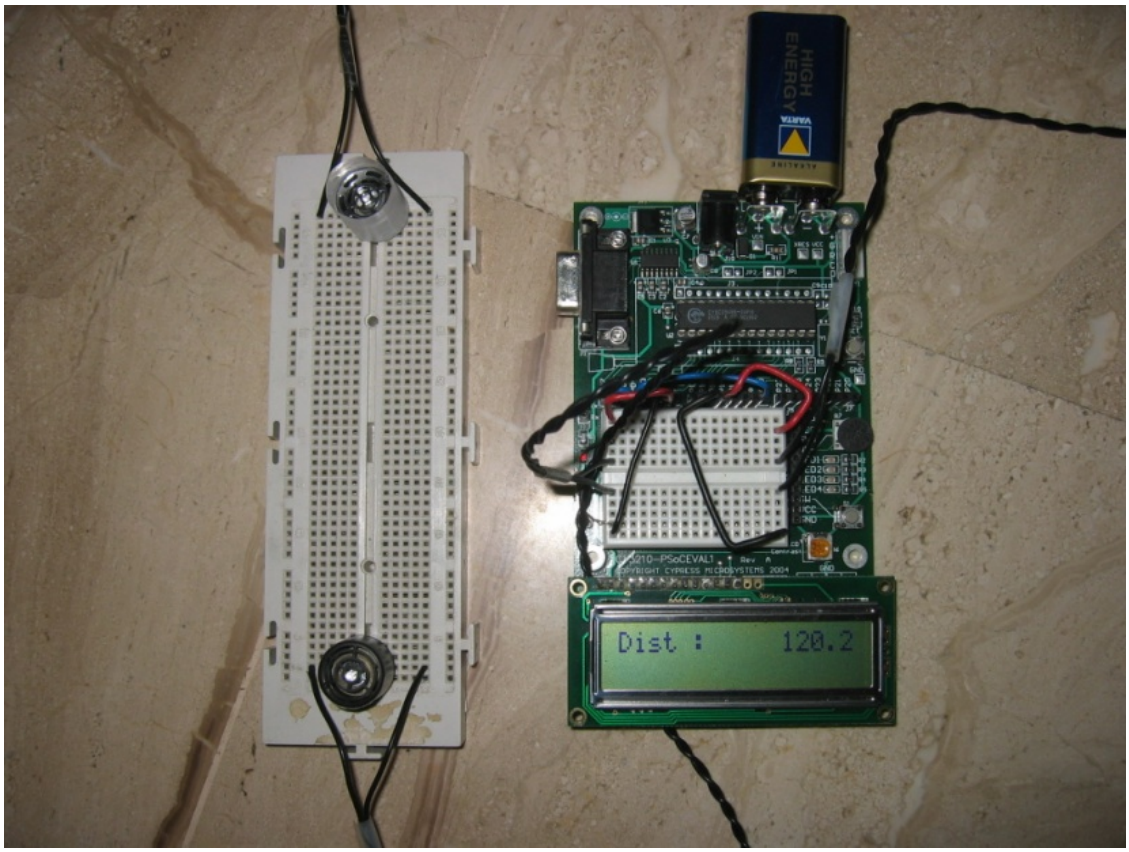


Fig. 2.1 Fotografia de l'altímetre

La configuració de connexions externes del PSoC es mostra a la figura **(Fig. 2.2).** Tot i que la majoria de les connexions entre els blocs del PSoC s'han fet per software ha estat impossible fer les dues marcades en blau. Això no afecta a la simplicitat del hardware com es pot observar a l'esquema.

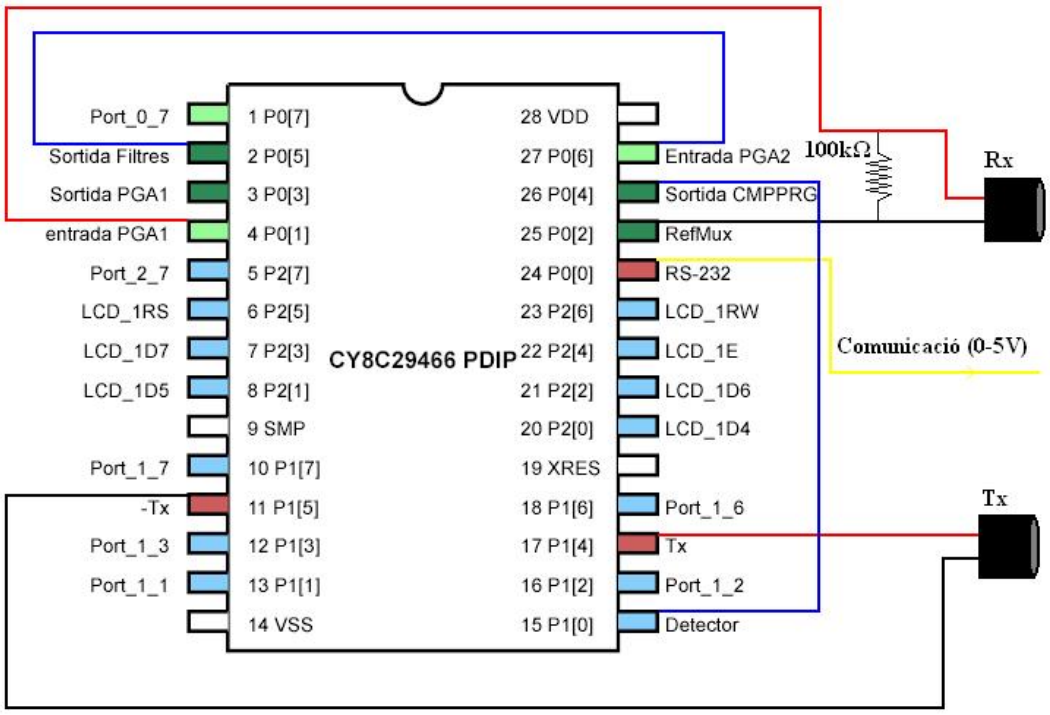


Fig. 2.2 Esquema de les connexions del PSoC

2.2. Sistema Software

Com que tant la part analògica com la digital van controlades pel PSoC, el software és la part més important del sistema. Explicarem aquesta secció en tres parts, primer la part digital seguidament la analògica i finalment la unió en el programa principal.

2.2.1. Disseny digital

És la part encarregada de generar el polsos a 40kHz i comptar el temps fins a rebre el rebot.

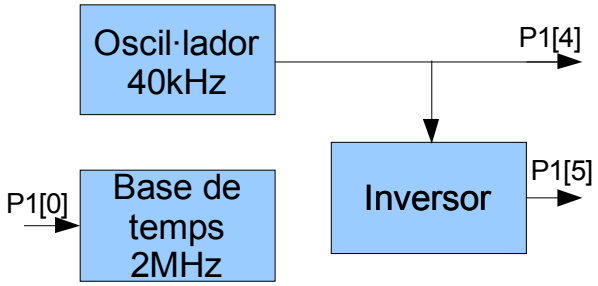


Fig. 2.3 Diagrama de blocs de la part emissora, controlada digitalment, de l'altímetre

Un oscil·lador emet 20 polsos a 40 kHz directament a l'emissor d'ultrasons. Per tal d'augmentar la potència d'emissió, un inversor envia una rèplica invertida a la referència de l'emissor d'ultrasons **(Fig. 2.3)**. D'aquesta manera aconseguim un senyal de 10 V d'amplitud com mostra el gràfic següent **(Fig. 2.4)**.

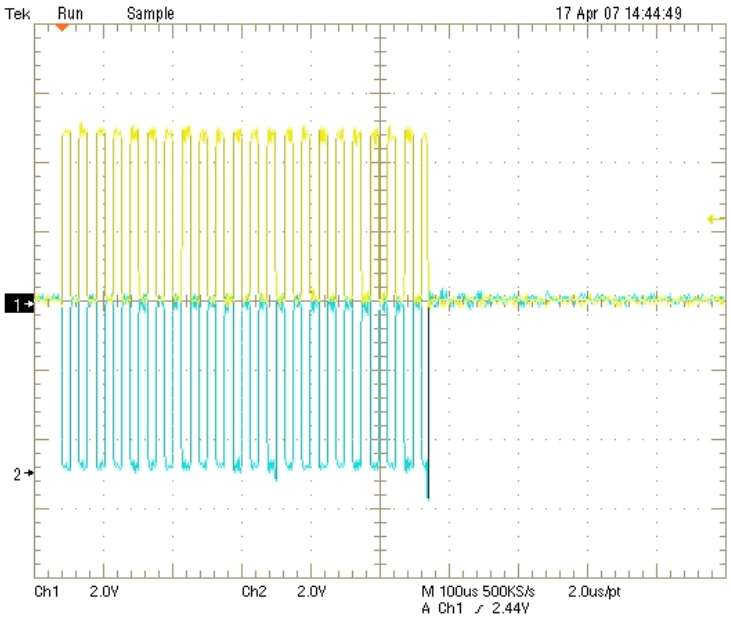


Fig. 2.4 Captura amb oscil·loscopi dels polsos emesos

Un cop s'han emès els polsos la base de temps es posa en marxa sumant un cicle a cada interrupció fins que el pin 1[0] rep el rebot. El temps es calcula en cicles que equivalen a 22 us.

Un cop calculat el temps, la distància es mostra en una pantalla LCD i s'envia en forma de 4 bytes hexadecimals més un byte de separació pel pin 1[6].

2.2.2. Disseny analògic

La part analògica del PSOC s'encarrega de condicionar el senyal per què la part digital pugui detectar-lo.

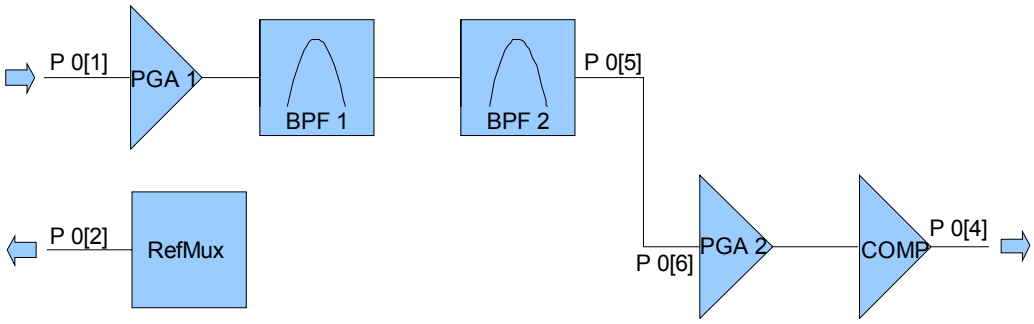


Fig. 2.5 Diagrama de blocs del disseny analògic encarregat del condicionament del senyal d'entrada

En primer lloc RefMux dona 2,5 V de offset al receptor que està connectat en paral·lel a una resistència de 100 kΩ. Això permet que el sistema sigui més sensible ja que el PSOC només detecta senyals entre 0 i 5 V **(Fig. 2.5)**.

El rebot entra per P0[1] i és amplificat per la PGA 1 amb un guany de 48.
BPF 1 i BPF 2 formen un filtre de quart grau per filtrar el senyal amb un ample de banda de 2 kHz. A la sortida 0[5] tindrem el senyal següent **(Fig. 2.6)** per una distancia de 1,5 metres.

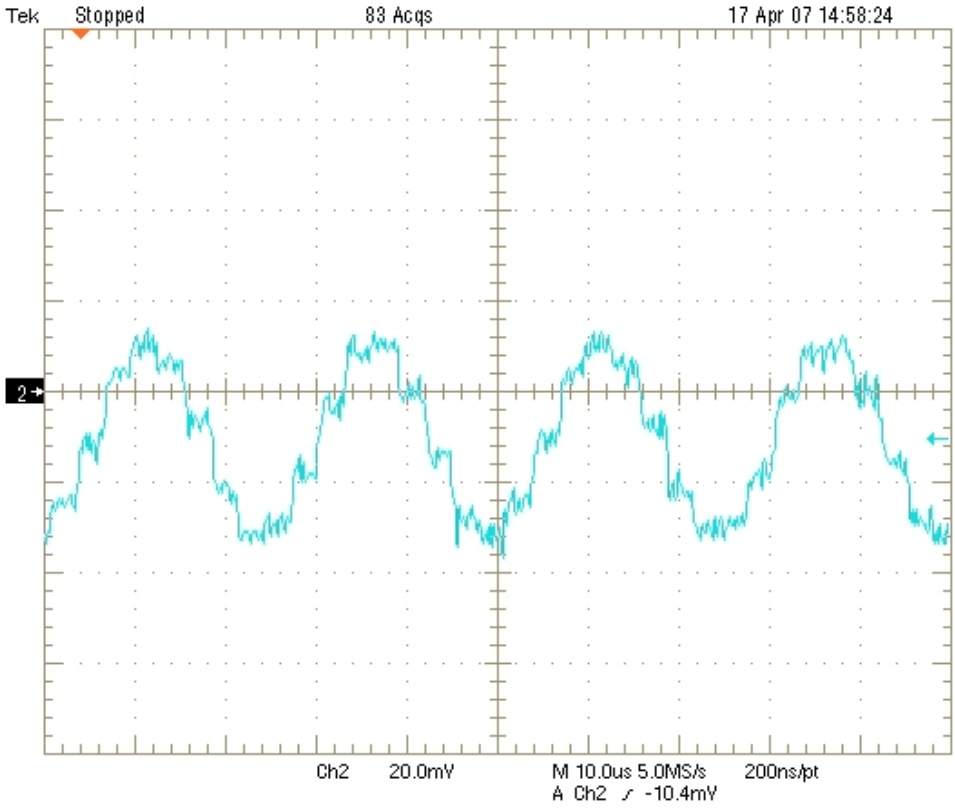


Fig. 2.6 Captura amb oscil·loscopi al la sortida del pin 0[5]

El pin P0[5] es connecta al P0[6] per tornar a amplificar el senyal amb un guany de 48.

A la sortida de PGA 2 tindrem una ona sinusoïdal centrada a 2,5 V amb 5 V de pic a pic. Com que el pin de detecció 1[0] només entén si li entren 0 V o 5 V, el comparador final COMP **(Fig. 2.5)** donarà un 0 o un 1 si el senyal rebut supera els 2,5 V.

Així per una distància de 1,5 metres obtenim el senyal següent **(Fig.2.7)**. Com es veu a la figura té una forma optima perquè el microcontrolador la reconegui i pugui mesurar el retràs.

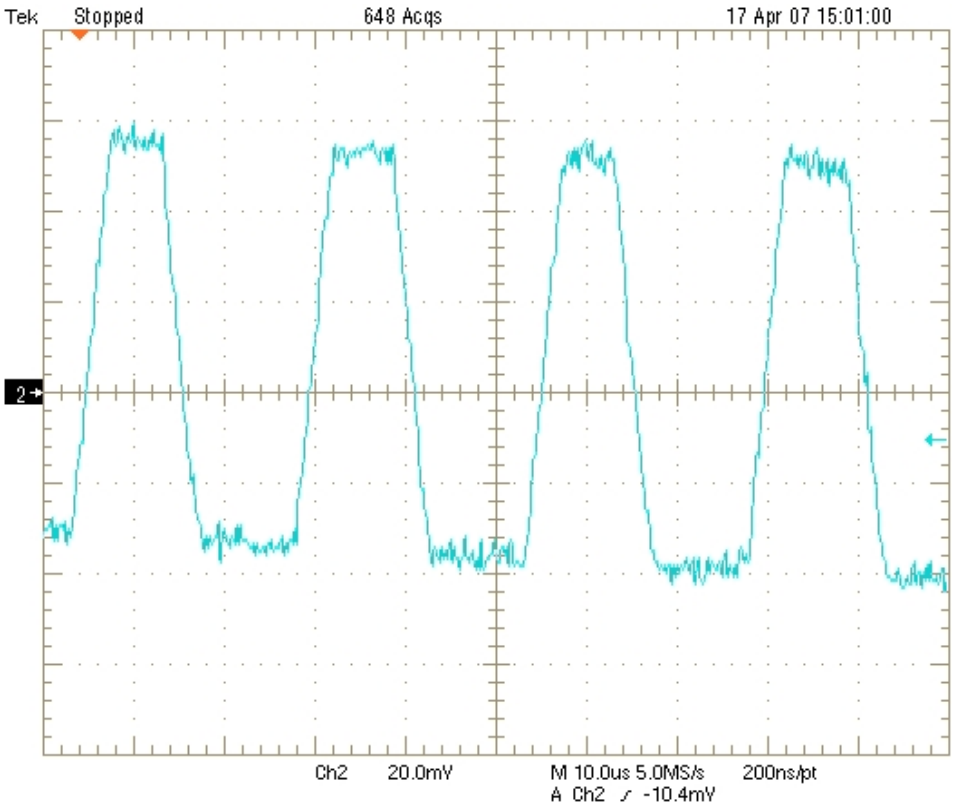


Fig. 2.7 Captura amb oscil·loscopi a la sortida del pin 0[4] per un rebot a 1,5 m

Per 4 metres la forma del senyal també és òptima com es pot veure en la figura següent **(Fig. 2.8)**.

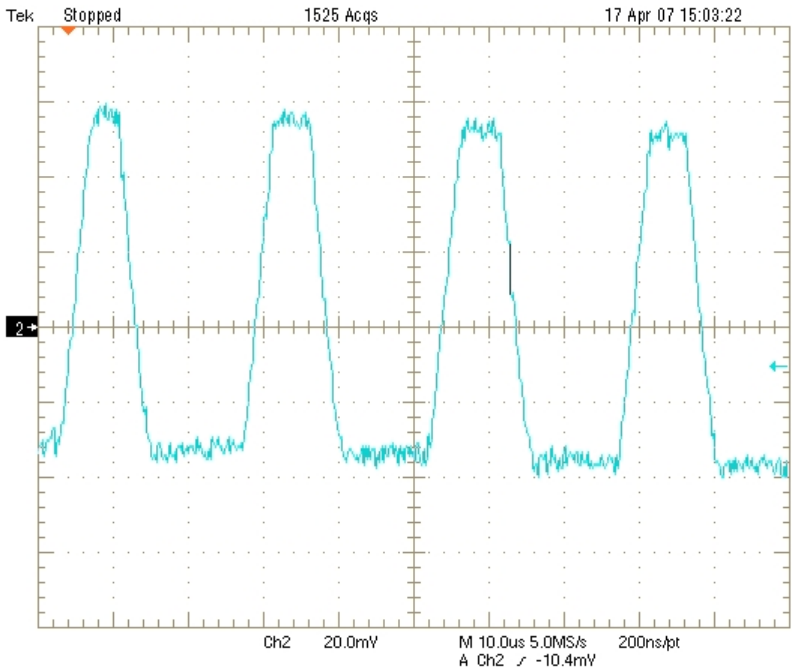


Fig. 2.8 Captura amb oscil·loscopi del senyal rebut després de un rebot a 4 m

Finalment veiem com el senyal es torna crític per un rebot a 5,5 metres. A la figura s'aprecia com el senyal és més triangular que en les captures anteriors. També s'ha de tenir en compte que va ser molt difícil de capturar i per tant això afegeix inestabilitat al sistema.

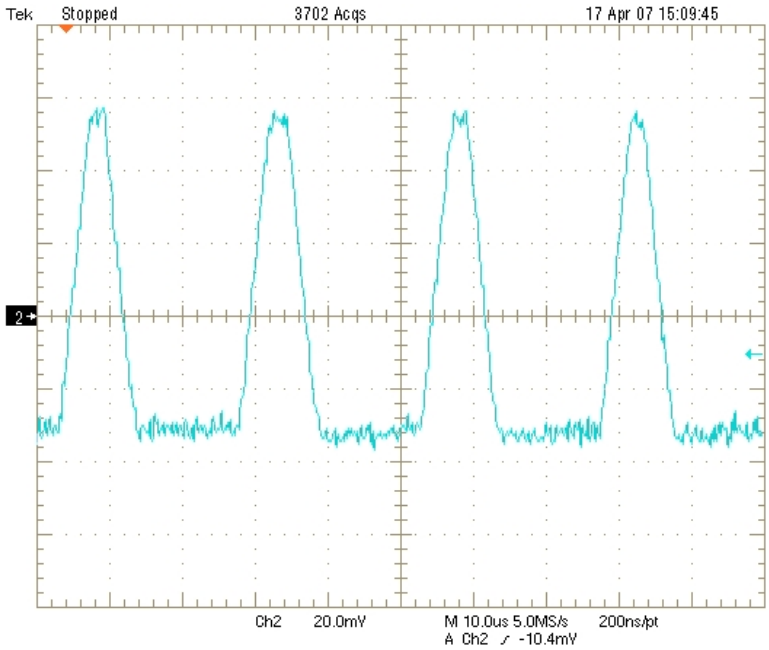


Fig. 2.9 Captura amb oscil·loscopi del senyal rebut després d'un rebot a 5,5 m

2.2.3. Programa principal

El programa principal combina el disseny analògic i el disseny digital **(Fig. 2.10)**. Primerament s'inicien tots els blocs analògics així com la pantalla LCD i el protocol de comunicacions. A continuació s'activen i desactiven els blocs digitals necessaris i finalment es mostren els resultats per LCD i s'envien digitalment.

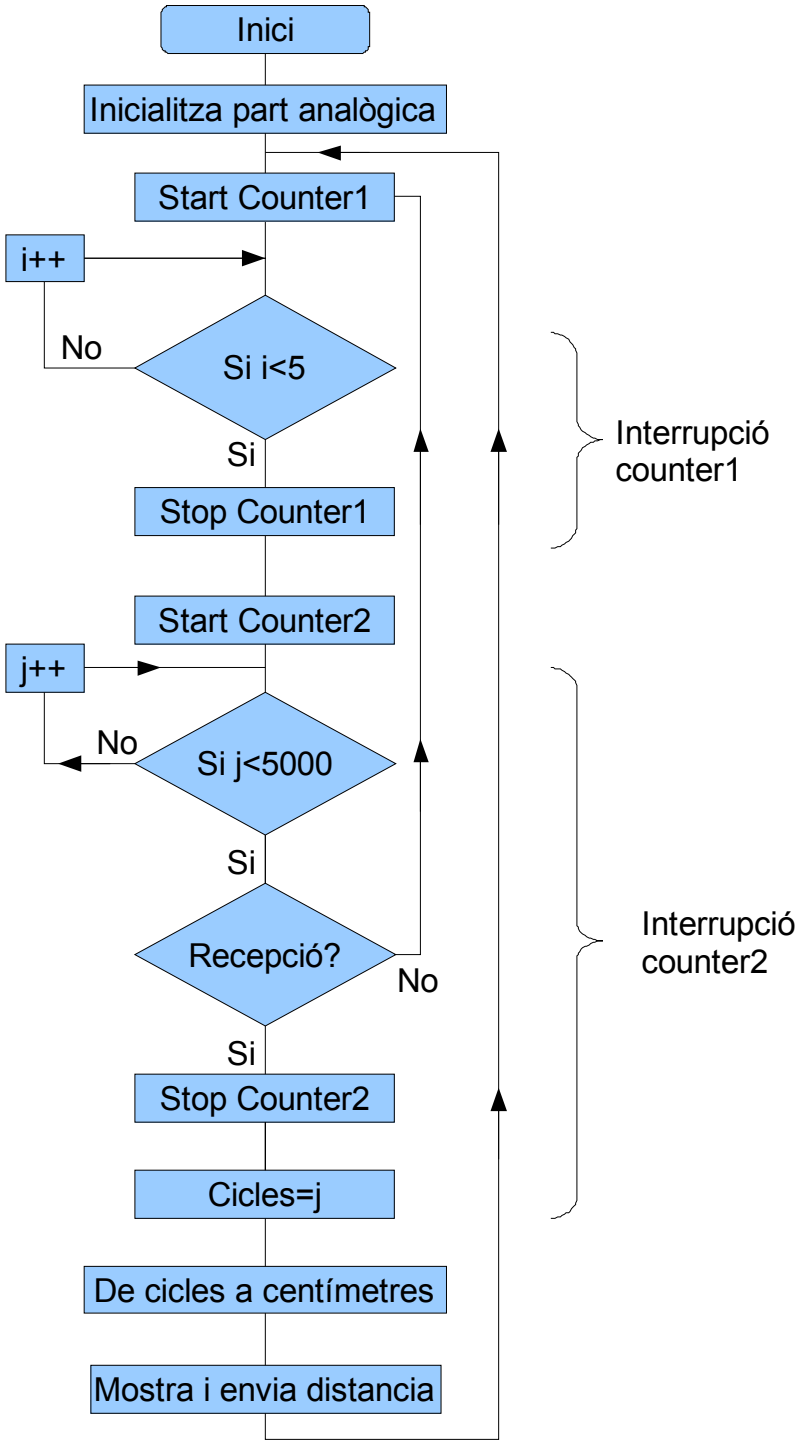


Fig. 2.10 Diagrama de flux del programa principal.

L'esquema següent **(Fig. 2.11)** ens mostra els mòduls i les connexions internes que s'han utilitzat al PSoC.

El programa de disseny *(Device Editor)* representa primerament els 16 blocs digitals disponibles. En aquests blocs es poden configurar elements com comptadors, temporitzadors, UART's o inversors digitals. A continuació hi ha 12 blocs analògics en els quals es poden configurar elements com amplificadors, filtres o multiplexors de referència. Tots els dispositius es poden connectar entre si, tot i que hi ha certes limitacions que es poden solucionar mitjançant connexions físiques entre pins. Per activar i utilitzar cadascun dels mòduls, s'utilitza l'*aplication editor,* en el qual s'escriu un codi en C, que es pot veure a l'annex 1.

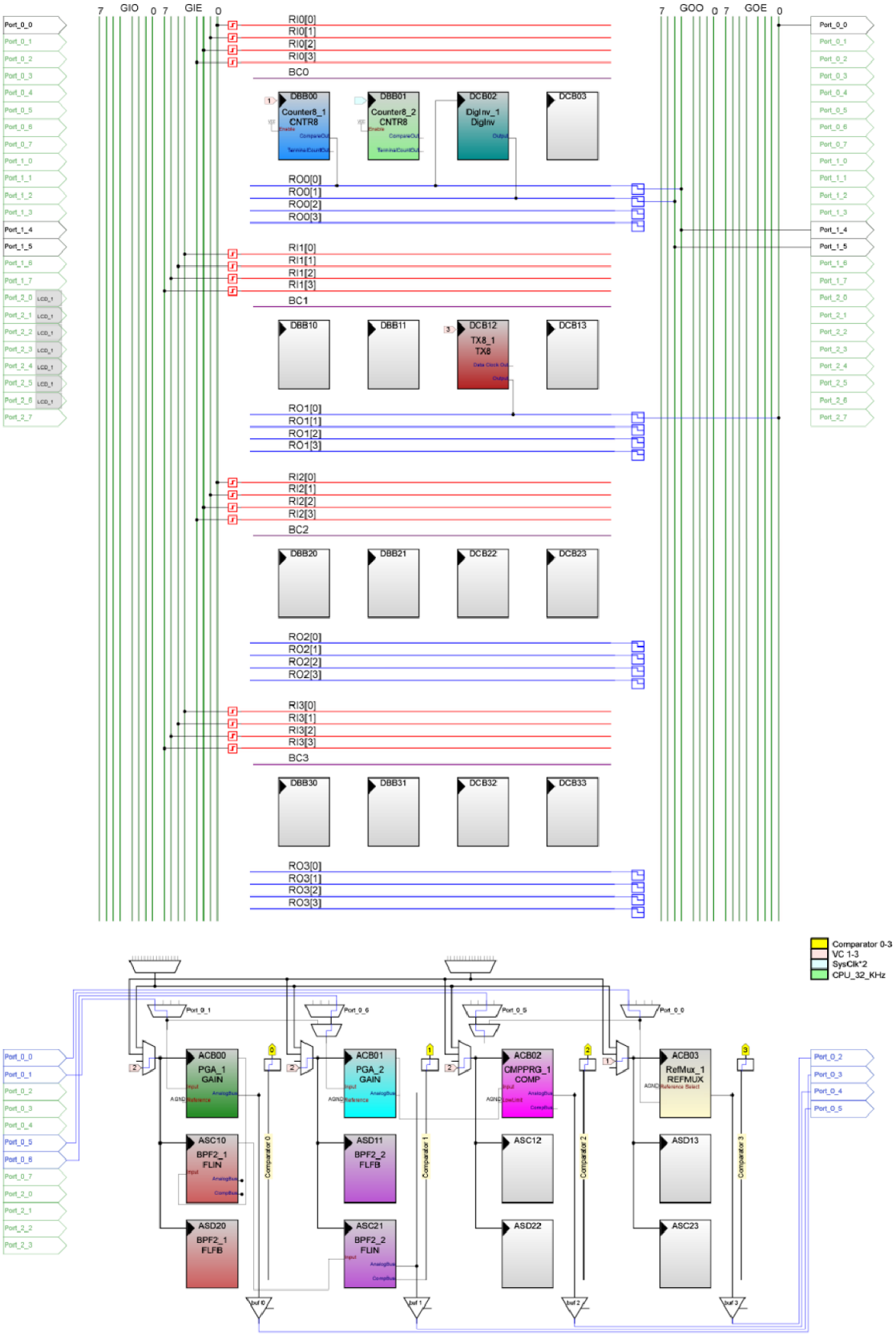


Fig. 2.11 Captura del *Device Editor* que mostra els blocs digitals i analògics amb les seves respectives connexions.

CAPÍTOL 3. DISSENY DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓ

Per comprovar el funcionament del sistema de mesura per ultrasons se l'ha dotat d'un sistema de comunicació via radio. Això permet transmetre les dades d'altitud des de l'aparell de proves fins a un ordinador, per estudiar-les amb deteniment.

Dividirem el sistema de comunicació en quatre parts el protocol de comunicació, l'emissor, el receptor, i finalment un programa per interpretar les dades.

3.1. Protocol de comunicació

Dins del PSoC s'ha creat un mòdul de comunicacions TX8_1 de 8 bits que s'ha configurat a 1,2 kHz sense control d'errors.

El diagrama de flux següent mostra els passos que es fan per transmetre una mesura **(Fig. 3.1)**.

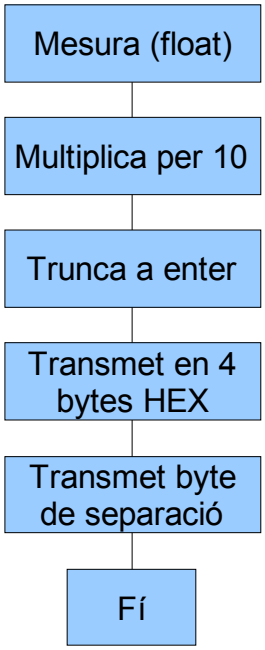


Fig. 3.1 Diagrama de flux del protocol de transmissió

La raó per la qual es multiplica per 10 abans de transmetre és aconseguir enviar d'una manera senzilla el primer decimal de les mesures. Posteriorment el programa de recepció dividirà per 10 per obtenir la mesura inicial.

3.2. Emissor

L'emissor és un Cebek SAW C-0503 per a dades. Transmet a 433,92 MHz i és molt fàcil d'implementar. El diagrama de connexions proposat pel fabricant és el següent:

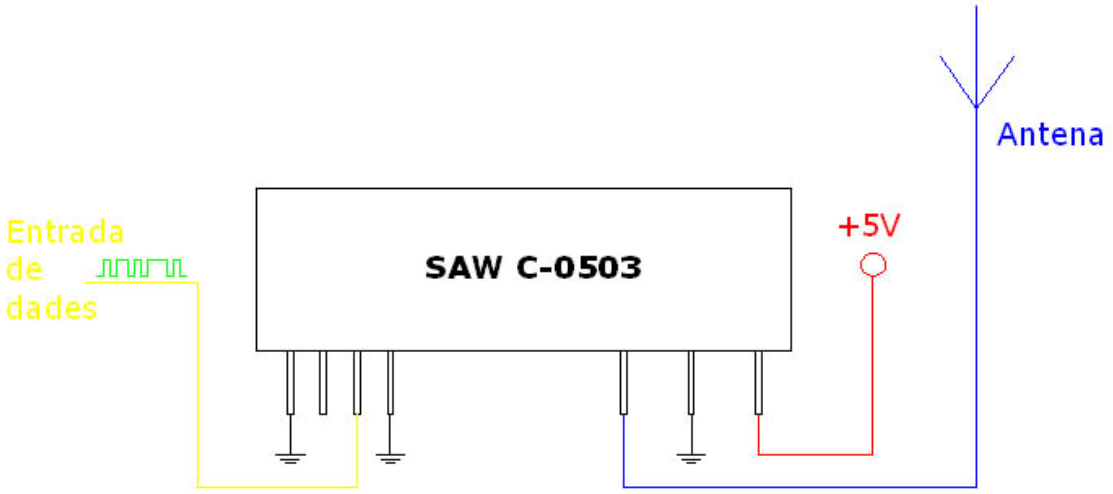


Fig3.3 Esquema de connexions proporcionat pel fabricant

Inesperadament el transmissor no funcionava bé amb aquesta configuració. La causa del problema era la següent:

El dispositiu d'ultrasons fa aproximadament 5 mesures per segon. Cada cop que finalitza una mesura envia les dades en forma d'enter hexadecimal codificat en 4 bytes mes 1 byte que indica el final del número. El problema residia en que durant el temps de mesura la línia de dades es manté constant a 5 V i el transmissor només n'emetia els primers 40 ms per després tornar a 0. Quan s'enviava el següent paquet faltava un tros del primer byte de manera que el paquet resultava erroni

.

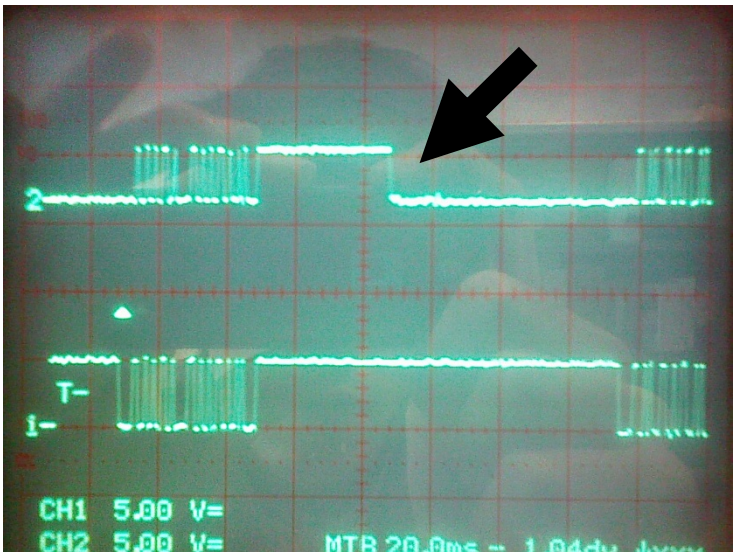


Fig. 3.4 Fotografia del senyal representat per l'oscil·loscopi de l'error provocat per l'emissor.

A la fotografia **(Fig. 3.4)** es veu, en el canal 1, el senyal directe del dispositiu de mesura. En el canal 2 es veu com a l'emissor baixa de 5 V a 0 V quant han passat 40 ms donant lloc a l'error.

Un cop trobat el problema, la solució va resultar senzilla. Simplement es va incloure un inversor just abans de l'entrada de dades de l'emissor i un inversor a la sortida de dades del receptor. D'aquesta manera s'aconsegueix que durant el temps de mesura l'entrada de dades es mantingui a 0 V. L'esquema definitiu de connexions és el següent **(Fig. 3.5)**.

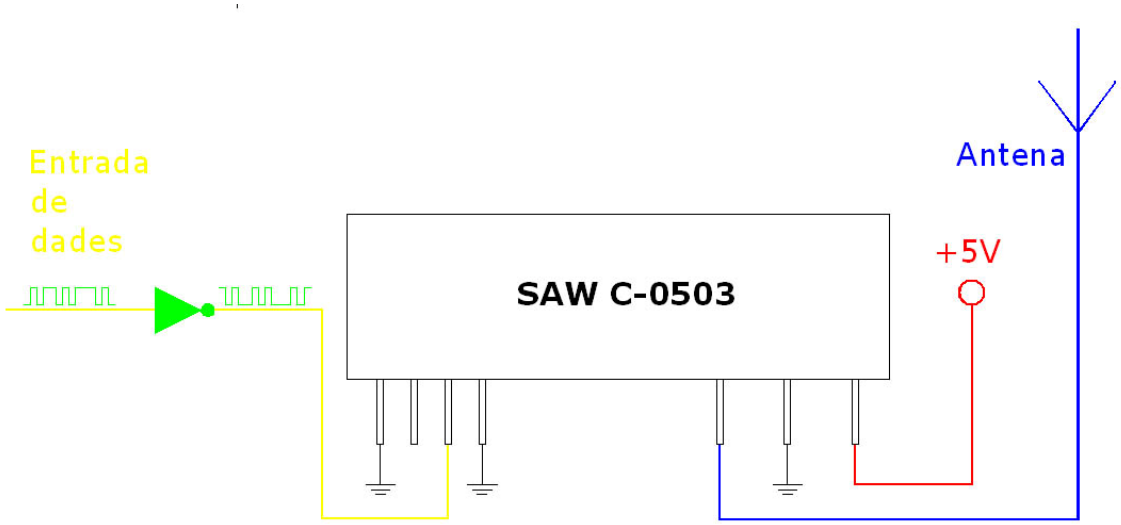


Fig. 3.5 Esquema de connexions del emissor implementat

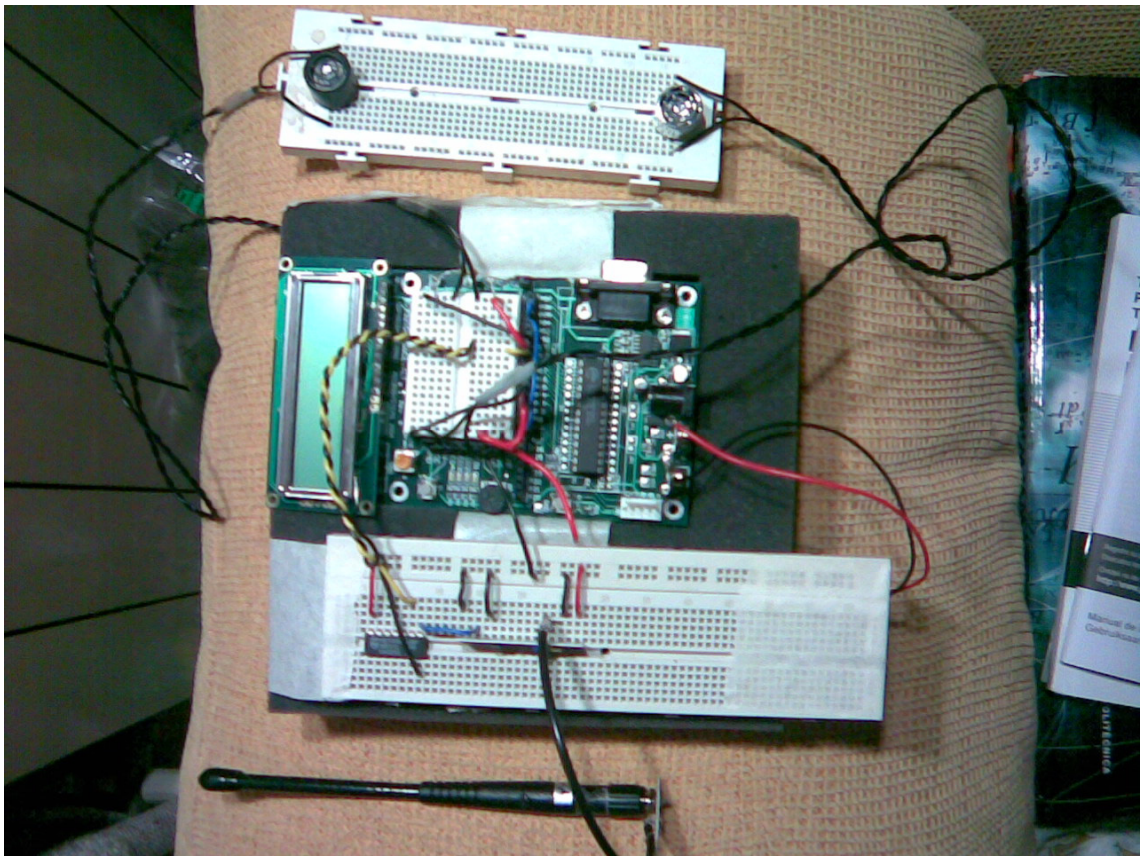


Fig. 3.6 Fotografia de l'altímetre unit a l'emissor

3.3. Receptor

El receptor és un CEBEK SAW C-0504 que rep a 433,92 MHz. La implementació és senzilla però hem de tenir en comte el problema esmentat anteriorment. Com que hem transmès les dades invertides, caldrà que tornem a invertir el senyal a la sortida del receptor. L'esquema de les connexions definitiu és el següent (**Fig. 3.7)**.

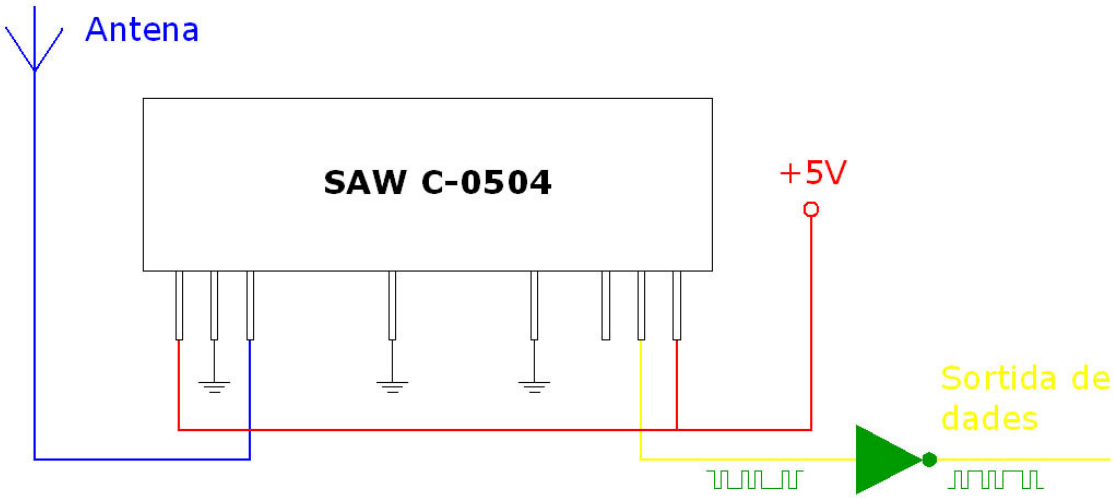


Fig. 3.7 Esquema de connexions implementat

Com que la sortida de dades ve donada entre 0 V i 5 V, cal connectar-la a un conversor a protocol RS-232. D'aquesta manera ja tenim un sistema de recepció apte per connectar a qualsevol PC **(Fig. 3.8)**.

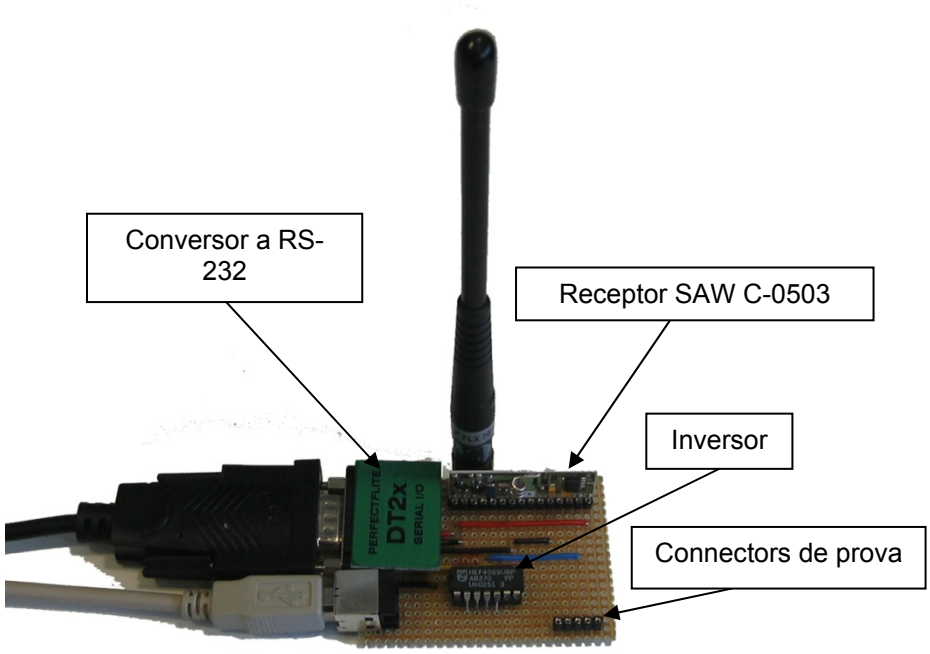


Fig. 3.8 Fotografia del circuit receptor connectat a un cable sèrie de dades i a un port USB per a l'alimentació.

3.4. El programa de recepció

El programa de recepció és una part molt important pel correcte funcionament de les comunicacions i el tractament de dades. S'ha implementat amb Labview, la qual cosa ha permès dotar-lo de diverses funcions i al mateix temps permet donar-li un aspecte clar i fàcil d'utilitzar.

Les seves funcions son les següents:

3.4.1. Sincronització de les dades

Detecta el byte de separació entre mostres de 4 bytes. El PSoC acaba la transmissió emetent un valor ASCII equivalent al salt de línia (/n). El programa de recepció detecta el salt i entén que la mostra ha finalitzat.

3.4.2. Conversió de hexadecimal a decimal

Primerament es converteixen els 4 hexadecimals en un enter. Com que el valor resultant d'aquesta conversió ve multiplicat per 10 (apartat 3.1), el programa divideix per 10 per obtenir el valor de la mostra expressat en centímetres.

3.4.3. Filtrat d'errors

Filtra els valors més petits de 12 cm (per sota de les capacitats del sistema de mesura). El programa no és capaç de filtrar errors en els quals s'ha perdut un dels bytes. En aquests casos la mesura obtinguda serà normalment menor que les circumdants donant lloc a un error aberrant.

3.4.4. Correcció per temperatura

Corregeix les mesures obtingudes en funció de la temperatura ambient. Com que el dispositiu està calibrat a 22 ºC s'aplica un factor de conversió **(3.4)** per corregir el valor enviat per l'altímetre.

La formula per la velocitat del so en funció de la temperatura és la següent **(3.1)**.

$$c = \sqrt{\frac{R \cdot T \cdot \gamma}{M}} \qquad \textbf{(3.1)}$$

On:

c: Velocitat del so [m/s]
R: Constant dels gasos perfectes
T: Temperatura [K]
γ: Coeficient de compressibilitat

Un cop avaluada i manipulada per permetre graus Celsius obtenim **(3.2)**.

$$c = 331{,}3\sqrt{1 + \frac{T}{273.15}} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Podem obtenir una aproximació aplicant Taylor **(3.3)**.

$$c(T) = 331{,}3 + 0{,}6T \qquad \textbf{(3.3)}$$

L'equació **(3.3)** ens permet facilitar les operacions per introduir el factor de conversió que corregeix el valor de la distància calibrada a 22 ºC a qualsevol altre valor de temperatura **(3.4)**.

$$h(T) = h(22\ ºC) \cdot \frac{c(T)}{c(22\ ºC)} \qquad \textbf{(3.4)}$$

On:

$h(T)$: Alçada per una temperatura T
$h(22\ ºC)$: Valor de l'alçada que envia l'altímetre calibrat a 22 ºC
$c(T)$: expressió **(3.3)**
$c(22\ ºC)$: Velocitat del so a 22 ºC

3.4.5. Representació de les dades

Les dades es representen digitalment i analògica. Es crea una gràfica en temps real de l'alçada i es recullen les dades d'alçada i temps en una taula per copiar-les en un full d' Excel un cop aturat el programa **(Fig. 3.9)**.

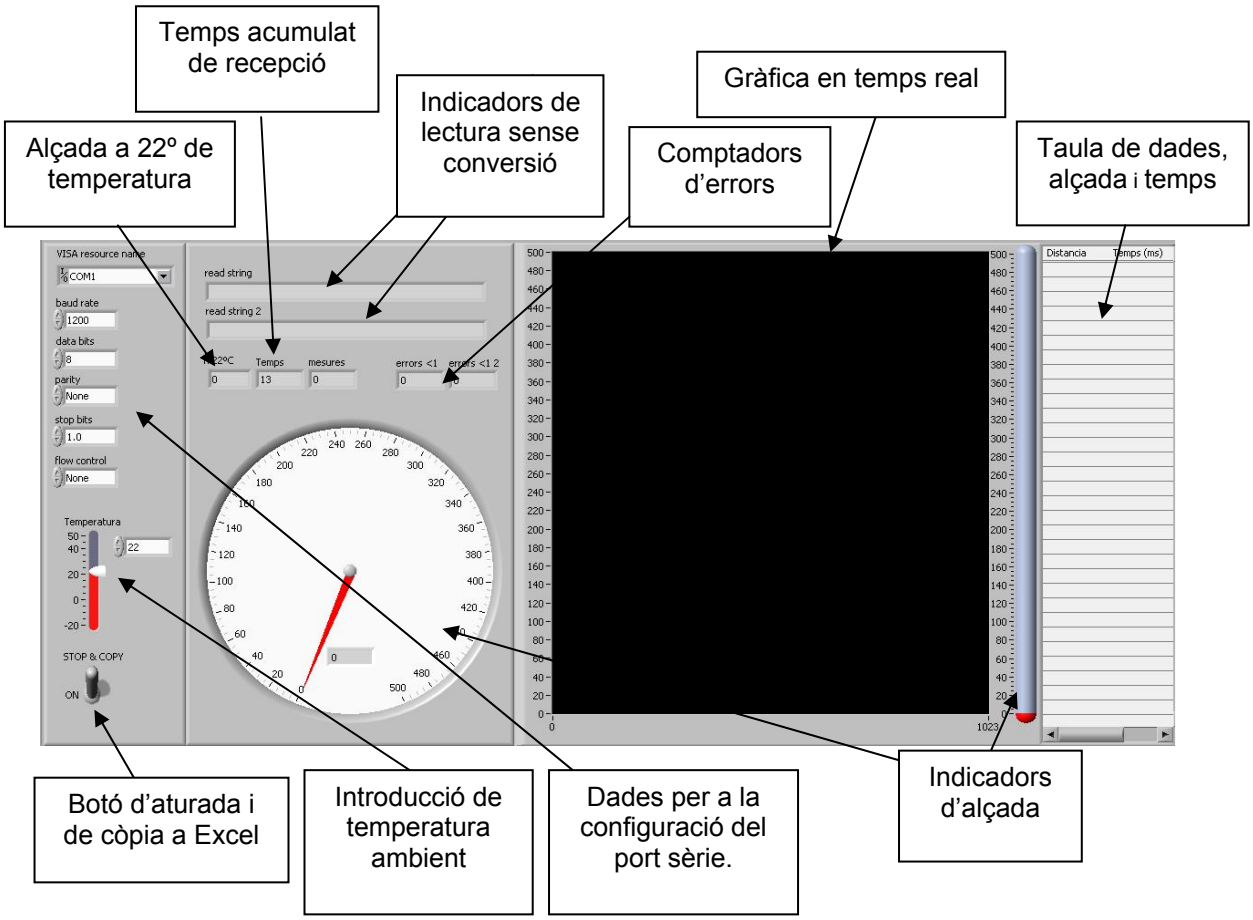


Fig. 3.9 Captura de pantalla de la interfície del programa de recepció

CAPÍTOL 4. RESULTATS EXPERIMENTALS

Per determinar les capacitats del dispositiu de mesura s'han fet diverses proves tan estàtiques com dinàmiques. Les proves estàtiques ens donen la precisió mentre que les proves dinàmiques determinaran si el dispositiu pot ser utilitzat en un UAV en moviment.

4.1. Calibració

El PSOC calcula el temps de rebot en cicles que equivalen a 22 us segons. Com que també existeix un offset desconegut la millor manera de calibrar el mesurador és experimental.

Es va fer una mesura cada 5 cm de 10 cm a 2 m i es va obtenir la següent gràfica de dispersió **(Fig. 4.1)**, a partir de la qual se'n pot extraure la relació cicles-distància i el offset. S'ha escollit fer la calibració entre 10 cm i 2 m perquè és la zona on volem que la precisió sigui màxima. Els valors

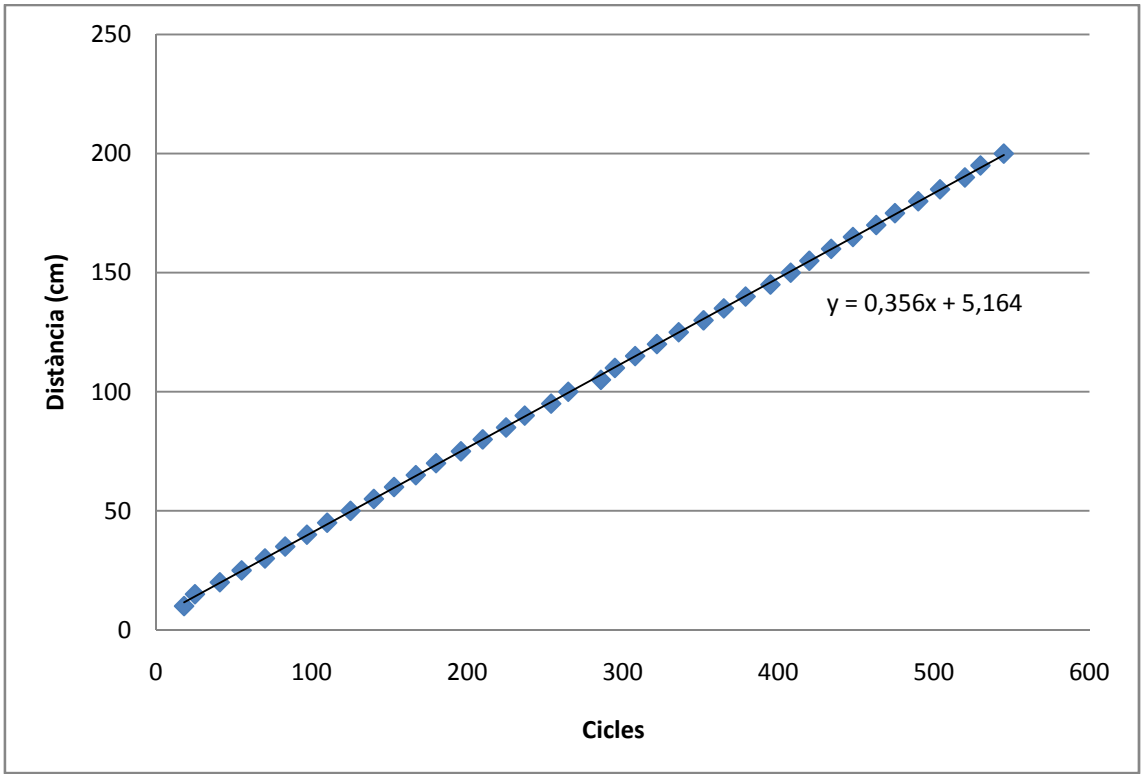


Fig. 4.1 Gràfica de dispersió amb la recta de regressió utilitzada per a la calibració del dispositiu de mesura.

Com es veu a l'equació de la recta de regressió **(Fig. 4.1)** un cicle equival a 0,356 cm. Això vol dir que la precisió màxima del sistema serà de 0,356 cm.

L'offset és de 5,164 cm la qual cosa ens indica que serà impossible fer mesures per sota dels 5,164 cm.

Com es pot veure al annex 1, al codi del programa principal s'ha introduït directament la formula *dist=0.356*cicles+5.165.*

Els valors numèrics de la gràfica de dispersió **(Fig. 4.1)** es poden veure a l'annex 2.

4.2. Proves estàtiques

Les proves estàtiques en permeten saber la precisió i els límits operatius del dispositiu.

S'han fet 200 mesures per 50 cm, 100 cm, 200 cm, 300 cm, 400 cm, 450 cm, 500 cm i 550 cm. Els resultats numèrics es poden veure a l'annex 3.

A continuació es mostren els historiogrames per tal de calcular la desviació estàndard i la mitjana per a cadascuna de les distàncies.

La mitjana hauria de ser el valor de la distància més precís i la desviació ens indica el marge d'error per una única mesura.

4.2.1. Mesures a 50 cm:

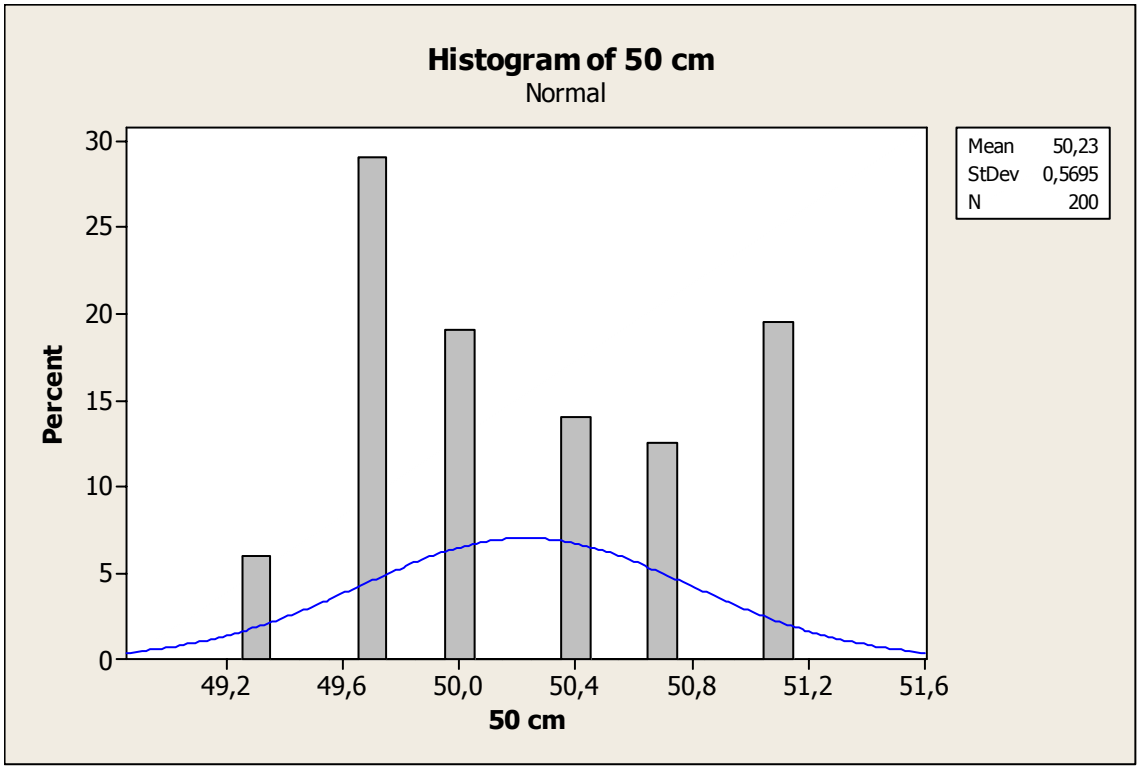


Fig. 4.2 Historiograma de mesures estàtiques a 50 cm

Obtenim una mitjana de 50,23 cm amb una desviació estàndard de 0,57 cm. De manera que a 50 cm tenim una precisió de 1 cm.

4.2.2. Mesures a 100 cm

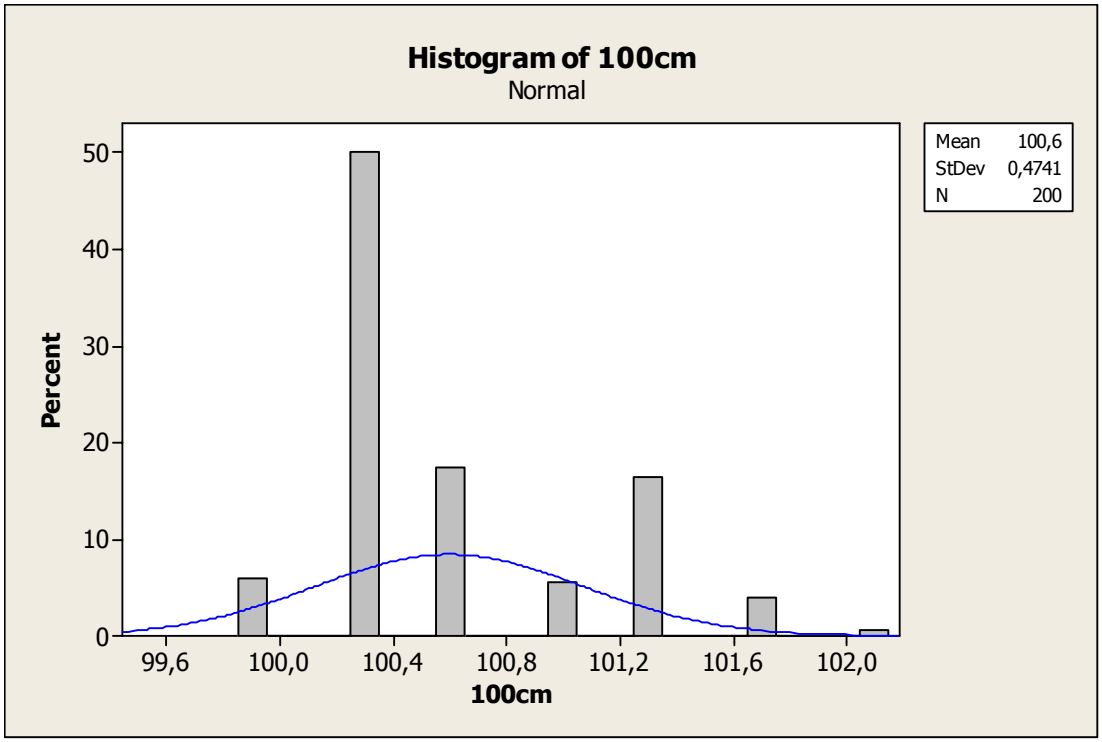


Fig. 4.3 Historiograma de mesures estàtiques a 100 cm

Obtenim una mitjana de 100,6 cm amb una desviació estàndard de 0,47 cm. De manera que a 100 cm tenim una precisió de 1 cm.

4.2.3. Mesures a 200 cm

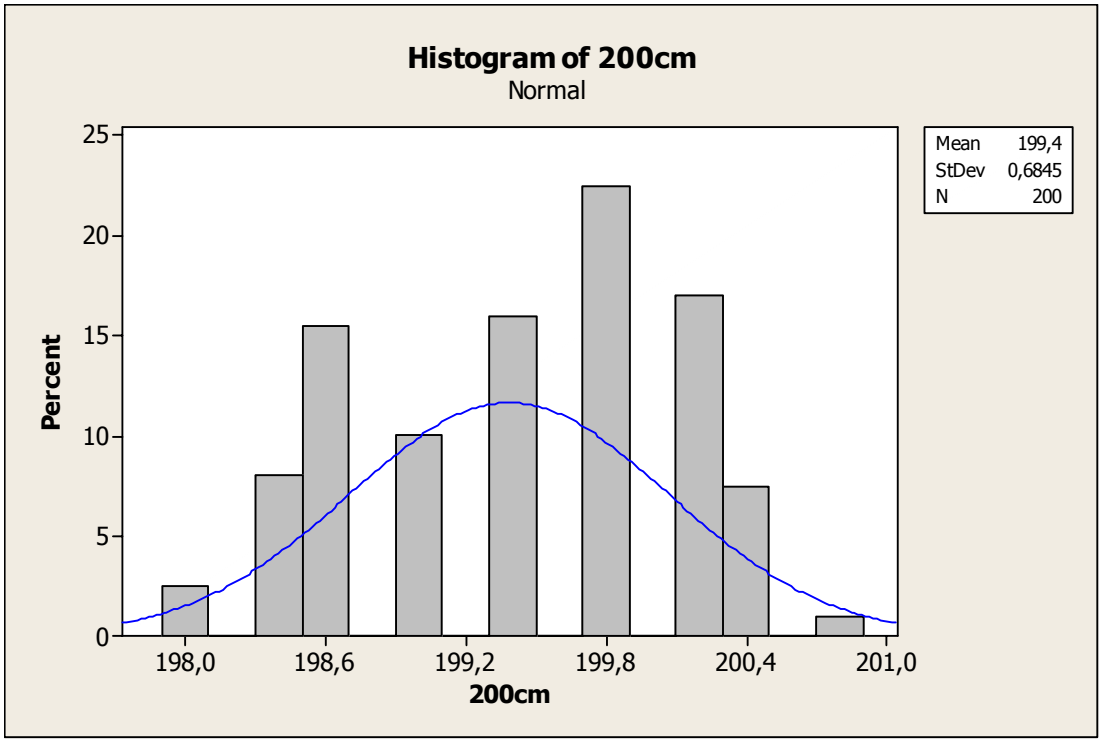


Fig. 4.4 Historiograma de mesures estàtiques a 200 cm

Obtenim una mitjana de 199,4 cm amb una desviació estàndard de 0,68 cm. De manera que a 200 cm tenim una precisió de 1,4 cm.

4.2.4. Mesures a 300 cm

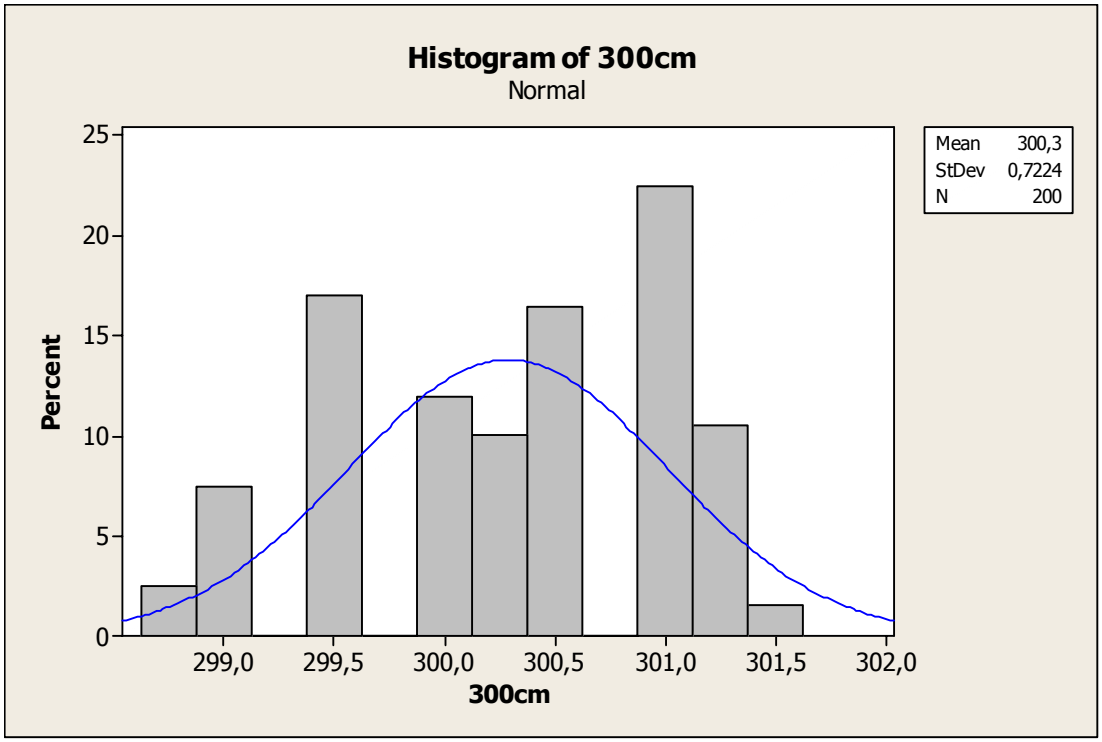


Fig. 4.5 Historiograma de mesures estàtiques a 300 cm

Obtenim una mitjana de 300,3 cm amb una desviació estàndard de 0,72 cm. De manera que a 300 cm tenim una precisió de 1,4 cm.

4.2.5. Mesures a 400 cm

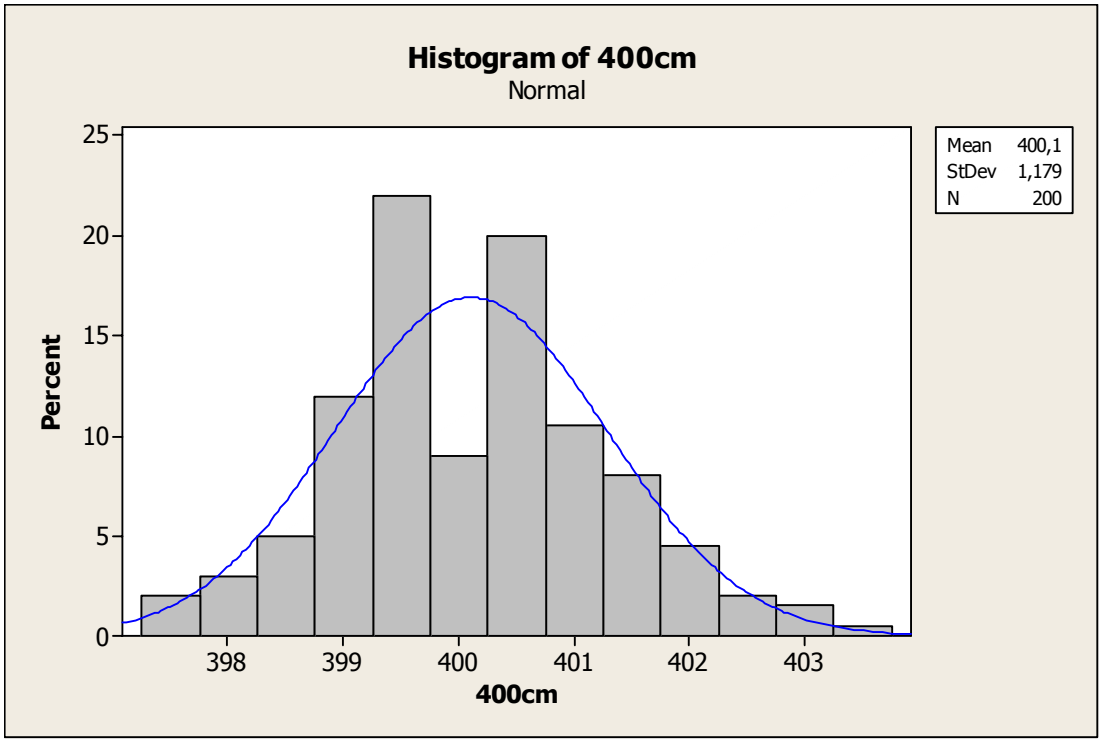


Fig. 4.6 Historiograma de mesures estàtiques a 400 cm

Obtenim una mitjana de 400,1 cm amb una desviació estàndard de 1,2 cm. De manera que a 400 cm tenim una precisió de 2,4 cm.

4.2.6. Mesures a 450 cm

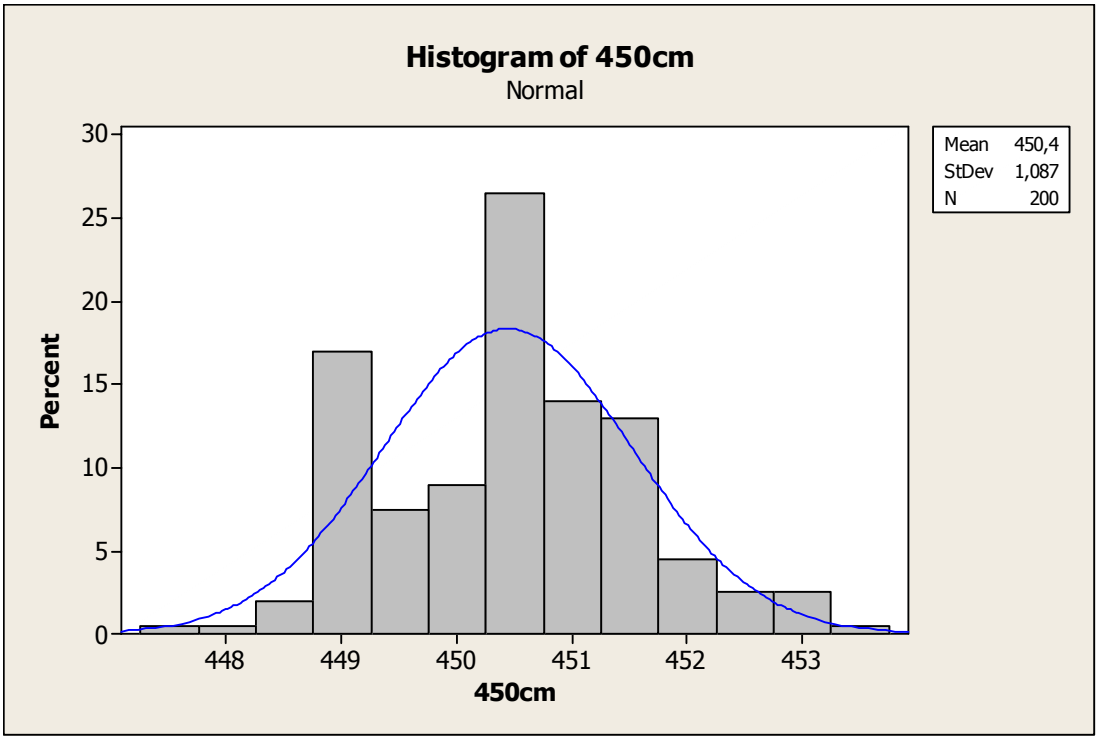


Fig. 4.7 Historiograma de mesures estàtiques a 450 cm

Obtenim una mitjana de 450,4 cm amb una desviació estàndard de 1,1 cm. De manera que a 450 cm tenim una precisió de 2,2 cm.

4.2.7. Mesures a 500 cm

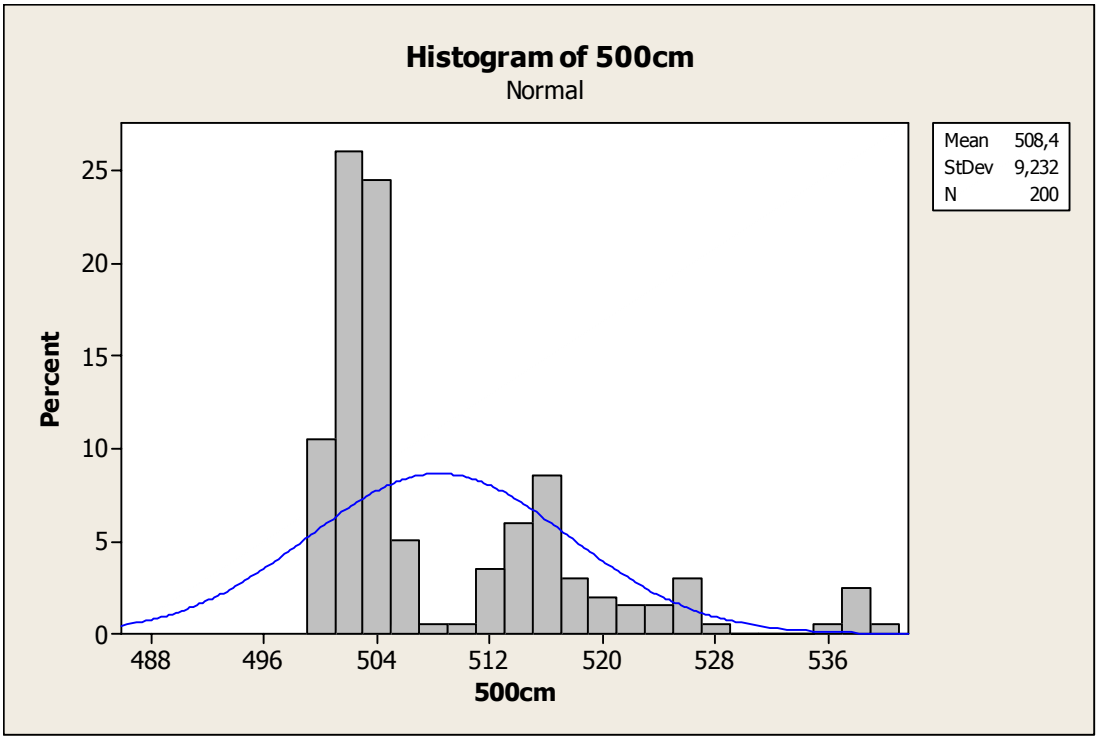


Fig. 4.8 Historiograma de mesures estàtiques a 500 cm

Obtenim una mitjana de 508,4 cm amb una desviació estàndard de 9,2 cm. De manera que a 500 cm tenim una precisió de 18,4 cm.

4.2.8. Mesures a 550 cm

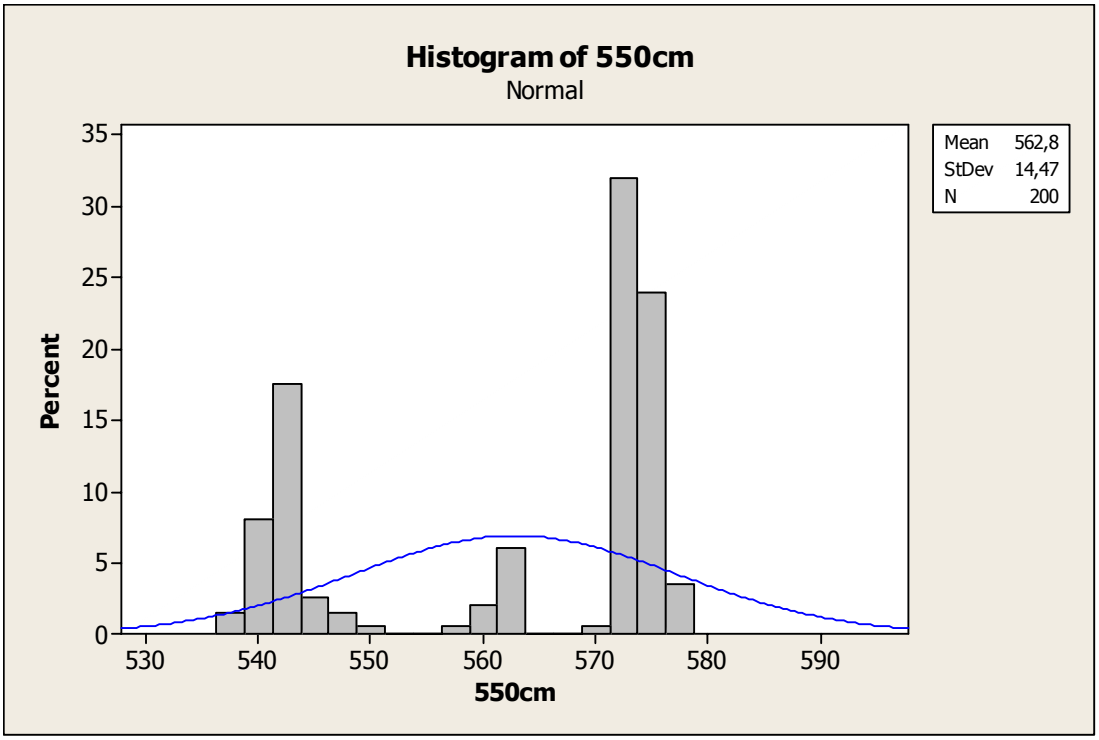
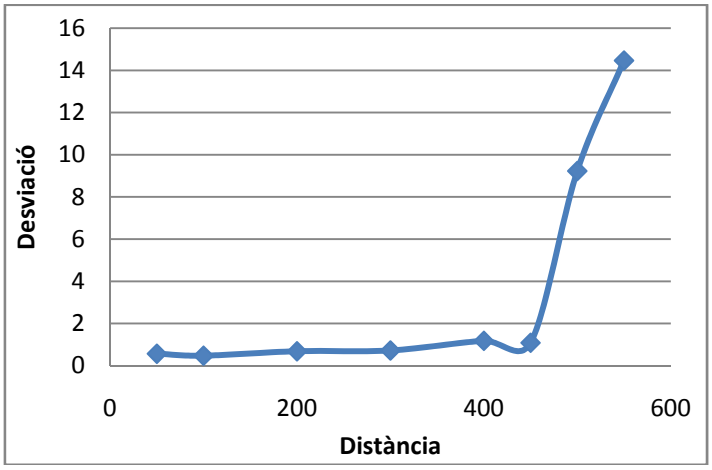


Fig. 4.9 Historiograma de mesures estàtiques a 550 cm

Obtenim una mitjana de 562,8 cm amb una desviació estàndard de 14,5 cm. De manera que a 500 cm tenim una precisió de 30 cm.

4.2.9. Resum de les proves estàtiques



Distància	Desviació
50	0,5695
100	0,4741
200	0,6845
300	0,7224
400	1,179
450	1,087
500	9,232
550	14,47

Fig. 4.10 Gràfica i taula resum de les mesures estàtiques

Com es pot veure a la gràfica **(Fig.4.10)** podem distingir clarament dues zones segons la desviació estàndard obtinguda.

La primera zona va dels 50 cm als 450 cm on la desviació es manté al voltant de 1 cm. Podem assegurar que és la zona on el sistema de mesura és més precís.

La segona zona va dels 450 cm fins a 550 cm i és on la desviació es dispara. En aquesta zona el sistema serà imprecís tot i que això no impedirà que les dades es tinguin en compte ja que a 5 m d'alçada 15 ó 30 cm d'error no son perillosos per un UAV.

Podem concloure que estem davant d'un sistema de mesura prou precís com per donar dades d'alçada acurades per sota dels 550 cm en condicions estàtiques.

4.3. Proves dinàmiques

A continuació es descriuen les proves dinàmiques amb les quals s'ha posat a prova el sistema de mesura. Amb aquestes proves es vol demostrar que el dispositiu és capaç de mesurar l'alçada mentre es mou horitzontalment i vertical.

Per realitzar les proves s'haurien pogut utilitzar multitud de solucions com un avió, un paracaigudes, etc. Però per qüestions de seguretat finalment s'han escollit dues tirolines amb les següents característiques **(Fig. 4.11)** i **(Fig. 4.12)**.

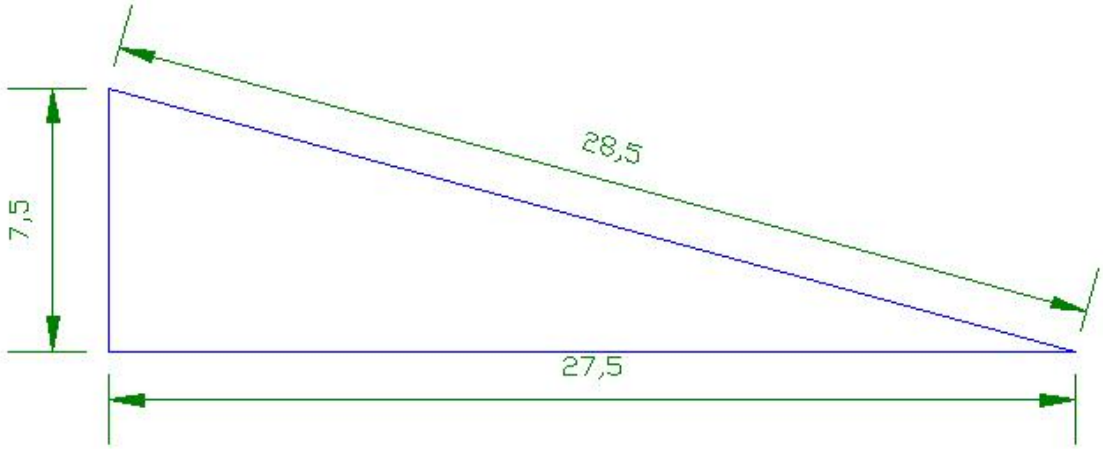


Fig. 4.11 Dibuix de la tirolina 1

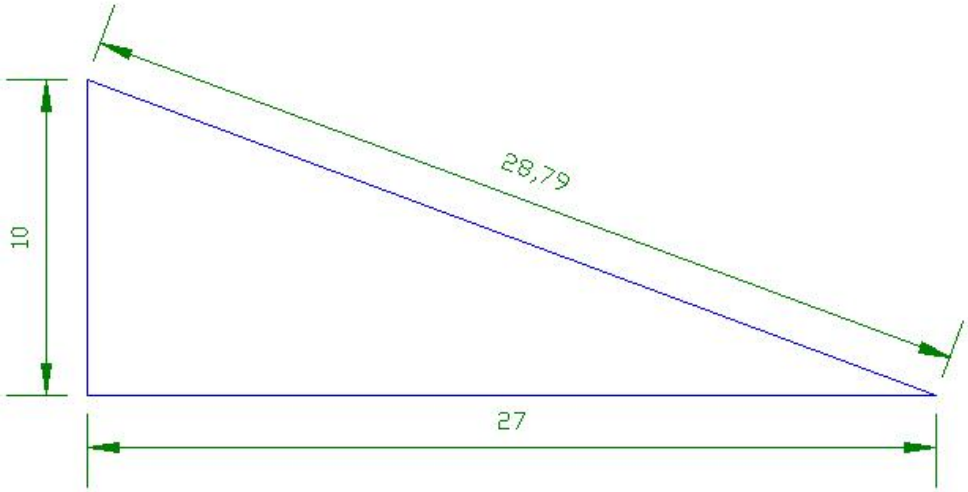


Fig. 4.12 Dibuix de la tirolina 2

Les tirolines permeten que la caiguda sigui totalment controlada i sobretot impedeixen que el dispositiu de mesura es trenqui.

El dia 31/05/07 es va muntar la primera tirolina de 7,5 metres d'alçada i el dia 06/06/07 es va muntar la segona tirolina de 10 metres d'alçada.

Com es mostra a les fotografies següents **(Fig. 4.13)** i **(Fig. 4.14)** la tirolina es va muntar a l'escola (EPSC) des d'una escala fins a un punt proper al terra. En aquest cas les imatges corresponen a la tirolina de 10 metres d'alçada.

Fig. 4.13 Fotografia de la tirolina 2 de 10 m, muntada el dia 06/06/07

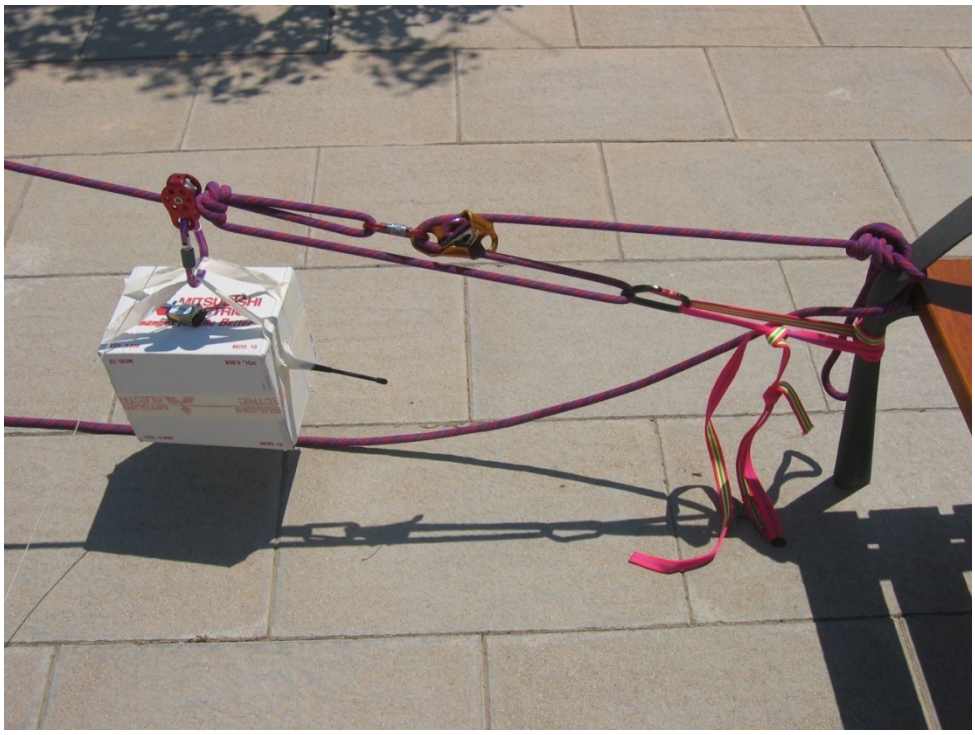


Fig. 4.14 Fotografia de la tirolina 2 en el punt més baix

Per protegir el dispositiu de mesura, es va encapsular en una caixa de cartró i es va embolicant-lo amb paper de cuina.

Fig. 4.14 Fotografia de l'altímetre dins la caixa de cartró que el protegeix

A la imatge següent es poden observar les parts externes del dispositiu. L'antena de l'emissor de dades i el emissor i el receptor d'ultrasons:

Fig. 4.15 Vista inferior de l'altímetre encapsulat

Per l'altra banda es poden observar les cintes d'anclatge i el connector per la bateria, que permet connectar i desconnectar l'aparell sense haver d'obrir la caixa.

Fig. 4.16 Vista superior de l'altímetre encapsulat

La recepció de les dades es va fer amb un ordinador portàtil situat en una zona intermèdia de la trajectòria com es mostra a la imatge **(Fig. 4.17)**.

Fig. 4.17 Fotografia de l'equip receptor preparat per rebre dades

Amb tot el dispositiu muntat es van fer successives proves de pujada i baixada de l'altímetre. Per fer-lo pujar s'estirava d'un cordill i per fer-lo baixar es deixava anar o s'estirava cap avall amb força. D'aquesta manera s'han obtingut diverses pendents a diferents velocitats.

En total s'han fet 12 arxius Excel on han quedat registrades diverses pujades i baixades a cadascun. En total hi ha aproximadament 10.000 mostres. A fi de facilitar la comprensió dels resultats s'ha fet una selecció de les pendents més rellevants i s'han dividit en pendents negatives (baixades) i pendents positives (pujades).

Totes les dades dels arxius Excel es troben a l'annex 4. Per situar cadascuna de les pendents següents en el seu arxiu Excel s'ha inclòs el nom de l'arxiu i el interval de temps de on s'ha extret la informació.

A l'annex 5 es poden veure alguns vídeos i fotografies de com es van realitzar els experiments.

Amb les dades d'alçada i temps podem calcular la velocitat vertical, coneixent les proporcions de les tirolines podem donar una formula per extreure la velocitat horitzontal i la velocitat normal. D'aquesta manera podrem tenir una idea clara de les velocitats a les quals ha estat sotmès el dispositiu.

Per la tirolina 1:

$$V_{h_1} = 3{,}67 \cdot V_v \quad \textbf{(4.1)}$$

$$\overrightarrow{V_1} = \sqrt{{V_v}^2 + {V_h}^2} \quad \textbf{(4.2)}$$

Per la tirolina 2:

$$V_{h_2} = 2{,}7 \cdot V_v \quad \textbf{(4.3)}$$

$$\overrightarrow{V_2} = \sqrt{{V_v}^2 + {V_h}^2} \quad \textbf{(4.4)}$$

4.3.1 Pendents negatives (baixades)

A continuació es presenten els resultats de les pendents negatives obtingues fent caure el dispositiu per la tirolina. Es pot apreciar que la velocitat de caiguda no és constant pel comportament quadràtic d'algunes gràfiques. El vent, el fregament amb la corda i la deformació que pateix la pròpia corda, en son les causes.

4.3.2.1. Caiguda 1 (llançament 1 31/5 entre 655 i 662s)

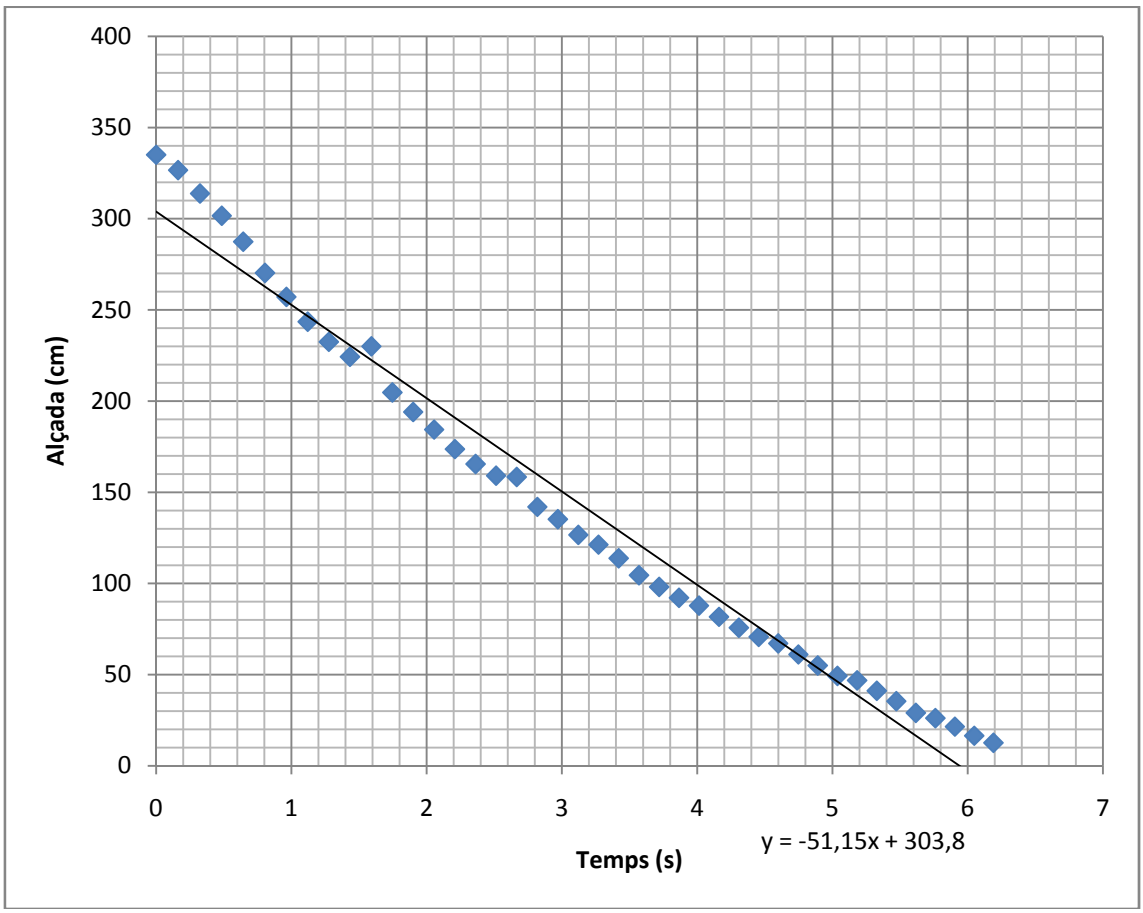


Fig. 4.18 Gràfica de dispersió de la caiguda 1

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,51\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,87\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,94\ m/s}$
- 42 mostres en 6,2 segons: $\boldsymbol{f = 6,77\ Hz}$

4.3.2.2. Caiguda 2 (llançament 2 31/5 entre 980 i 992s)

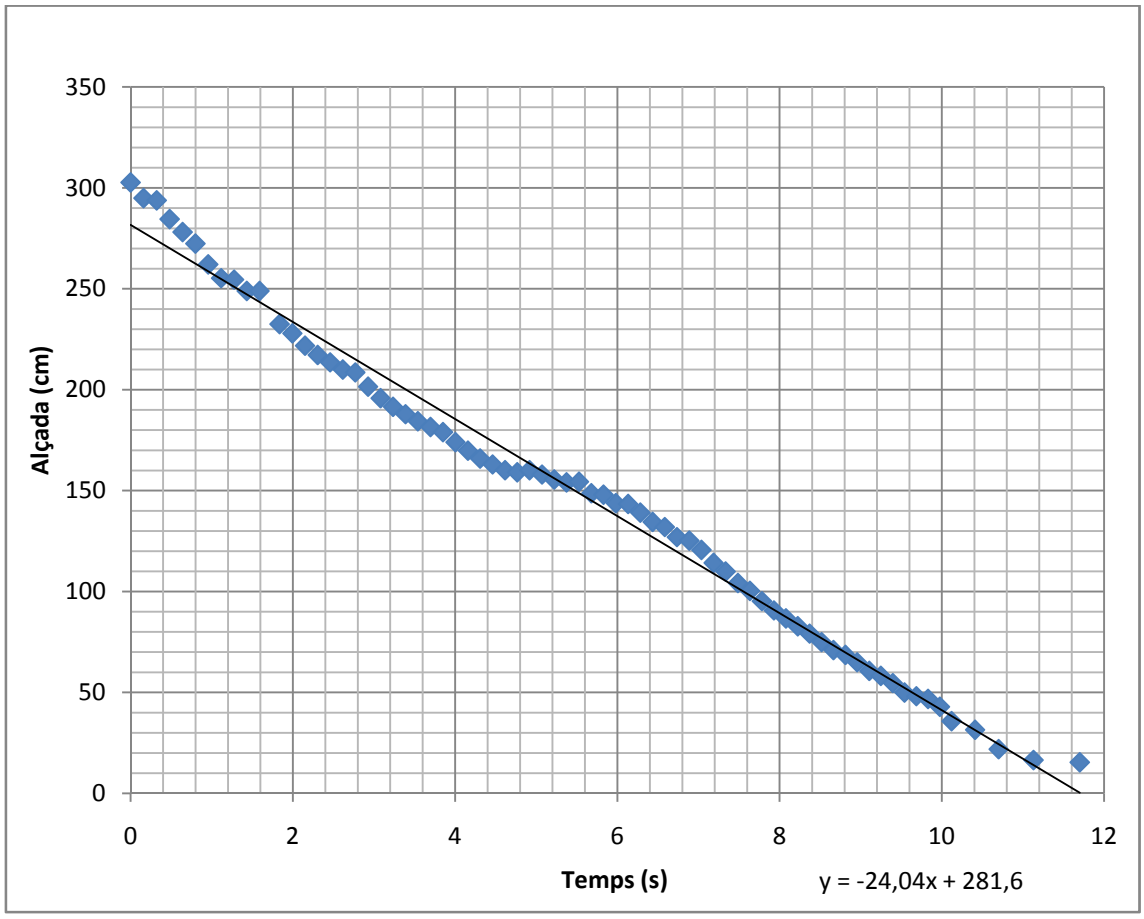


Fig. 4.19 Gràfica de dispersió de la caiguda 2

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,24\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 0,88\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 0,91\ m/s}$
- 71 mostres en 11,7 segons: $\boldsymbol{f = 6,06\ Hz}$

4.3.2.3. Caiguda 3 (llançament 1 6/6 entre 283 i 292 s)

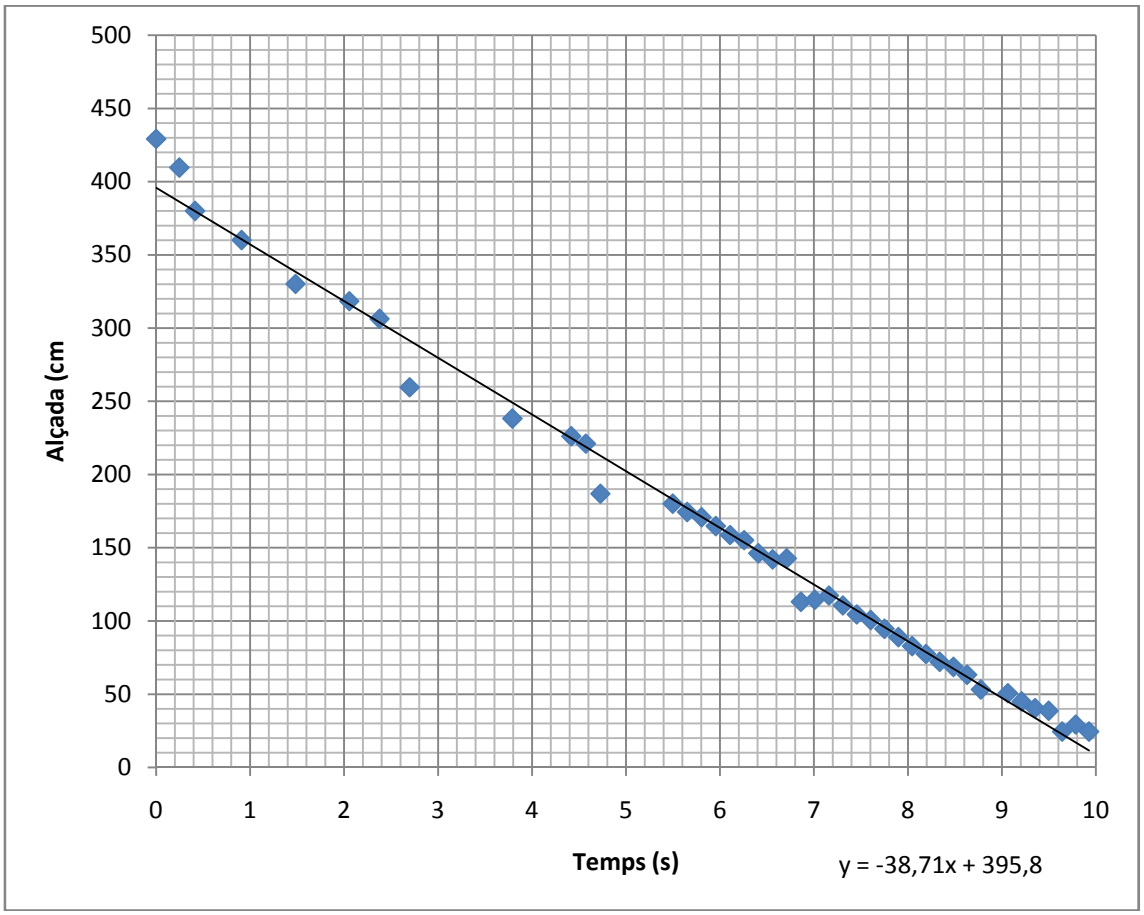


Fig. 4.20 Gràfica de dispersió de la caiguda 3

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,39\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,05\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,12\ m/s}$
- 42 mostres en 9,9 segons: $\boldsymbol{f = 4,24\ Hz}$

4.3.2.4. Caiguda 4 (llançament 2 6/6 entre 167 i 168 s)

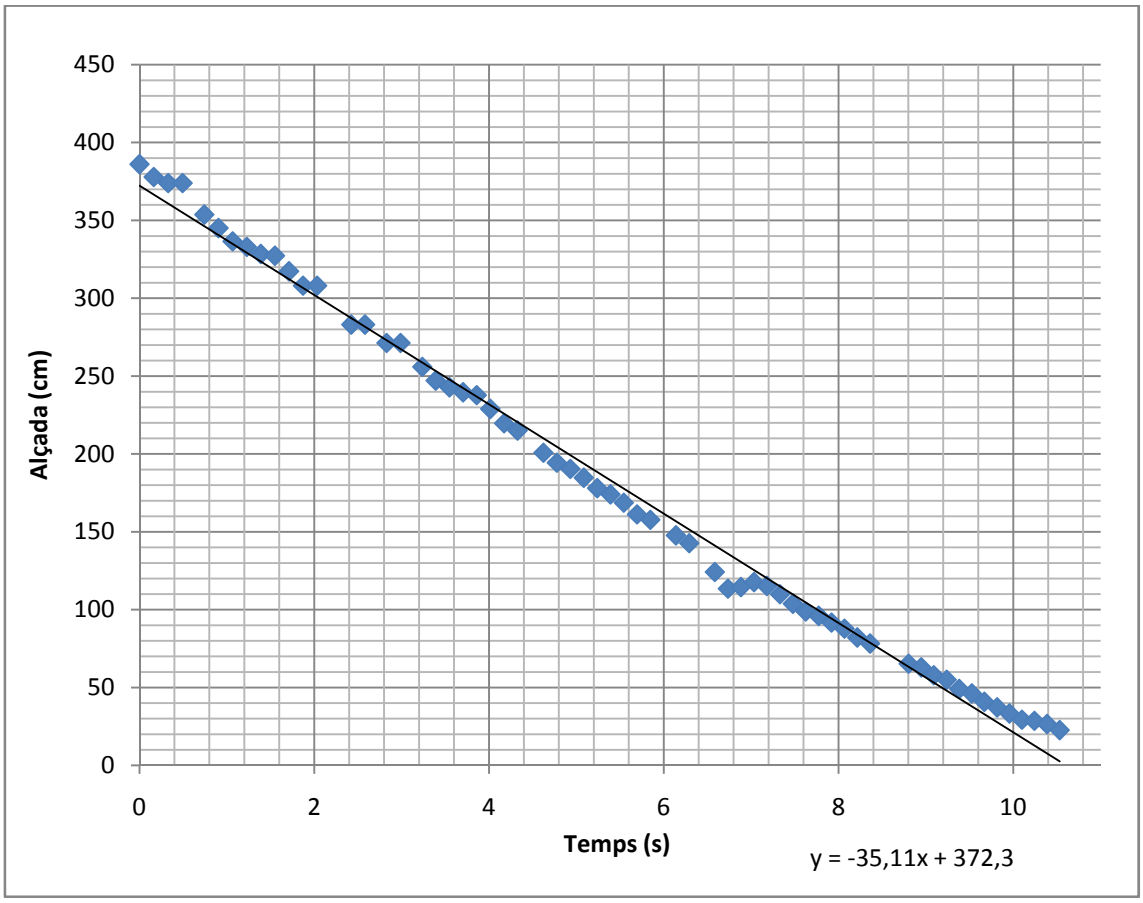


Fig. 4.21 Gràfica de dispersió de la caiguda 4

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,35\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 0,95\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,01\ m/s}$
- 62 mostres en 10,5 segons: $\boldsymbol{f = 5,9\ Hz}$

4.3.2.5. Caiguda 5 (llançament 6 6/6 entre 48 i 53 s)

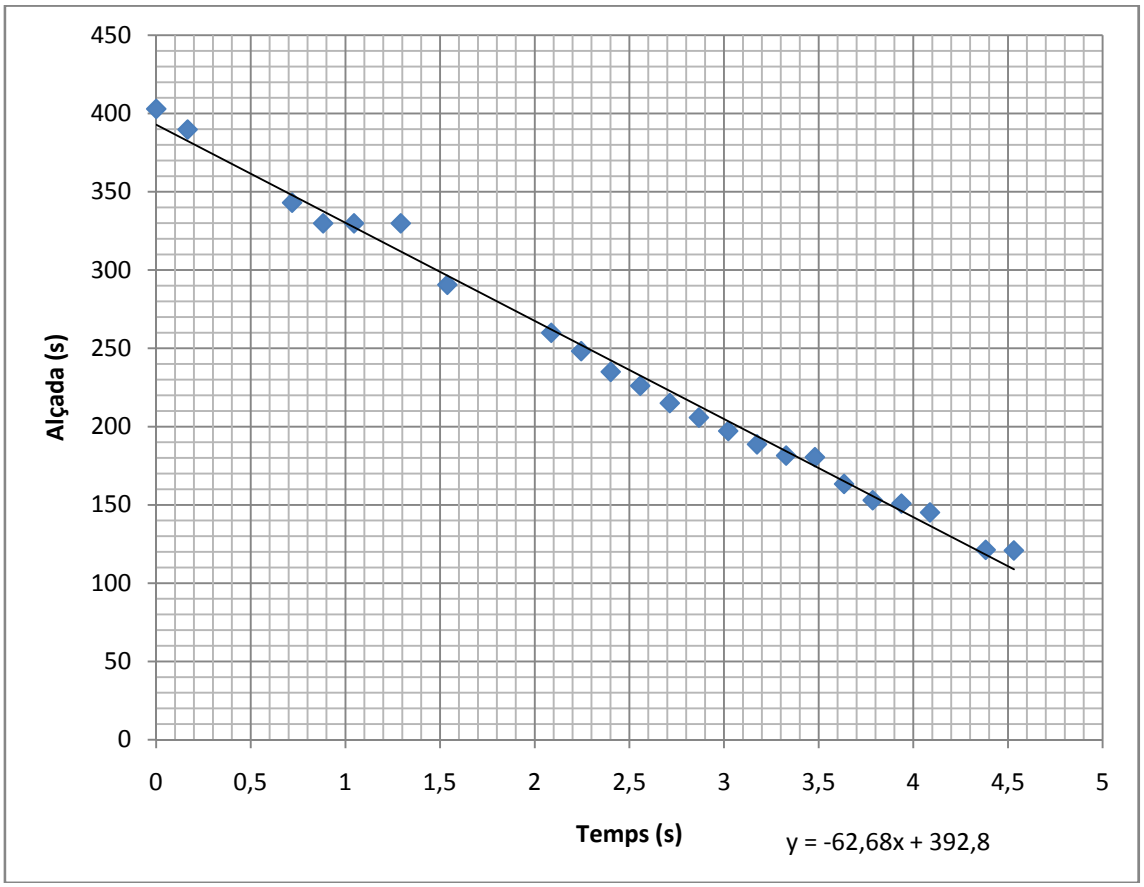


Fig. 4.22 Gràfica de dispersió de la caiguda 5

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,62\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,67\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,79\ m/s}$
- 24 mostres en 4,8 segons: $\boldsymbol{f = 5\ Hz}$

4.3.2.6. Caiguda 6 (llançament 7 6/6 entre 85,5 i 92 s)

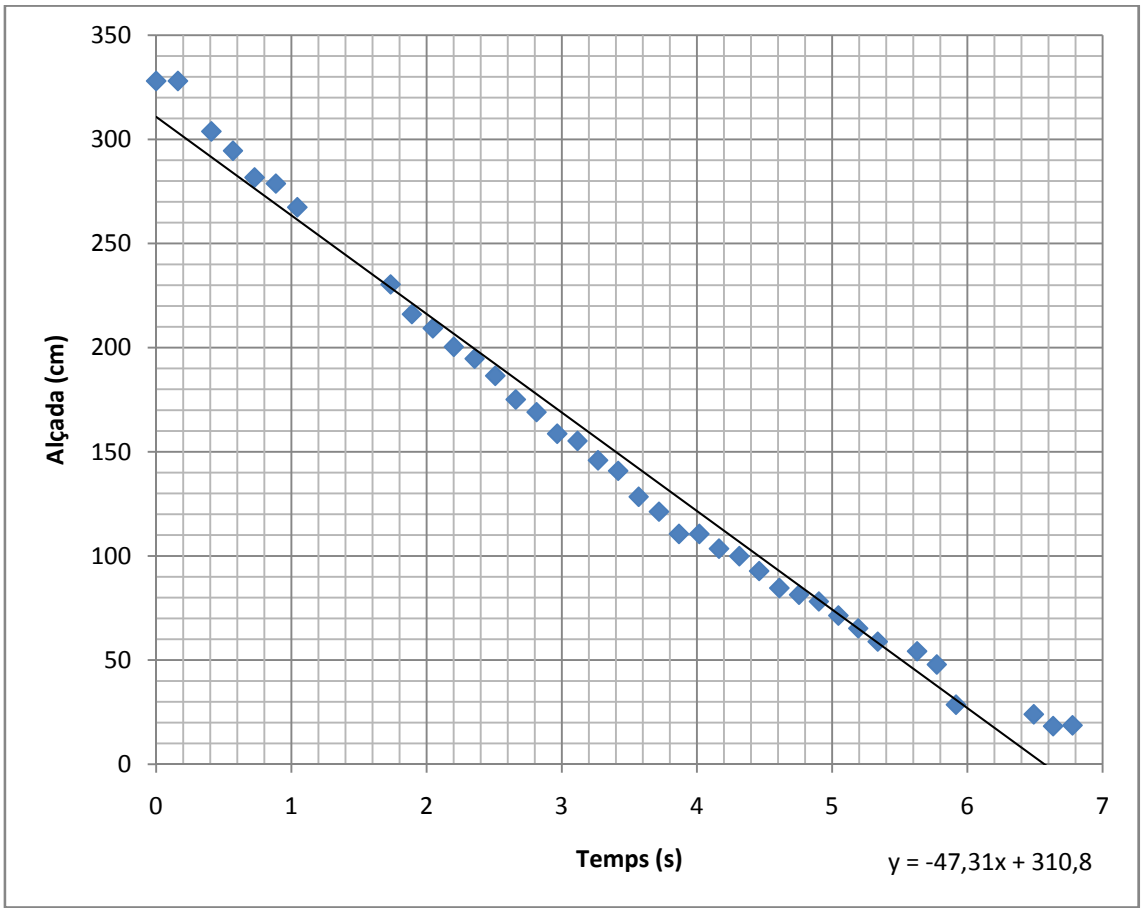


Fig. 4.22 Gràfica de dispersió de la caiguda 6

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,47\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,27\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,35\ m/s}$
- 38 mostres en 6,7 segons: $\boldsymbol{f = 5,67\ Hz}$

4.3.2.7. Caiguda 7 (llançament 7 6/6 entre 273 i 282,5 s)

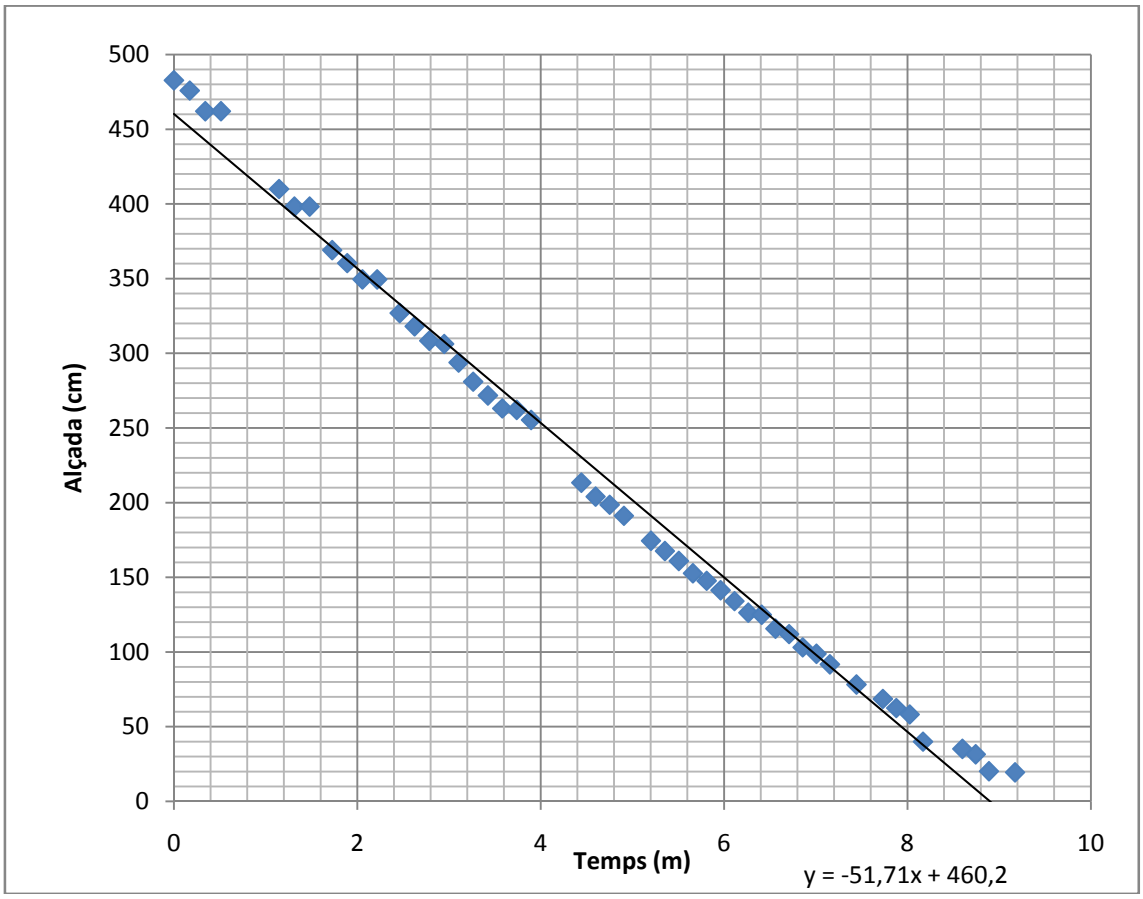


Fig. 4.23 Gràfica de dispersió de la caiguda 7

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = -0,52\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,40\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,50\ m/s}$
- 48 mesures en 9,2 segons: $\boldsymbol{f = 5,21\ Hz}$

4.3.2 Pendents positives (pujades)

En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts al fer pujar l'altímetre estirant el dispositiu manualment amb una corda. Tot i que es va intentar donar velocitats constants al sistema, en algunes mesures es pot observar un comportament quadràtic de les mostres, la qual cosa reflecteix que el moviment tenia una certa acceleració.

4.3.3.1. Pujada 1 (llançament 3 6/6 entre 128 i 143,5 s)

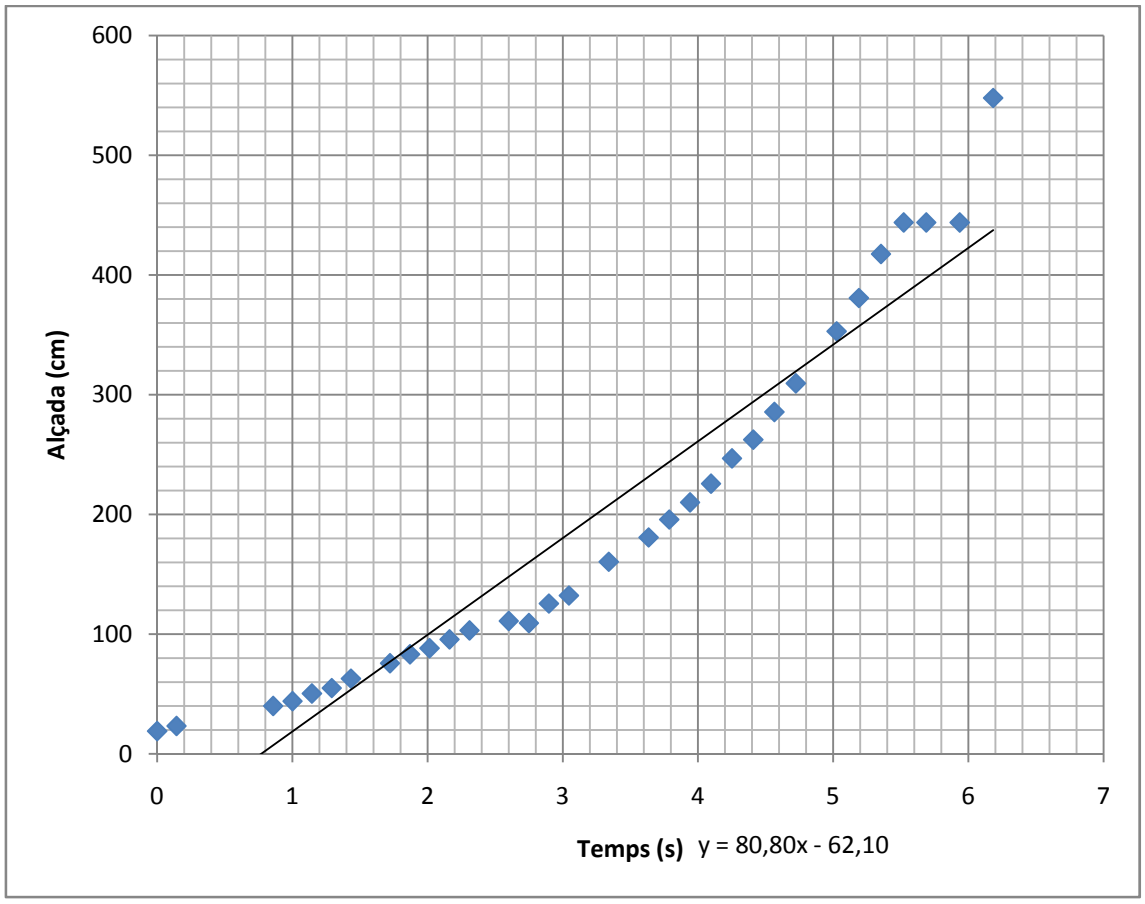


Fig. 4.24 Gràfica de dispersió de la pujada 1

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = 0,81\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 2,19\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 2,33\ m/s}$
- 32 mesures en 6,2 segons: $\boldsymbol{f = 5,16\ Hz}$

*4.3.3.2. Pujada 2 (*llançament 3 6/6 entre 185 i 192,5 *s)*

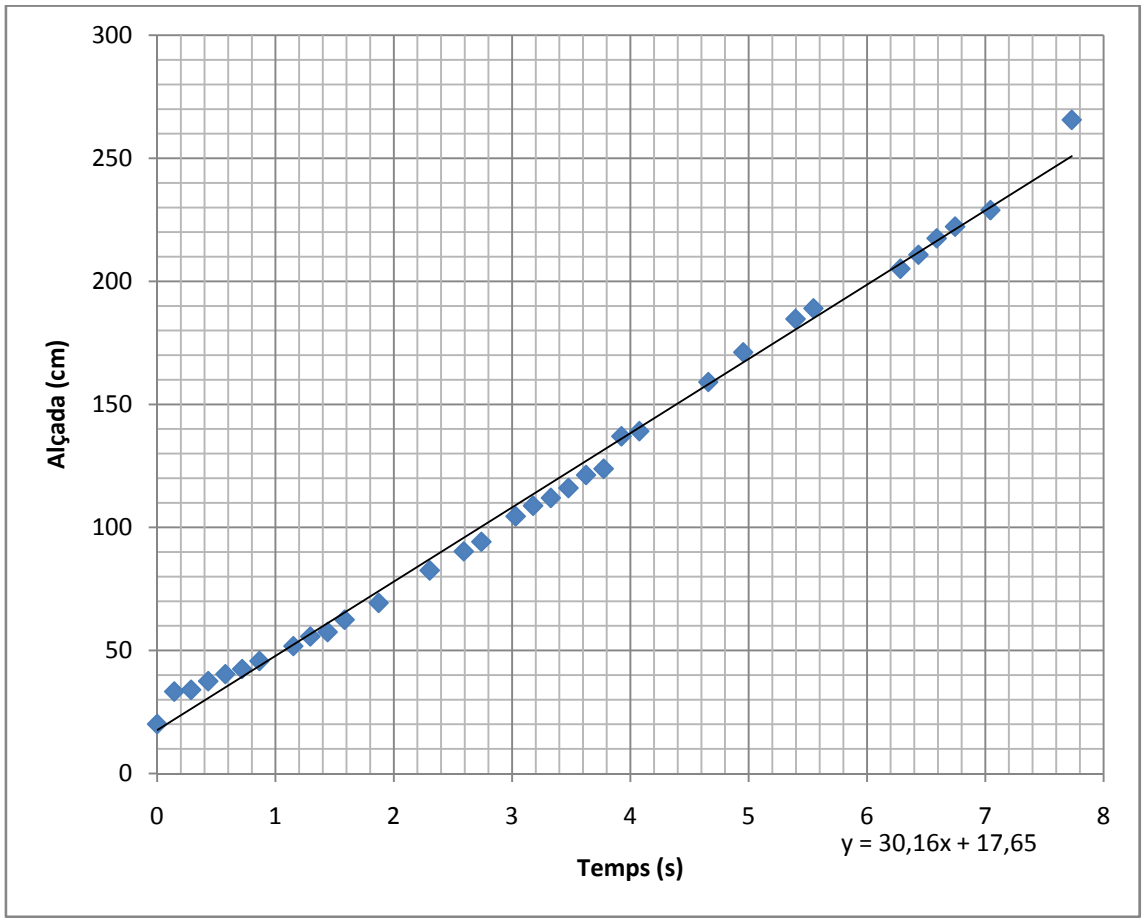


Fig. 4.25 Gràfica de dispersió de la pujada 2

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = 0,30\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 0,81\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 0,86\ m/s}$
- 34 mesures en 7,7 segons: $\boldsymbol{f = 4,41\ Hz}$

4.3.3.3. Pujada 3 (llançament 3 6/6 entre 197 i 200 s)

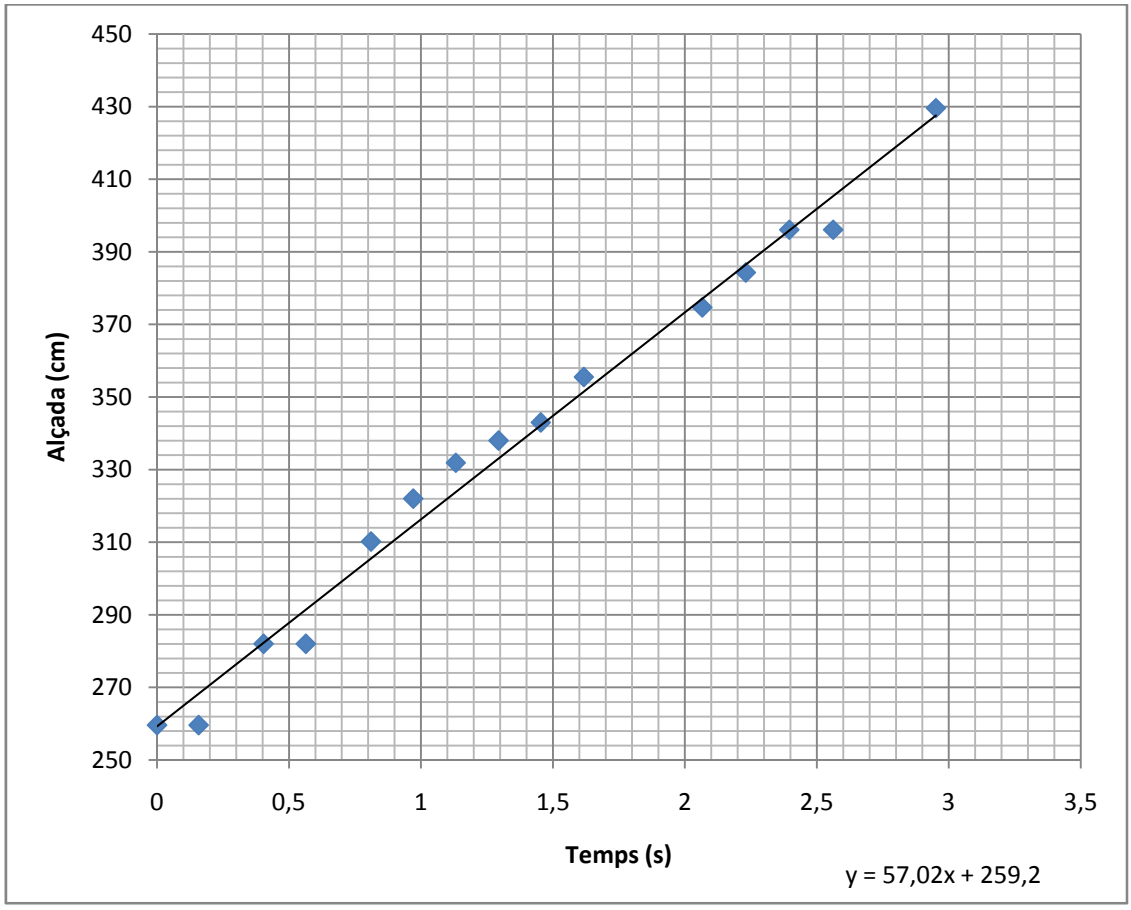


Fig. 4.26 Gràfica de dispersió de la pujada 3

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = 0,57\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,54\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,64\ m/s}$
- 15 mesures en 2,9 segons: $\boldsymbol{f = 5,17\ Hz}$

4.3.3.4. Pujada 4 (llançament 5 6/6 entre 125,5 i 136 s)

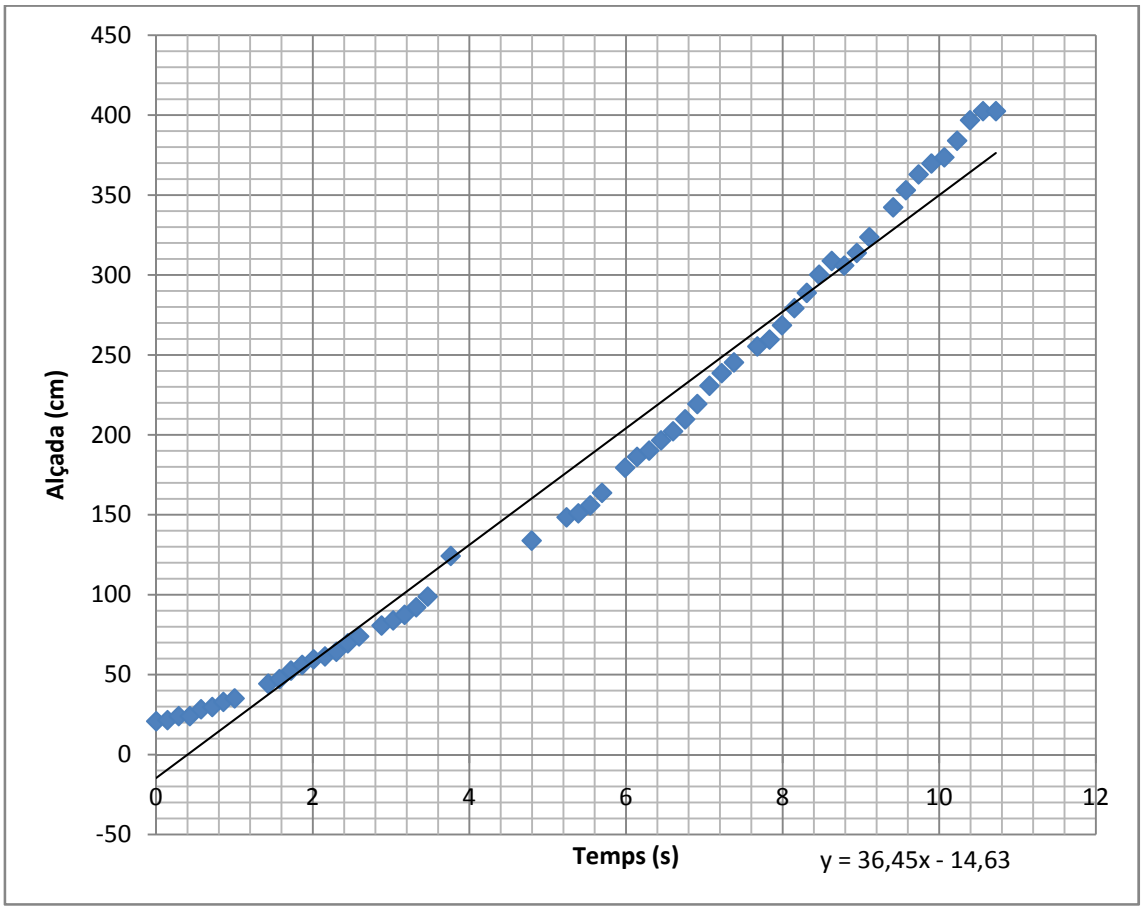


Fig. 4.27 Gràfica de dispersió de la pujada 4

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = 0,36\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 0,97\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,04\ m/s}$
- 57 mesures en 10,7 segons: $\boldsymbol{f = 5,33\ Hz}$

4.3.3.5. Pujada 5 (llançament 7 6/6 entre 114,3 i 117,4 s)

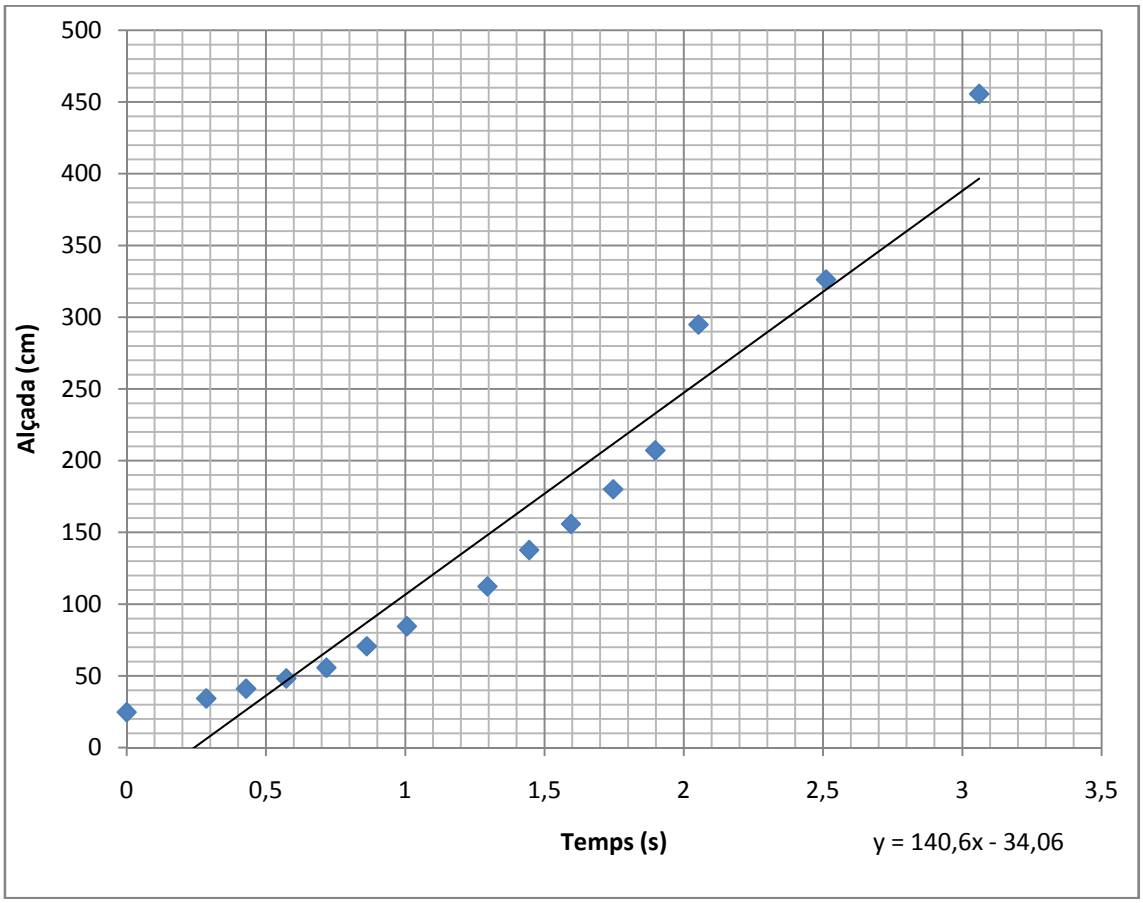


Fig. 4.28 Gràfica de dispersió de la pujada 5

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = 1,41\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 3,81\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 4,06\ m/s}$
- 15 mesures en 3,1 segons: $\boldsymbol{f = 4,84\ Hz}$

4.3.3.6. Pujada 6 (llançament 9 6/6 entre 237 i 242 s)

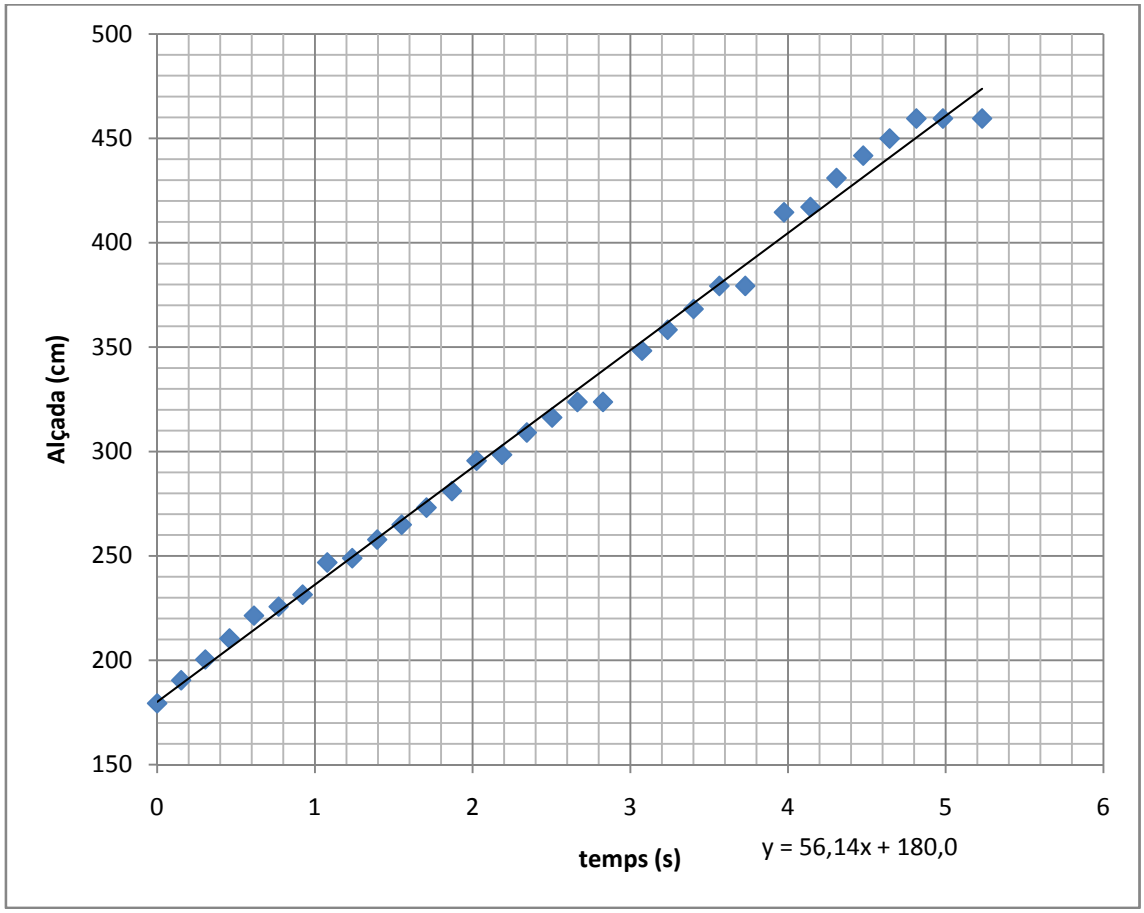


Fig. 4.29 Gràfica de dispersió de la pujada 6

- Velocitat vertical mitjana: $\boldsymbol{V_v = 0,56\ m/s}$
- Velocitat horitzontal mitjana: $\boldsymbol{V_h = 1,51\ m/s}$
- Velocitat normal: $\boldsymbol{\vec{V} = 1,61\ m/s}$
- 32 mesures en 6,2 segons: $\boldsymbol{f = 6,15\ Hz}$

4.3.3 Resum de les proves dinàmiques

	V vertical (m/s)	V horitzontal (m/s)	V normal (m/s)	Freqüència (Hz)
Caiguda 1	0,51	1,87	1,94	6,77
Caiguda 2	0,24	0,88	0,91	6,06
Caiguda 3	0,39	1,05	1,12	4,24
Caiguda 4	0,35	0,95	1,01	5,90
Caiguda 5	0,62	1,67	1,79	5,00
Caiguda 6	0,47	1,27	1,35	5,67
Caiguda 7	0,52	1,40	1,50	5,21
Pujada 1	0,81	2,19	2,33	5,16
Pujada 2	0,30	0,81	0,86	4,41
Pujada 3	0,57	1,54	1,64	5,17
Pujada 4	0,36	0,97	1,04	5,33
Pujada 5	1,41	3,81	4,06	4,84
Pujada 6	0,56	1,51	1,61	6,15

Fig. 4.30 Taula resum de les proves dinàmiques

En aquesta taula resum es poden observar les mitjanes de velocitat i les freqüències de mostreig obtingudes a cada llançament.

4.3.3.1. La freqüència de mostreig

Hi ha dues raons per les quals la freqüència de mostreig és diferent per cada prova:

- La freqüència de mostreig de l'aparell és variable. El PSoC torna a fer una mesura just quan ha acabat l'anterior. Com que el temps de rebot varia segons la distància, a distàncies més curtes s'obtenen més mostres que a distancies més llargues.
- Durant la transmissió es produeixen errors que el programa de recepció omet automàticament. Hi ha alguns errors com els explicats a l'aparat 3.3 que el programa no reconeix i que es presenten a les gràfiques com errors aberrants. Així doncs segons el nombre d'errors la freqüència de mostreig pot variar considerablement.

4.3.3.2. Les velocitats obtingudes

Les velocitats obtingudes van des de els 0,24 m/s fins als 1,41 m/s. Podem considerar que un UAV aterra a una velocitat aproximada de 1 m/s i que per tant les dades obtingudes son del tot satisfactòries. Aquestes proves donen una idea de les capacitats dinàmiques de l'aparell i ens fan pensar que es podrien obtenir bons resultats en un aterratge o enlairament real. Podem dir que gracies a aquestes proves tenim prous motius com per continuar desenvolupant aquest mètode de mesura. El següent pas seria embarcar el sistema en un UAV per determinar si resulta útil en situacions reals. Cal destacar que les condicions en que es van fer els llançaments no eren les més favorables ja que bufava un fort vent que feia ballar tot el dispositiu. Tot i així els resultats son bons i ens fan pensar que aquest sistema a més de precís és força robust.

CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

5.1. Perspectives de futur

El ventall de millores que es poden implementar és considerable. A continuació s'exposen les més importants

5.1.1. Abast màxim

Es podria millorar la potencia del mesurador de d'ultrasons mitjançant un transistor i així poder oferir més tensió al emissor d'ultrasons. Per oferir la tensió desitjada al transistor, caldria utilitzar una bateria amb el voltatge desitjat, o bé utilitzar una pota lliure del PSoC com a oscil·lador per carregar un condensador fins a una tensió superior a la de la font d'alimentació pròpia. Per aquest últim mètode caldria provar si el temps entre mostres es prou gran com per carregar un condensador fins a una tensió òptima.

5.1.2. Comunicacions

La comunicació sense fils s'hauria de millorar si es pretén utilitzar l'altímetre en un UAV. Tot i que amb la tirolina s'han obtingut bons resultats caldria disminuir el nombre d'errors obtinguts. És per això que un sistema de comunicacions més potent seria més fiable per un UAV. Es podria dir que el sistema de comunicacions implementat tenia la funció de permetre fer proves dinàmiques en un entorn controlat, però degut a la baixa potència seria recomanable utilitzar un transmissor més potent.

5.1.3. Sistema hardware

El hardware es troba en un estat inicial i caldria millorar-lo. La majoria dels components estan muntats sobre plaques protoboard o en plaques de prova. Per construir el hardware definitiu caldria estudiar la localització del dispositiu dins de l'UAV i tenir en compte les connexions necessàries amb els altres dispositius.

La pantalla LCD utilitzada per les proves no seria necessària tot i que no estaria de més deixar-ne les connexions per testejar l'altímetre abans d'un vol.

També es podria eliminar un dels transductors d'ultrasons a fi de reduir pes. Per aquesta modificació caldria estudiar a fons el funcionament de l'altímetre i potser implicaria canvis en el software.

5.2. Comparació amb les consideracions inicials

En un principi s'havia pensat construir el sistema de mesura d' ultrasons d'una manera convencional. És a dir amb un microcontrolador digital i un circuit d'acondicionament del senyal. La utilització d'un PSoC ha suposat una gran millora respecte a la idea inicial ja que ha simplificat en gran mesura el hardware i suposa un reducció en el pes. Per contra s'ha perdut potència i l'abast màxim s'ha reduït a 5 m dels 10 m previstos inicialment.

Tot el conjunt format pel mesurador i el transmissor de dades funciona de manera autònoma amb una pila de 9 V. També es poden rebre dades connectant el mesurador a un PC o a qualsevol altre dispositiu compatible amb el protocol rs-232. Això permet utilitzar l'altímetre com un mòdul que es pot unir a tot un sistema aviònic amb telemetria pròpia o bé utilitzar l'altímetre com a únic dispositiu amb telemetria pròpia.

El preu de tot el sistema resulta realment econòmic. Havent comprat tots els components al detall obtenim un preu estimat de 20 €. Aquest preu es redueix considerablement si eliminem la placa d'avaluació del PSoC i comprem una certa quantitat a l'engròs. Estaríem parlant d'un altímetre per un preu de entre 2 i 4 €.

5.3. Avaluació dels resultats obtinguts

En aquest treball s'han complert un bon nombre dels objectius inicials. S'han millorat alguns aspectes com la complexitat gracies a la utilització d'un PSoC en detriment de l'abast màxim. S'ha demostrat que és viable utilitzar un sistema de mesura basat en ultrasons per fer mesures d'altitud en moviment a baixa alçada. Un sistema basat en ultrasons resulta econòmic i fàcil d'implementar degut als dispositius de baixa freqüència que utilitza. Així doncs recomanaria que s'estudiés la possibilitat d'implementar un sistema d'altimetria amb ultrasons per un UAV.

BIBLIOGRAFIA

- Llibres:

[1] Lévy, E, Le Lionais, F, *Diccionario Alkal de Física*, Alkal, pp. 453

- Pàgines web:

[2] http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Otros/Infrarrojos/sensor_sharp_gp2d02.htm darrera visita el 16 de juliol de 2007

[3] http://www.circellar.com/PSOC2002/winners/oe.htm darrera visita el 16 de juliol de 2007

[4] http://www.psocdeveloper.com/ darrera visita el 16 de juliol d 2007

[5] http://www.cypress.com/index.html darrera visita el 16 de juliol de 2007

- Programes:

[6] Veure CD annex 5, carpeta *bibliografia*

Escola Politècnica Superior
de Castelldefels
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANNEXOS

Sistema Aviònic de posicionament vertical per a un UAV

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTOR: Jaume Español Romea

DIRECTOR: Oscar Casas Piedrafita

DATA: 27 de juliol de 2007

ANNEX 1: PROGRAMA PRINCIPAL DEL PSoC EN C

```
//--------------------------------------------------------------------------
// C main line
//--------------------------------------------------------------------------

#include <m8c.h>        // part specific constants and macros
#include "PSoCAPI.h"    // PSoC API definitions for all User Modules
#include <stdlib.h>

int i=0,j=0,k=0, tx;
float speed[5];
float cicles=0, dist=0, vel=0;
char *cicleschar;
BYTE salt = '\n';
BYTE espai = ' ';
char csalt='\n';
char cespai = ' ';

#pragma interrupt_handler temporizador1
#pragma interrupt_handler temporizador2


void muestralcd(void)
{
        LCD_1_Start();
        LCD_1_Init();
        //dist=(cicles*1.38578)+6.42646;
        dist=(cicles*0.3564)+ 5.1641;
        cicleschar = ftoa(dist,&i);
        //for(i=0,i<5,i++)
        //vel=vel+speed[i];
        //vel=vel/5;
        LCD_1_Position(0,0);
        LCD_1_PrCString("Dist :");
        LCD_1_Position(0,11);
        LCD_1_PrString(cicleschar);

        tx=dist*10;

        TX8_1_PutSHexInt(tx);
        TX8_1_PutChar(csalt);
        //TX8_1_SendData(espai);
        //TX8_1_SendData(salt);

}

void contador1(void)
{
```

```
        int cont;
        M8C_EnableGInt;
         Counter8_1_EnableInt();
        Counter8_1_Start();
}

void contador2(void)
{
        int cont;
        M8C_EnableGInt;
         Counter8_2_EnableInt();
         Counter8_2_Start();
}



void main()
{

   PGA_1_Start(PGA_1_HIGHPOWER);
   PGA_1_SetPower(PGA_1_HIGHPOWER);

   PGA_2_Start(PGA_2_HIGHPOWER);
   PGA_2_SetPower(PGA_2_HIGHPOWER);

        CMPPRG_1_Start(CMPPRG_1_HIGHPOWER);
        CMPPRG_1_SetPower(CMPPRG_1_HIGHPOWER);

        RefMux_1_Start(RefMux_1_HIGHPOWER);
        RefMux_1_SetPower(RefMux_1_HIGHPOWER);

        BPF2_1_Start(BPF2_1_HIGHPOWER );
        BPF2_1_SetPower(BPF2_1_HIGHPOWER );

        BPF2_2_Start(BPF2_2_HIGHPOWER );
        BPF2_2_SetPower(BPF2_2_HIGHPOWER );



        DigInv_1_Start();

        TX8_1_Start(TX8_1_PARITY_NONE);

        while (1)
        {

                contador1();
                i=0;
```

```
                contador2();
                j=0;
                muestralcd();

                //k++;
        }
}



void temporizador1(void)
{
if(i<20)
        i++;
else
Counter8_1_Stop();


}

void temporizador2(void)
{
if(j<5000)
        {
        if (PRT1DR & 0x01)                  // port 1[0]
      {

         cicles=j;
         Counter8_2_Stop();

      }//if

        j++;
        }
else
Counter8_2_Stop();



}
```

ANNEX 2: TAULA DE VALORS DE LA CALIBRACIÓ

Cicles	Cm
18	10
25	15
41	20
55	25
70	30
83	35
97	40
110	45
125	50
140	55
153	60
167	65
180	70
196	75
210	80
225	85
237	90
254	95
265	100
286	105
295	110
308	115
322	120
336	125
352	130
365	135
379	140
395	145
408	150
420	155
434	160
448	165
463	170
475	175
490	180
504	185
520	190
530	195
545	200

ANNEX 3: TAULA DE VALORS DELS RESULTATS ESTÀTICS

Mesures	50 cm	100cm	200cm	300cm	400cm	450cm	500cm	550cm
1	50,7	100,3	199,0	301,3	400,0	449,9	500,2	537,9
2	49,3	100,6	199,4	300,2	397,5	448,5	500,9	540,8
3	50,4	100,3	198,3	300,9	400,0	449,2	500,9	543,6
4	50,0	100,3	200,8	301,3	398,9	449,9	500,2	573,9
5	49,7	101,3	199,7	300,6	397,9	450,6	502,6	539,0
6	50,7	100,3	198,6	301,3	398,2	451,3	501,2	575,4
7	49,3	100,6	199,7	300,6	397,5	449,9	515,8	575,4
8	50,4	100,3	199,7	300,9	397,9	449,2	500,9	541,1
9	49,7	100,3	198,6	300,9	399,6	447,4	501,9	541,9
10	49,7	101,3	199,7	300,2	399,6	448,8	501,6	577,1
11	50,7	100,3	199,7	300,9	400,0	449,9	512,6	577,1
12	49,7	100,6	200,4	301,3	399,3	448,1	500,5	577,8
13	50,0	100,3	199,4	300,6	400,0	449,2	501,2	575,0
14	50,7	100,3	199,7	301,3	398,9	449,9	502,3	575,0
15	49,3	101,3	198,6	299,9	402,1	451,0	501,2	562,2
16	50,4	100,3	199,4	300,9	402,5	449,9	514,8	562,2
17	51,1	100,6	199,7	299,5	401,1	450,6	504,4	562,2
18	49,7	101,7	199,0	300,2	401,8	449,5	502,6	562,2
19	51,1	100,3	199,4	299,5	400,7	450,3	514,1	542,9
20	49,7	101,0	198,3	301,6	401,4	451,3	504,1	547,9
21	50,0	100,3	199,4	301,3	402,1	449,2	500,9	558,6
22	50,7	100,3	200,1	299,5	401,1	450,6	503,4	561,5
23	49,7	101,3	198,6	300,6	401,8	449,2	514,4	539,4
24	50,4	100,3	199,7	299,5	400,4	449,5	500,5	561,1
25	51,1	100,6	200,1	299,9	401,4	448,8	515,5	561,5
26	50,0	101,7	199,4	300,9	398,9	449,2	500,5	560,0
27	51,1	100,3	200,1	301,3	400,4	449,5	512,3	572,9
28	49,7	101,3	199,0	300,6	399,3	448,8	515,5	561,8
29	50,0	100,3	199,7	301,3	400,4	448,8	516,5	574,6
30	50,7	100,6	199,7	301,6	398,9	449,2	501,2	574,6
31	49,3	100,3	199,0	300,6	399,3	448,8	513,0	574,6
32	50,4	100,3	199,7	300,9	401,1	449,5	511,9	561,1
33	49,7	101,3	198,6	300,2	401,4	450,3	510,8	561,1
34	50,0	100,3	199,7	300,6	400,0	449,2	503,7	542,2
35	51,1	100,6	197,9	301,3	401,1	449,2	514,1	542,2
36	49,7	101,7	199,0	300,2	401,4	450,3	503,0	543,6
37	50,7	100,3	199,7	299,5	400,4	449,2	502,3	543,6
38	49,7	101,3	198,3	301,6	399,3	449,2	502,3	544,0
39	50,4	100,3	199,0	300,9	400,0	452,4	514,4	541,5
40	51,1	100,6	199,7	300,9	401,1	451,0	502,6	543,3

41	49,7	100,3	198,6	300,6	401,4	451,7	503,0	546,5
42	51,1	100,3	199,4	300,9	400,7	448,8	502,3	540,4
43	49,7	101,0	200,1	300,9	399,6	449,5	502,3	540,4
44	50,0	99,9	198,6	300,6	399,6	450,6	538,6	540,4
45	51,1	100,3	200,1	298,8	401,4	449,2	538,6	540,8
46	49,7	101,7	200,1	300,2	401,8	449,5	500,5	539,4
47	50,4	100,3	199,4	300,6	400,4	450,6	501,9	544,3
48	49,7	100,6	198,6	299,1	401,1	449,9	500,5	539,0
49	50,0	102,1	200,8	300,2	399,3	449,9	503,0	539,4
50	51,1	100,3	200,1	300,9	400,7	448,8	502,3	541,9
51	50,0	101,3	198,6	299,5	399,3	449,2	512,6	541,9
52	51,1	100,3	199,0	300,2	400,4	451,0	512,6	543,3
53	49,7	100,6	200,1	299,1	399,3	449,5	512,6	542,2
54	50,0	99,9	199,0	300,2	399,6	451,0	512,6	542,9
55	51,1	100,3	199,7	300,9	400,7	451,7	503,4	537,2
56	49,7	101,3	198,3	299,1	399,3	449,9	500,5	540,4
57	50,4	100,3	199,4	300,6	400,4	451,0	501,6	541,9
58	51,1	100,6	198,3	300,9	401,4	449,2	499,4	541,5
59	50,0	100,3	198,6	299,9	400,0	450,3	500,5	573,9
60	51,1	100,3	199,4	300,6	398,9	451,0	500,5	543,6
61	49,7	101,3	200,1	301,3	399,6	451,7	501,6	544,0
62	50,4	100,3	199,0	300,2	401,4	450,6	500,5	545,1
63	49,7	100,6	199,7	299,1	402,9	449,2	500,5	539,4
64	50,0	100,3	200,4	299,9	399,6	450,6	501,9	540,1
65	51,1	100,3	199,7	300,9	402,5	449,2	501,9	542,9
66	49,3	101,3	200,4	299,5	401,1	452,0	503,0	541,9
67	50,4	100,3	200,4	300,6	399,6	450,6	501,9	548,6
68	49,7	100,6	200,1	299,1	401,1	451,3	500,9	538,6
69	49,7	100,3	198,6	300,6	399,6	450,3	503,7	541,5
70	51,1	100,3	199,0	300,9	400,0	451,0	500,5	542,6
71	49,7	101,3	198,3	299,5	401,4	449,5	501,6	543,6
72	49,7	100,3	200,1	300,6	398,9	450,6	501,6	543,6
73	51,1	100,6	199,7	300,9	400,4	451,0	503,0	549,0
74	49,7	100,3	198,6	299,9	399,3	450,3	503,0	543,6
75	50,0	100,3	199,4	300,9	399,6	451,0	501,6	575,0
76	50,7	101,3	200,1	301,3	399,3	451,3	501,6	575,0
77	49,7	100,3	200,4	300,6	401,4	449,9	501,2	573,9
78	50,4	100,6	197,9	301,3	402,5	450,6	501,6	572,9
79	51,1	100,3	198,6	300,2	400,7	453,5	500,9	571,1
80	50,0	100,3	199,0	300,9	399,3	449,9	500,9	572,5
81	50,7	101,3	199,7	301,3	402,5	451,0	528,3	542,6
82	49,7	100,3	200,4	300,6	401,1	451,0	503,0	541,5
83	50,0	100,6	199,7	301,3	401,4	451,7	503,4	540,8
84	50,7	99,9	198,6	299,9	402,9	450,6	502,6	573,2

85	49,7	100,3	199,4	300,9	401,4	451,3	504,4	573,9
86	50,4	101,3	200,1	300,9	402,1	450,3	501,6	576,1
87	51,1	100,3	198,3	300,2	398,9	451,0	502,3	544,0
88	49,7	101,0	199,4	301,3	401,1	449,9	503,0	543,3
89	50,7	100,3	198,6	299,9	399,6	450,3	504,1	541,1
90	49,3	100,6	200,4	300,9	401,1	450,6	504,8	562,5
91	50,4	99,9	200,1	299,5	401,8	452,0	503,7	562,9
92	50,0	100,3	198,6	300,9	400,0	450,6	502,3	573,2
93	50,0	101,3	199,7	300,9	400,4	450,6	503,0	573,9
94	51,1	100,3	198,6	299,9	398,9	449,9	503,4	575,0
95	50,0	100,6	198,6	300,6	400,4	451,0	502,6	572,9
96	51,1	101,7	199,7	299,1	398,9	449,2	504,1	574,3
97	49,7	100,3	198,6	300,6	398,9	450,3	525,1	573,2
98	50,4	101,0	199,4	300,9	400,7	448,8	525,1	543,6
99	51,1	99,9	200,1	299,5	399,3	449,2	524,7	572,9
100	49,7	100,3	198,6	300,6	400,4	450,6	504,8	573,6
101	51,1	101,3	199,7	300,9	400,7	451,0	503,4	571,4
102	49,7	100,3	200,1	299,9	399,6	450,3	503,0	572,9
103	50,4	100,6	199,4	300,9	398,2	451,3	503,4	571,4
104	50,7	100,3	200,1	299,5	398,9	451,7	502,6	574,3
105	49,7	100,3	200,4	300,6	400,0	453,1	503,0	543,3
106	50,4	101,3	198,3	301,3	403,2	453,1	501,9	571,8
107	49,7	100,3	197,9	300,2	399,3	451,7	501,9	571,8
108	49,7	101,0	199,4	300,9	400,4	452,4	503,4	573,2
109	50,7	100,3	200,1	299,9	403,6	450,6	501,9	573,2
110	49,7	100,6	199,0	300,9	402,1	449,5	505,1	574,3
111	50,0	99,9	199,7	299,1	401,1	452,4	524,0	573,2
112	50,7	100,3	197,9	299,9	399,6	452,8	506,2	571,8
113	49,3	101,0	199,7	300,9	400,7	452,0	506,9	572,9
114	50,4	99,9	198,6	299,1	398,9	452,0	520,5	573,2
115	51,1	100,3	198,6	299,9	400,4	453,1	522,3	573,9
116	49,7	101,3	199,7	300,6	401,4	451,7	521,5	573,9
117	50,7	100,3	198,3	299,5	399,3	452,8	502,3	573,2
118	49,7	101,0	199,4	299,9	400,7	451,0	502,3	574,3
119	50,4	100,3	200,1	300,9	401,1	452,0	518,0	575,4
120	51,1	100,6	198,6	301,3	400,0	450,3	518,0	573,6
121	50,0	99,9	199,7	300,2	400,7	451,0	514,8	572,1
122	51,1	100,3	197,9	301,3	401,4	451,3	514,8	571,8
123	49,7	101,3	199,0	299,5	400,7	450,6	516,5	571,8
124	50,0	100,3	199,7	300,6	401,1	450,6	516,2	574,6
125	51,1	100,6	198,6	299,1	400,0	451,7	516,9	574,6
126	49,7	101,7	199,4	300,2	401,1	452,4	515,1	576,4
127	50,4	100,3	200,1	300,9	399,6	450,6	504,4	574,6
128	51,1	101,3	199,4	300,9	400,4	450,3	516,5	572,9

129	50,0	99,9	200,4	300,6	398,6	450,6	513,0	572,5
130	51,1	100,6	198,6	299,5	401,8	451,3	516,2	573,2
131	49,7	101,7	199,7	299,5	398,6	452,4	514,1	573,9
132	50,0	100,3	200,1	300,6	401,1	451,3	515,1	573,2
133	50,7	101,0	199,4	298,8	400,4	451,7	516,5	573,6
134	49,7	100,3	200,1	299,9	398,9	450,6	514,8	573,2
135	50,4	100,3	198,3	300,9	399,6	452,0	516,2	541,9
136	49,7	101,3	199,4	301,3	400,4	451,0	516,9	542,6
137	49,7	100,3	199,7	299,9	398,9	451,3	515,1	572,9
138	50,7	101,0	200,4	298,8	400,0	450,3	520,1	541,9
139	49,7	100,3	199,4	299,5	401,1	451,0	514,4	542,6
140	50,4	100,6	199,7	300,6	401,4	449,5	517,6	576,1
141	51,1	99,9	199,7	300,9	400,7	450,6	520,5	542,2
142	50,0	99,9	199,4	299,9	398,9	448,5	520,8	573,2
143	51,1	101,0	200,1	298,8	400,0	449,9	517,6	573,6
144	49,7	99,9	198,6	298,8	398,9	451,3	525,5	576,1
145	50,0	100,3	199,7	300,2	399,6	450,3	501,9	575,4
146	50,7	101,3	200,1	299,5	398,9	451,0	502,3	575,7
147	49,7	100,3	199,0	299,9	399,6	451,3	503,0	572,5
148	50,4	100,6	199,7	300,9	398,6	450,6	503,4	573,2
149	51,1	101,7	198,6	299,5	399,3	451,3	504,1	574,6
150	50,0	100,3	199,4	300,6	400,7	449,9	515,1	575,4
151	51,1	101,3	200,1	299,5	401,1	451,3	501,9	573,9
152	49,7	100,3	199,4	299,5	397,5	449,5	516,2	575,0
153	49,7	101,0	200,1	300,6	398,6	450,6	503,7	573,6
154	51,1	100,3	200,4	299,1	398,6	450,6	504,1	576,4
155	49,7	100,6	199,7	300,2	400,0	452,0	537,9	573,9
156	50,0	100,3	199,7	300,9	400,7	448,8	518,3	573,6
157	51,1	100,3	199,0	299,5	398,9	451,7	504,4	574,6
158	49,7	101,3	200,1	300,2	397,5	452,0	501,2	573,6
159	50,4	100,3	200,4	300,9	398,2	451,0	524,7	575,0
160	51,1	100,6	199,4	299,5	398,9	452,0	525,1	573,2
161	49,7	100,3	200,1	300,6	400,0	451,0	503,4	573,9
162	51,1	100,3	200,4	299,5	398,6	451,0	518,7	572,9
163	49,7	101,3	199,7	299,9	399,3	450,6	537,6	573,2
164	50,0	100,3	198,6	300,9	398,6	450,6	526,9	573,9
165	50,7	100,6	199,4	299,9	399,3	449,9	502,3	572,9
166	49,3	100,3	199,7	300,6	399,3	449,9	526,2	573,6
167	50,4	100,3	198,3	299,5	398,6	448,8	505,9	574,6
168	50,0	101,3	199,0	300,2	398,9	449,5	502,3	572,9
169	49,7	100,3	199,7	299,5	400,0	450,6	503,0	572,5
170	50,7	100,6	198,3	299,9	401,1	450,3	505,9	572,9
171	49,7	100,3	199,4	299,1	401,4	449,5	505,9	571,4
172	50,0	100,3	198,3	299,5	400,4	450,3	503,4	571,8

173	50,7	101,3	199,0	300,6	401,1	451,0	501,6	572,9
174	49,3	100,3	200,1	299,5	399,6	449,5	504,1	573,9
175	50,4	100,6	198,6	299,9	398,6	450,3	503,4	572,5
176	50,0	100,3	199,4	300,9	400,7	450,6	501,9	572,9
177	50,0	100,3	200,4	300,9	400,4	450,3	502,6	572,9
178	51,1	101,3	199,4	300,2	401,1	448,5	504,1	572,9
179	49,7	100,3	200,4	300,9	399,3	449,5	503,0	572,9
180	50,7	100,6	199,0	299,5	400,7	450,6	505,5	572,9
181	49,7	100,3	199,7	299,9	399,3	451,3	504,1	573,2
182	50,0	100,3	198,3	301,3	398,2	449,2	507,6	572,1
183	50,7	101,3	199,4	299,1	398,9	448,5	539,0	572,9
184	49,3	100,3	200,1	300,9	399,6	448,8	506,6	573,2
185	50,4	100,6	200,1	299,5	400,7	450,3	503,7	573,9
186	51,1	100,3	199,7	299,5	399,3	451,0	506,6	575,0
187	49,7	100,3	198,6	299,1	400,4	449,2	503,4	575,4
188	50,7	101,3	199,0	299,1	399,3	451,0	501,9	577,1
189	49,3	100,3	199,7	300,9	400,4	448,8	536,2	572,9
190	50,4	100,6	198,3	299,5	400,7	450,3	538,6	573,9
191	50,0	100,3	199,4	299,9	399,3	451,0	502,3	572,5
192	50,0	100,3	200,1	300,9	400,4	449,2	501,9	561,5
193	51,1	101,3	198,6	299,5	398,9	450,6	504,1	573,9
194	49,7	100,3	199,7	300,6	399,6	451,0	503,4	561,5
195	50,7	100,6	200,1	299,5	400,7	449,9	506,6	561,5
196	49,3	100,3	199,0	299,9	398,9	451,0	521,2	542,9
197	50,4	100,3	199,7	301,3	400,0	451,3	501,9	573,9
198	50,0	101,3	198,3	299,1	398,9	450,3	504,1	573,2
199	50,0	100,3	199,7	300,6	399,3	449,2	502,3	576,4
200	50,0	100,6	200,1	299,5	398,6	450,3	504,1	573,2
Mitjana	50,23	100,60	199,39	300,29	400,10	450,44	508,39	562,80
Desviació	0,57	0,47	0,68	0,72	1,18	1,09	9,23	14,47

ANNEX 4: GRÀFIQUES COMPLETES DE LES PROVES DINÀMIQUES

A4.1. Llançament 1 30/5

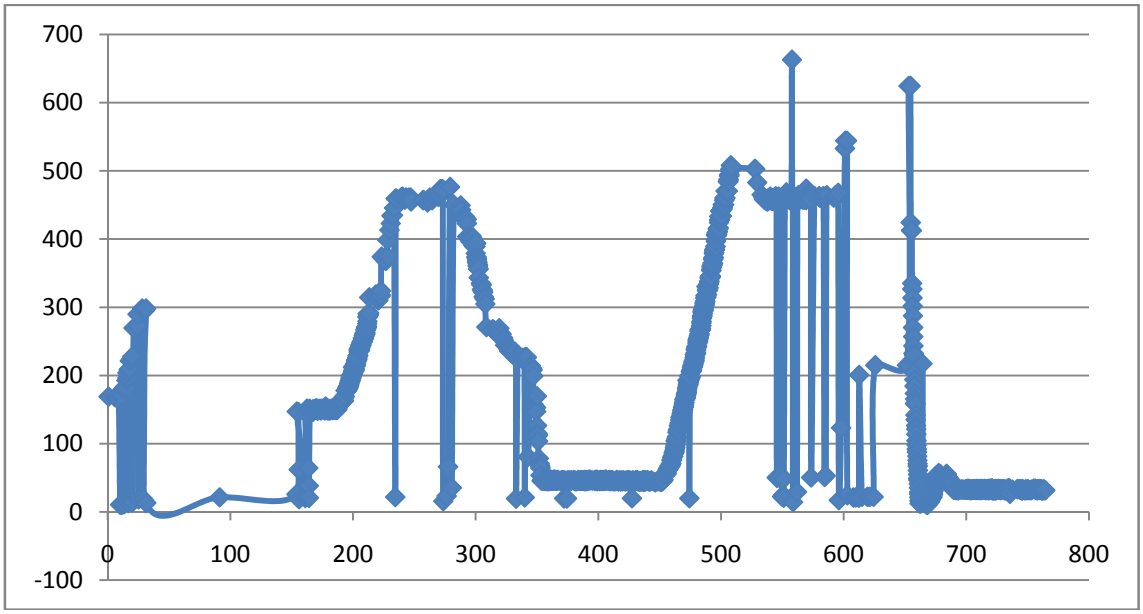


Fig. A4.1 Gràfica de dispersió del llançament 1 30/5 complet

A4.2. Llançament 2 30/5

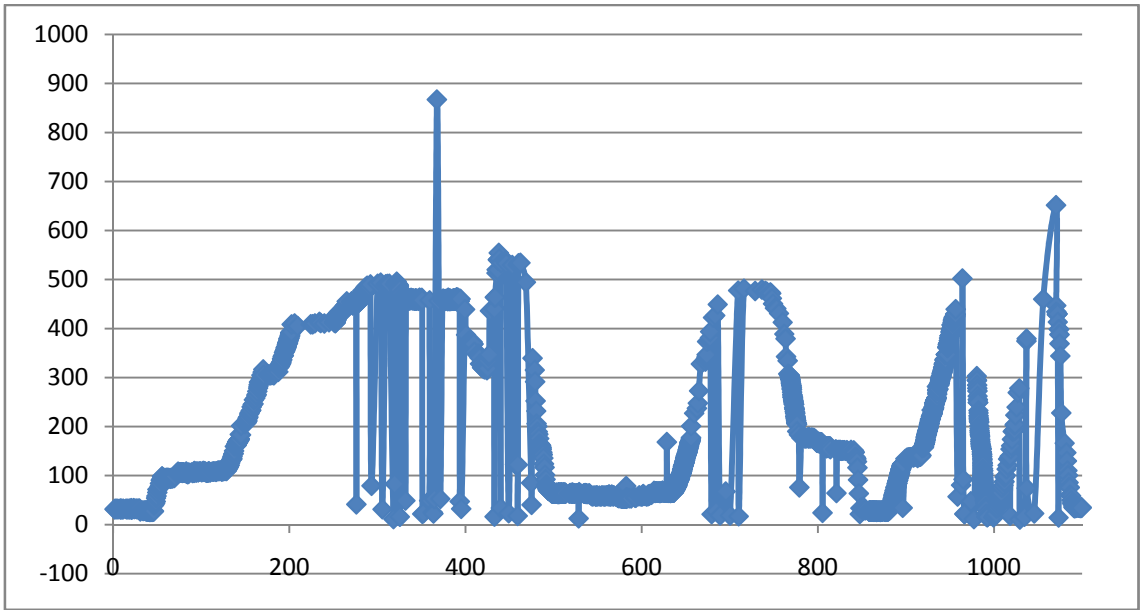


Fig. A4.2 Gràfica de dispersió del llançament 2 30/5 complet

A4.3. Llançament 1 30/5

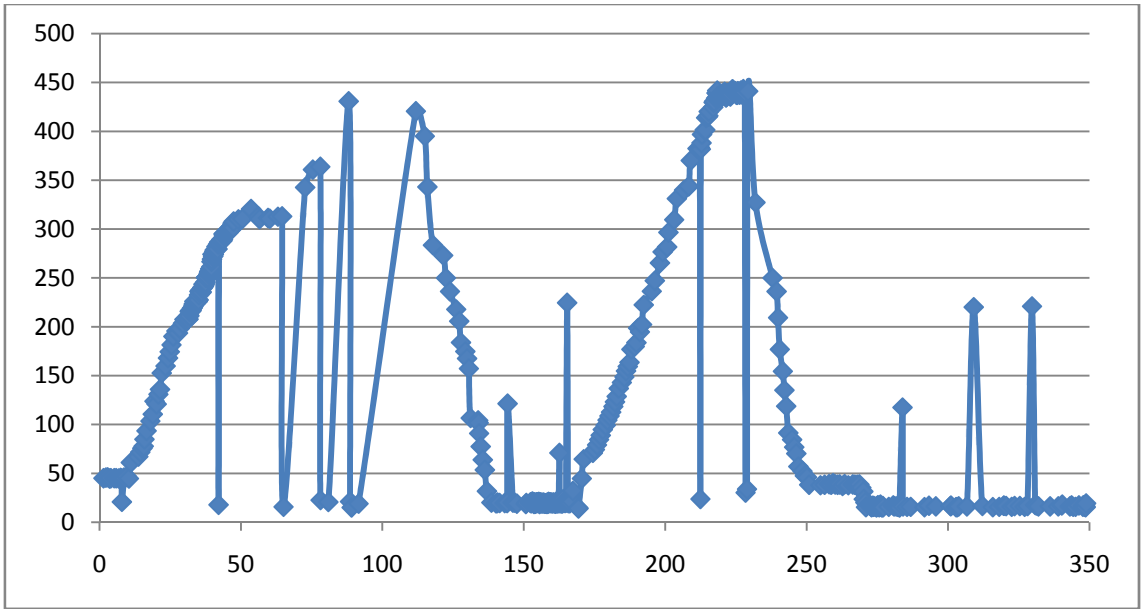


Fig. A4.3 Gràfica de dispersió del llançament 3 30/5 complet

A4.4. Llançament 1 6/6

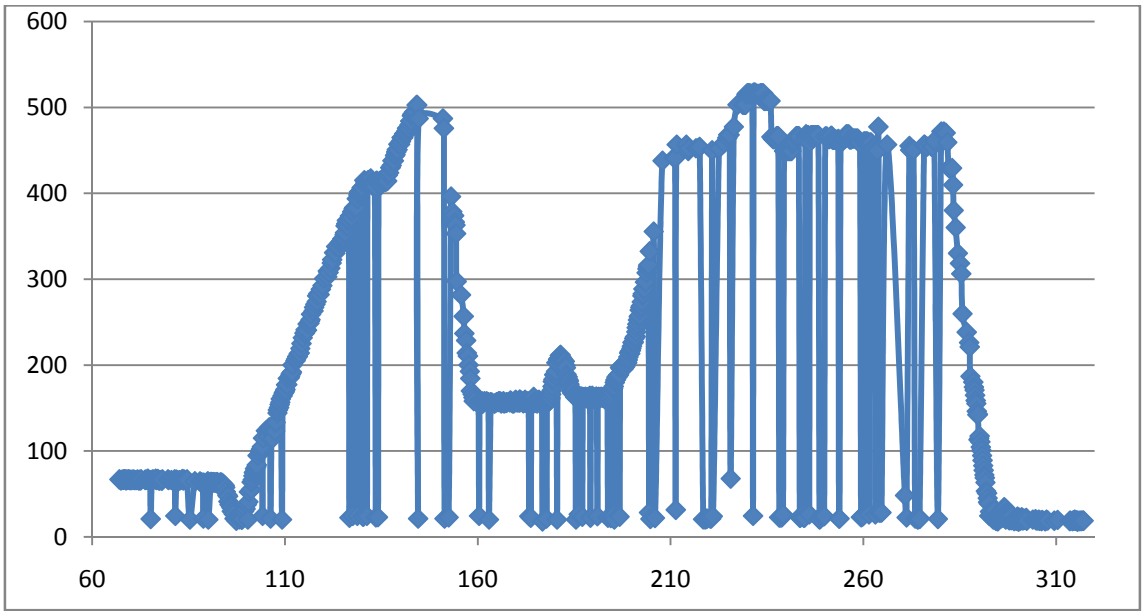


Fig. A4.4 Gràfica de dispersió del llançament 1 6/6 complet

A4.5. Llançament 2 6/6

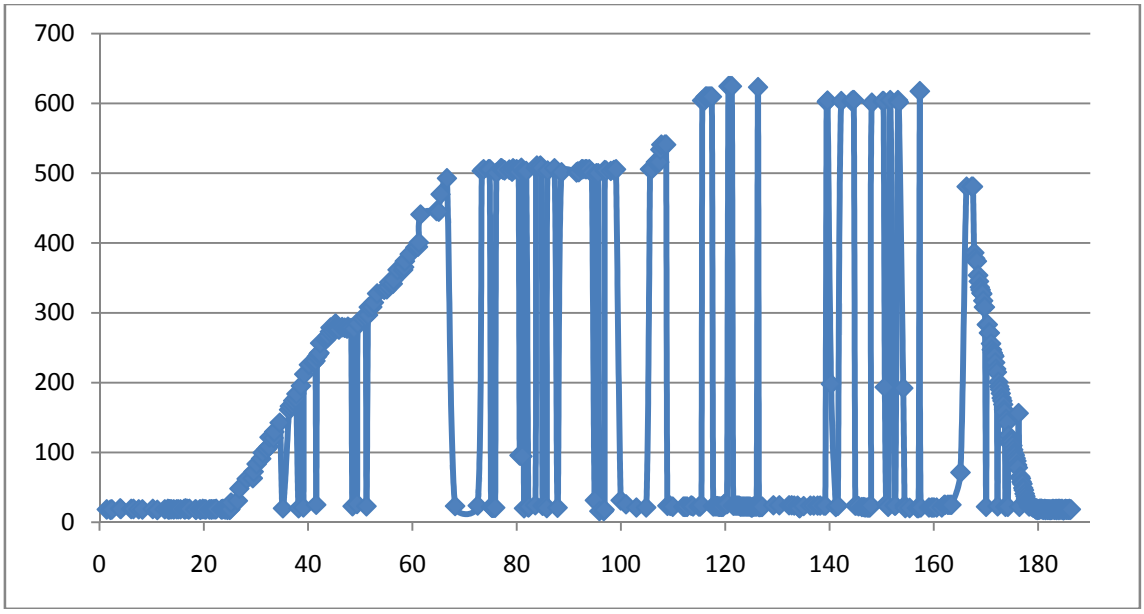


Fig. A4.5 Gràfica de dispersió del llançament 2 6/6 complet

A4.6. Llançament 3 6/6

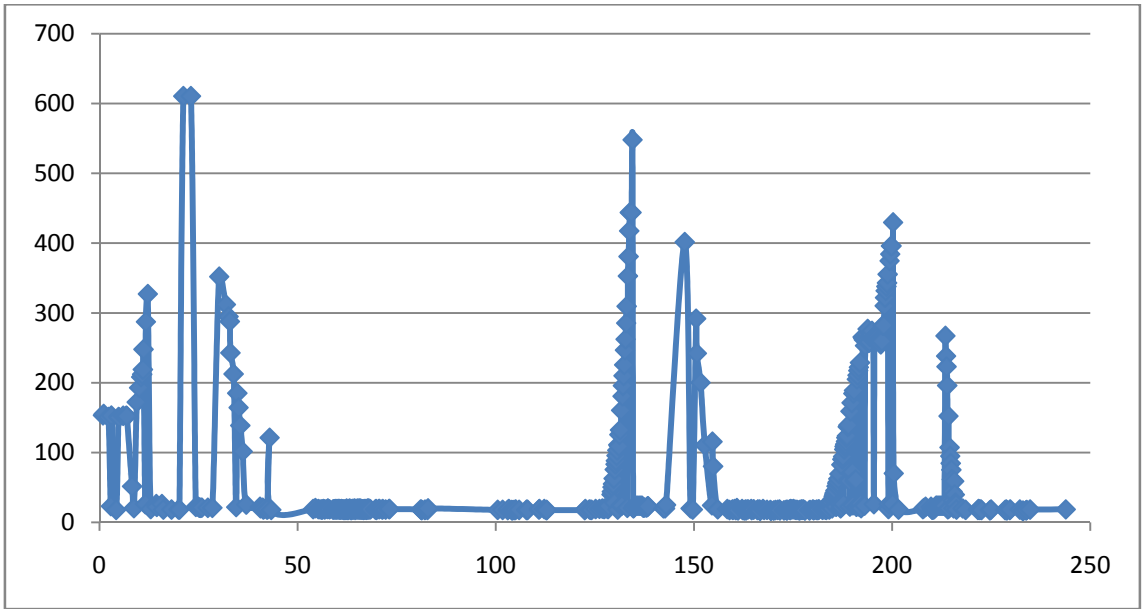


Fig. A4.6 Gràfica de dispersió del llançament 3 6/6 complet

A4.7. Llançament 4 6/6

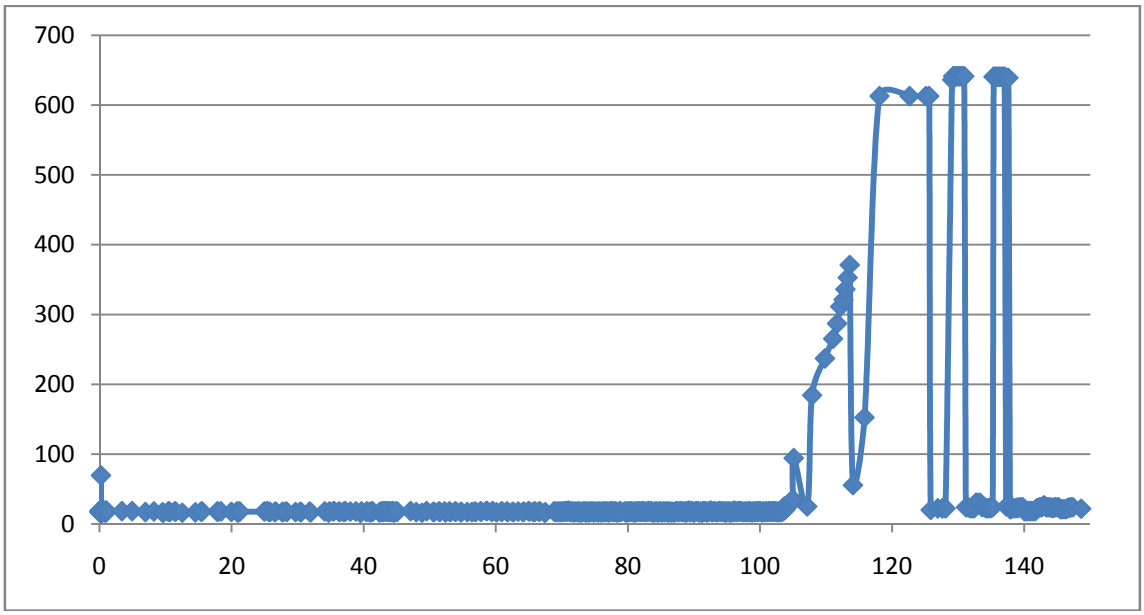


Fig. A4.7 Gràfica de dispersió del llançament 4 6/6 complet

A4.8. Llançament 5 6/6

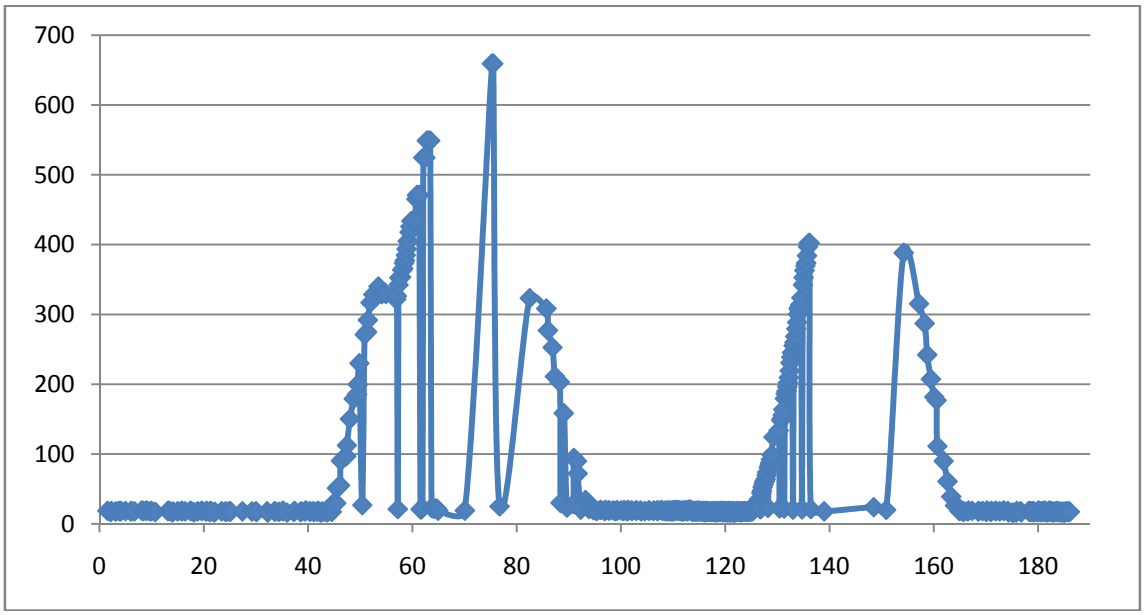


Fig. A4.8 Gràfica de dispersió del llançament 5 6/6 complet

A4.9. Llançament 6 6/6

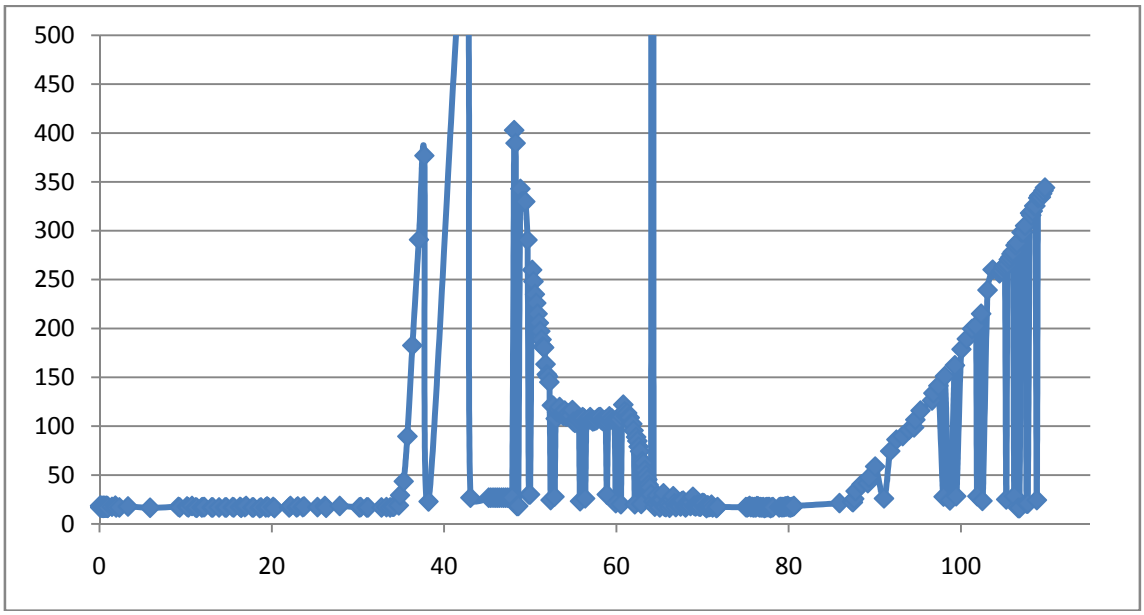


Fig. A4.9 Gràfica de dispersió del llançament 6 6/6 complet

A4.10. Llançament 7 6/6

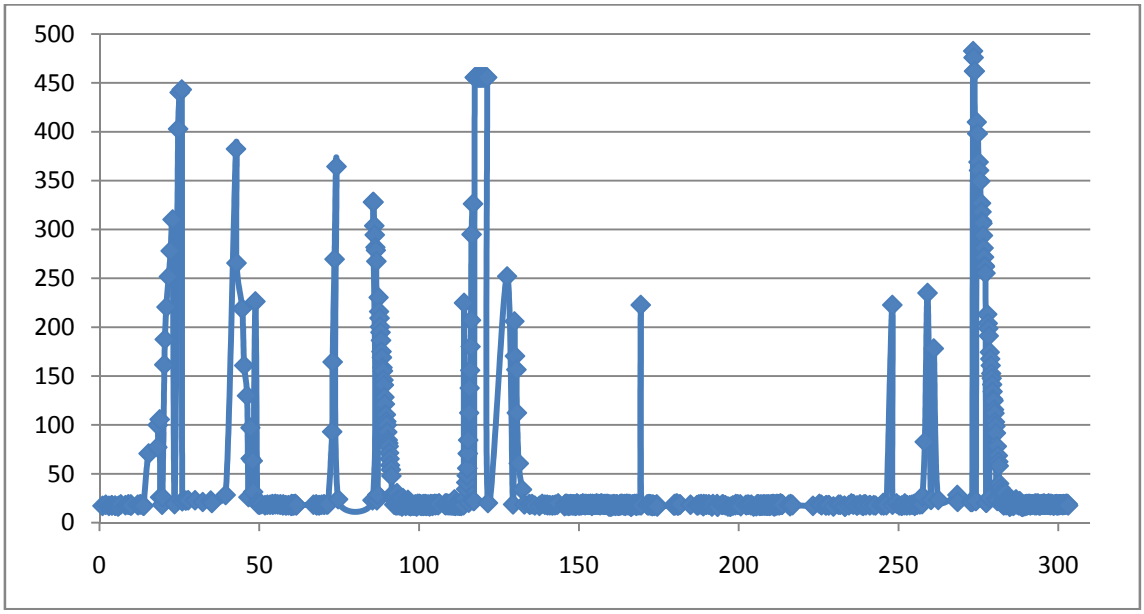


Fig. A4.10 Gràfica de dispersió del llançament 7 6/6 complet

A4.11. Llançament 8 6/6

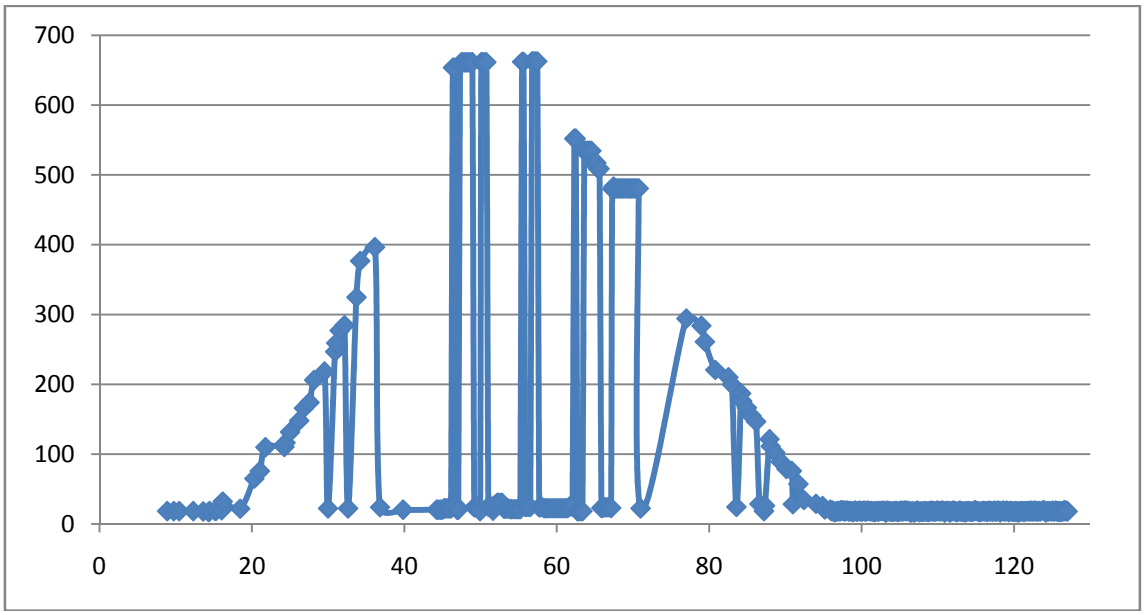


Fig. A4.11 Gràfica de dispersió del llançament 8 6/6 complet

A4.12. Llançament 9 6/6

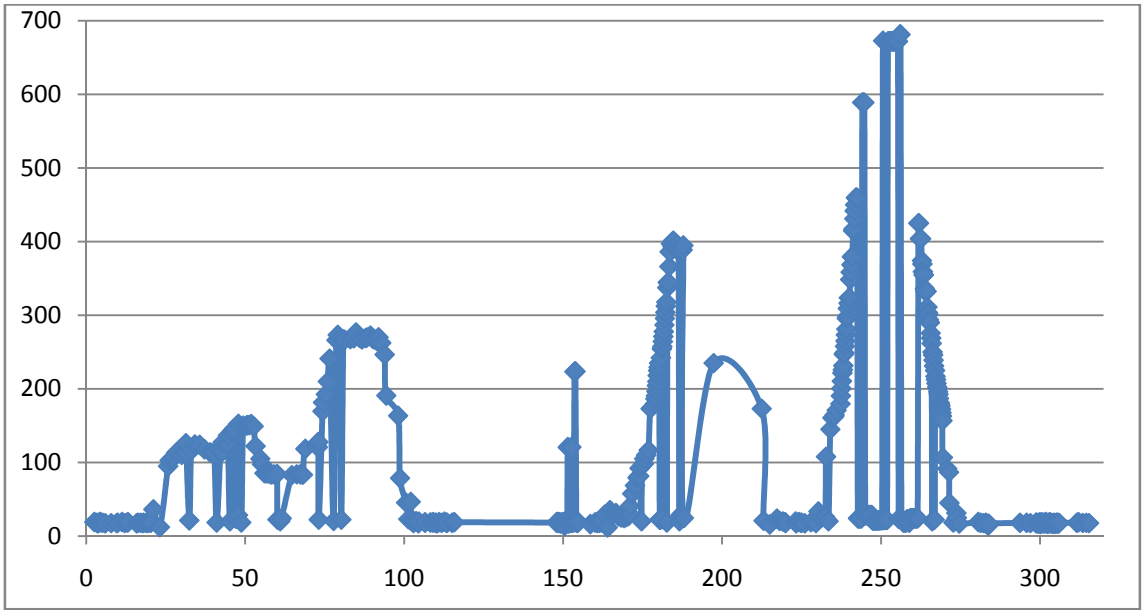


Fig. A4.12 Gràfica de dispersió del llançament 9 6/6 complet

ANNEX 5: CD DE DOCUMENTACIÓ

Degut al gran nombre de dades que s'han d'annexar, es presenten en forma de CD. El CD té les següents seccions.

A5.1. Bibliografia

S'adjunten els programes que s'han utilitzat com a exemple per desenvolupar el projecte. Han estat de gran utilitat ja que cadascun dels introdueix una nova funció. Tots ells han servit per entendre clarament com funciona un PSoC.

A5.2. Codi de desenvolupament

Hi ha totes les compilacions importants que s'han anat fent a mesura que es dissenyava el PSoC. Amb cada pas s'anava aprenent una nova funció fins a arribar a la versió definitiva del codi.

A5.3. Codi de definitiu

És la carpeta que conté el codi definitiu del PSoC. Després de moltes proves per cada nova funció en aquest codi es va aconseguir ajuntar-les i que tot funcionés.

A5.4. Programa de recepció

Hi ha les diferents versions del programa de recepció en labview. Cada nova versió millora l'anterior afegint noves funcions com el filtrat d'errors o la funció de còpia a Excel.

A5.5. Proves estàtiques

Conté les taules de valors i les gràfiques de totes les proves estàtiques realitzades.

A5.6. Proves dinàmiques

Conté tots els valors i les gràfiques obtingudes en totes les proves dinàmiques.

A5.7. Fotografies i vídeos del treball

Hi ha un recull de fotografies i vídeos que mostren el dispositiu, el seu funcionament i com es van realitzar les proves dinàmiques.