



DISSENY I VERIFICACIÓ D'UNA APLICACIÓ D'ALTIMETRIA A PARTIR DE BARÒMETRE BASADA EN SMARTPHONES

Treball de Fi de Grau
Presentat a la Facultat de l'
Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de
Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya
per
Joan Sansa Melsion

En compliment parcial
dels requisits per al grau en
ENGINYERIA DE SISTEMES AUDIOVISUALS

Codirectors
Miquel Angel Garcia Gonzalez
Federico Guede Fernández

Barcelona, Juny 2018

Abstract

This project arises from the need to incorporate the measure of altitude and ascent to mobile applications intended to improve the life quality through the monitoring of daily physical activity. To improve the characteristics of altimeters based on GPS location, an application for smartphones has been developed based on barometers that have start being mounted. Since the atmospheric pressure values obtained not only depend on altitude, all the factors that affect the pressure have been analysed and a series of models has been established that relate these factors with the atmospheric pressure to be able to calculate the altitude from them.

The sensor of the smartphone has also been characterized to determine errors and losses, which may negatively affect the calculation of altitude, by comparing it with a reference trusted sensor. Then, it has been tried to make the measure independent from all the different meteorological changes that can vary the pressure, studying the connection with the nearest weather stations to obtain the necessary data to correct the atmospheric pressure used in altimetry. Finally, the altitude obtained by each of the proposed models has been compared with the known altitude and the optimum model has been programmed in an Android application. This application achieves an error in the absolute altitude value lower than 10 meters and the altitude change that it can detect is lower than 1 meter.

Resum

Aquest projecte sorgeix de la necessitat d'incorporar la mesura d'altitud i desnivell a les aplicacions mòbils destinades a millorar la qualitat de vida a través del monitoratge de l'activitat física diària. Per poder augmentar les prestacions dels altímetres basats en la localització GPS, s'ha desenvolupat una aplicació per a smartphones basada en el baròmetre que comencen a incorporar alguns models. Com que els valors de pressió atmosfèrica obtinguts no només depenen de l'altitud, s'han analitzat tots els factors que afecten la pressió i s'ha establert un seguit de models que relacionen aquests factors i la pressió atmosfèrica per poder calcular-ne l'altitud.

També s'ha caracteritzat el sensor del mòbil per determinar-ne errors i derives, que poden afectar negativament al càlcul de l'altitud, mitjançant la comparació amb un sensor de referència. Seguidament s'ha volgut independitzar la mesura de l'altitud dels diferents canvis meteorològics que poden fer variar la pressió, estudiant la connexió amb les estacions meteorològiques més properes per obtenir-ne les dades necessàries i poder corregir la pressió atmosfèrica que s'utilitzi en l'altimetria. Finalment, s'ha comparat l'altitud obtinguda per cadascun dels models proposats amb l'altitud coneguda i implementant el model òptim en una aplicació Android. Aquesta aplicació aconsegueix un error en el valor d'altitud absoluta de menys de 10 metres i és capaç de detectar desnivells menors a 1 metre.

Resumen

Este proyecto surge de la necesidad de incorporar la medición de altitud y desnivel en las aplicaciones móviles destinadas a mejorar la calidad de vida a través de la monitorización de la actividad física diaria. Para poder aumentar las prestaciones de los altímetros basados en la localización GPS, se ha desarrollado una aplicación para smartphones basada en el barómetro que empiezan a incorporar algunos modelos. Como los valores de presión atmosférica obtenidos no sólo dependen de la altitud, se han analizado todos los factores que afectan a la presión y se ha establecido una serie de modelos que relacionan estos factores y la presión atmosférica para poder calcular la altitud.

También se ha caracterizado el sensor del móvil para determinar errores y derivas, que pueden afectar negativamente el cálculo de la altitud, mediante la comparación con un sensor de referencia. Seguidamente se ha querido independizar la medida de la altitud de los diferentes cambios meteorológicos que pueden hacer variar la presión, estudiando la conexión con las estaciones meteorológicas más cercanas para obtener los datos necesarios y poder corregir la presión atmosférica que se utilice en la altimetría. Finalmente, se ha comparado la altitud obtenida por cada uno de los modelos propuestos con la altitud conocida e implementando el modelo óptimo en una aplicación Android. Esta aplicación consigue un error en el valor de altitud absoluta de menos de 10 metros y es capaz de detectar desniveles menores a 1 metro.

Agraïments

Aquest projecte no hauria arribat al que s'ha aconseguit si no fos pel suport dels codirectors Miquel Angel Garcia Gonzalez i Federico Guede Fernández que han estat disposats en tot moment a resoldre dubtes i proposar solucions essencials per al resultat final.

Destacar les facilitats proporcionades pel grup de recerca d'Instrumentació Electrònica i Biomèdica del Departament d'Enginyeria Electrònica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona (ETSETB), ja que sense el telèfon i el sensor prestat, hauria estat impossible provar l'aplicació degudament.

Historial de revisions i registre d'aprovacions

Revisió	Data	Propòsit
0	07/06/2018	Creació del document
1	25/06/2018	Revisió del document
2	29/06/2018	Modificació del document
3	29/06/2018	Revisió final del document

LLISTA DE DISTRIBUCIÓ DEL DOCUMENT

Nom	Correu electrònic
Joan Sansa Melsion	joansansam@gmail.com
Miquel Angel Garcia Gonzalez	miquel.angel.garcia@upc.edu
Federico Guede Fernández	federico.guede@upc.edu

Escrit per:		Revisat i aprovat per:	
Data	29/06/2018	Data	29/06/2018
Nom	Joan Sansa Melsion	Nom	Miquel Angel Garcia Gonzalez Federico Guede Fernández
Càrrec	Autor del projecte	Càrrec	Codirectors del projecte

Taula de continguts

Abstract	2
Resum	3
Resumen	4
Agraïments	5
Historial de revisions i registre d'aprovacions	6
Taula de continguts	7
Llista de Figures	8
Llista de Taules	10
1. Introducció	11
1.1. Objectius	11
1.2. Antecedents del projecte	11
1.3. Requisits i especificacions	12
1.4. Pla de treball.....	12
1.5. Incidències i desviacions del pla inicial	16
2. Estat de l'art en altimetria mitjançant baròmetres.....	17
3. Model que relaciona la pressió atmosfèrica amb l'altitud	19
4. Caracterització del sensor de pressió	27
5. Obtenció de dades de les estacions meteorològiques més properes.....	35
6. Desenvolupament de l'aplicació que proporciona l'altitud	40
7. Validació de l'altimetria	55
8. Pressupost	59
9. Conclusions.....	60
Bibliografia.....	61
Annexes	63
Glossari	69

Llista de Figures

Figura 1: Diagrama de flux del projecte.	13
Figura 2: Diagrama de Gantt del projecte de la setmana 1 a la 8.....	15
Figura 3: Diagrama de Gantt del projecte de la setmana 8 a la 15.....	15
Figura 4: Diagrama de Gantt del projecte de la setmana 15 a la 22.....	15
Figura 5: Utilització del mètode per obtenir l'altitud de la pressió.	21
Figura 6: Expressió del mètode "getAltitude".	21
Figura 7: Equació que segueix el model d'Android.	21
Figura 8: Fórmula hipsomètrica.	21
Figura 9: Fórmula baromètrica si el gradient adiabàtic és diferent de zero.	22
Figura 10: Fórmula baromètrica si el gradient adiabàtic és igual a zero.....	22
Figura 11: Equació baromètrica.	23
Figura 12: Fórmula de l'altitud característica.	23
Figura 13: Fórmula internacional de l'anivellament baromètric.	23
Figura 14: Equació de la temperatura virtual mitjana.	24
Figura 15: Pressió de vapor en funció de la temperatura.	24
Figura 16: Equació de la pressió reduïda a una altitud de referència Z0.....	25
Figura 17: Fórmula de l'altitud de pressió.	25
Figura 18: Conversió de l'altitud de peus a metres.	25
Figura 19: Estació meteorològica Windoo. ^[14]	27
Figura 20: Captura de pantalla de l'aplicació.	28
Figura 21: Gràfica comparativa de valors de pressió entre el baròmetre i el Windoo.	30
Figura 22: Gràfica de la resta entre els valors de pressió dels dos sensors.	30
Figura 23: Gràfica comparativa de valors de pressió entre el baròmetre i el Windoo en diferents condicions.	31
Figura 24: Gràfica de la resta entre els valors de pressió dels dos sensors en diferents condicions.	31
Figura 25: Gràfica de la temperatura mesurada pel Windoo durant 35 minuts.....	32
Figura 26: Gràfica de les mesures en pressió estable.	33
Figura 27: Ampliació de la gràfica de les mesures en pressió estable.	33
Figura 28: Gràfica de la resta entre els valors de pressió dels dos sensors en condicions de pressió estable.....	33
Figura 29: Captura d'exemple de l'aplicació.	36
Figura 30: Missatge Toast amb la pressió i la resposta JSON obtingudes.	37
Figura 31: Gràfica de la pressió obtinguda per les dues APIs durant 2,5 h.	38
Figura 32: Gràfica de la temperatura obtinguda per les dues APIs durant 2,5 h.	39

Figura 33: Captura de l'aplicació iniciant la mesura.	40
Figura 34: Captura de l'aplicació mesurant pressió.....	41
Figura 35: Captura de la pantalla de registre.	42
Figura 36: Captura de l'opció de guardar el fitxer.	43
Figura 37: Gràfica de l'altitud obtinguda amb un filtre de mitja mòbil de 8 segons de finestra.	46
Figura 38: Gràfica de l'altitud obtinguda amb un filtre de mediana de 8 segons de finestra.	47
Figura 39: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 4 segons de finestra.	47
Figura 40: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 12 segons de finestra.	48
Figura 41: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 20 segons de finestra.	48
Figura 42: Gràfica de l'altitud en pujar i baixar un pis per un filtre de mediana de 10 segons de finestra.....	49
Figura 43: Gràfica de l'altitud en pujar i baixar un pis per un filtre de mediana de 15 segons de finestra.....	49
Figura 44: Gràfica de l'altitud en pujar i baixar un pis per un filtre de mediana de 20 segons de finestra.....	50
Figura 45: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 15 segons de finestra.	50
Figura 46: Captura de la pantalla principal de l'aplicació final.	53
Figura 47: Captura de pantalla de la selecció de l'òfset.	53
Figura 48: Icona de l'aplicació.	54
Figura 49: Gràfica de dispersió de l'altitud mesurada respecte a l'altitud de l'ICGC en diferents ubicacions.	55
Figura 50: Diagrama de Bland-Altman de l'altitud mesurada respecte a l'altitud de l'ICGC en diferents ubicacions.	56
Figura 51: Gràfica de l'altitud mesurada en augmentar-la 1 metre.....	56
Figura 52: Gràfica del desnivell efectuat pel campus durant 15 minuts.....	57
Figura 53: Gràfica del desnivell en baixar a l'andana de la línia L9 a l'estació de Zona Universitària.	58



Llista de Taules

Taula 1: Valors migs del baròmetre i el Windoo.....29

Taula 2: Càlcul dels costos i amortitzacions amb el valor del pressupost total.....59

1. Introducció

Aquest Treball de Fi de Grau es du a terme al grup de recerca d'Instrumentació Electrònica i Biomèdica del Departament d'Enginyeria Electrònica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona (ETSETB) dins de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

El projecte tracta de dissenyar una aplicació d'altimetria per a mòbils a partir del baròmetre que incorporen. Per aconseguir una mesura fiable s'han estudiat les variables que fan variar la pressió atmosfèrica, les que afecten la seva mesura, així com la caracterització del sensor.

Pel càlcul de l'altitud és necessari aplicar correccions en la pressió mesurada respecte a la pressió en aquell moment a nivell del mar i la temperatura, amb l'objectiu de tenir en compte les variacions en la pressió atmosfèrica a causa dels diferents fenòmens meteorològics. Amb aquest objectiu s'ha estudiat la connexió amb les estacions meteorològiques més properes per obtenir-ne les dades necessàries.

Com a referència en les mesures s'han comparat els resultats del baròmetre del mòbil amb els extrems d'una estació meteorològica portàtil compatible amb mòbils.

1.1. Objectius

Els objectius principals del projecte són:

1. Seleccionar un model prou acurat que relacioni la pressió atmosfèrica i altres paràmetres amb l'altitud.
2. Caracterització del sensor del mòbil i comparació dels resultats amb un sensor de referència (estació meteorològica portàtil per mini jack).
3. Connexió i extracció de paràmetres d'interès de l'estació meteorològica més propera.
4. Validació dels punts anteriors i desenvolupament d'una aplicació Android que calculi l'altitud a partir de la mesura de pressió atmosfèrica i les degudes correccions d'altres variables meteorològiques obtingudes de l'estació meteorològica més propera.

1.2. Antecedents del projecte

L'increment de l'ús dels smartphones en la nostra vida diària i la conscienciació general per un estil de vida més saludable en contraposició a l'augment de feines cada vegada més sedentàries, ha propiciat l'aparició d'una gran quantitat d'aplicacions per enregistrar l'exercici físic realitzat al llarg del dia.

Actualment la majoria d'aplicacions d'aquest tipus utilitzen els sensors del mòbil com l'acceleròmetre, el GPS o les polseres amb pulsòmetre, per mesurar la distància recorreguda, els passos realitzats, o els canvis en la freqüència cardíaca.

Però gairebé cap d'aquestes aplicacions té en compte l'altitud on es realitza l'exercici o el desnivell acumulat en caminar o pujar escales. I és que no comporta el mateix esforç realitzar una caminada a la vora del mar o a 5000 metres d'altitud, o no es pot comparar pujar escales a baixar-les. I les poques que incorporen aquesta característica l'extrauen del posicionament GPS, el qual no és capaç de mesurar petits canvis en l'altitud i pot cometre errors en la mesura si falla en el posicionament.

D'aquesta manera, el grup de recerca d'Instrumentació Electrònica i Biomèdica del Departament d'Enginyeria Electrònica proposa aquest projecte per iniciar un estudi que permeti augmentar l'exactitud en mesurar l'altitud, explotant, per aquest tipus d'aplicacions, la funcionalitat del baròmetre que molts mòbils ja inclouen actualment, i poder ser utilitzat en un futur per tot tipus d'aplicacions.

1.3. Requisits i especificacions

En el plantejament inicial del projecte es va decidir que l'aplicació ha de ser capaç de mesurar canvis en l'altitud de l'ordre d'un esglaó, és a dir, una resolució d'uns 20 cm, proporcionant valors constants quan l'altitud no varia més d'aquest valor.

A més la mesura de l'altitud ha de ser capaç de funcionar tant en exteriors com interiors, en altituds tant com properes al nivell del mar com en alta muntanya, independentment d'on es porti el mòbil (mà, motxilla, butxaca...), i de les diferents condicions atmosfèriques.

L'exactitud de l'altimetria ha de ser de 10 metres i d'1 metre pels canvis de desnivell, com a mínim.

L'aplicació Android ha de suportar tot tipus de mòbils que utilitzin Android 6.0 o superior i que incloguin baròmetre. Aquesta ha d'incorporar una visualització de l'historial de les mesures de pressió realitzades i de les dades obtingudes de les diferents estacions meteorològiques.

La connexió amb les estacions meteorològiques més properes s'ha de poder realitzar en temps real cada 5 o 10 minuts i obtenir-ne les dades automàticament per realitzar les degudes correccions en el càlcul de l'altitud.

1.4. Pla de treball

1.4.1. Estructura del treball

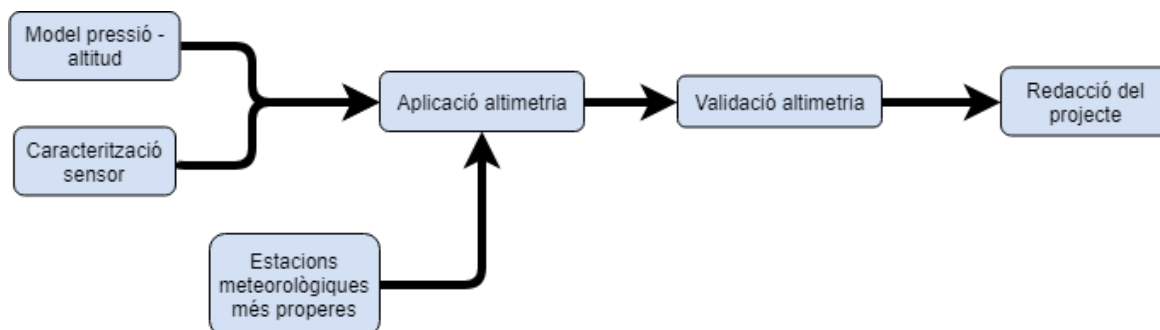


Figura 1: Diagrama de flux del projecte.

1.4.2. Paquets de treball, tasques i fites

Projecte: Altimetre per smartphones	WP ref: WP1	
Constituent principal: Establir model que relaciona pressió atmosfèrica amb l'altitud	Pàgina 1 de 3	
Descripció breu: Determinar els factors meteorològics que varien la pressió atmosfèrica i n'afecten la seva mesura. Trobar l'equació que relaciona la pressió atmosfèrica i l'altitud, tant de forma teòrica com en la seva aplicació pràctica.	Data planejada inici: 06/03 Data planejada fi: 17/04	
Tasca interna T1: Recerca de les variables de la pressió atmosfèrica. Tasca interna T2: Recerca de la mesura de la pressió atmosfèrica. Tasca interna T3: Recerca de l'equació entre pressió i altitud. Tasca interna T4: Validació de l'equació. Tasca interna T5: Recerca de l'estat-de-l'art en altimetria mitjançant baròmetres (rellotges esportius, GPS de trekking, etc.).	Entregues: Pla de treball Documentació	Dates: 05/03 17/04
Projecte: Altimetre per smartphones	WP ref: WP2	
Constituent principal: Caracterització del sensor	Pàgina 1 de 3	
Descripció breu: Extreure mesures de pressió del baròmetre de l'smartphone per determinar-ne el comportament, fent les pertinents validacions amb valors de confiança.	Data planejada inici: 13/03 Data planejada fi: 01/05	
Tasca interna T1: Accedir als valors de pressió del baròmetre de l'smartphone. Tasca interna T2: Mesures en pressió estable (per determinar-ne les derives i errors). Tasca interna T3: Comparació de les mesures amb l'estació meteorològica portàtil mini jack.	Entregues: Documentació Mesures	Dates: 01/05 01/05
Projecte: Altimetre per smartphones	WP ref: WP3	
Constituent principal: Obtenció de dades de les estacions meteorològiques més properes	Pàgina 2 de 3	

<p>Descripció breu: Connexió i extracció de dades de les estacions meteorològiques més properes</p>	<p>Data planejada inici: 27/03 Data planejada fi: 14/05</p>	
<p>Tasca interna T1: Cercar les diferents estacions meteorològiques properes i accedir a les seves dades en temps real. Tasca interna T2: Estudiar la seva integració en l'aplicació Android. Tasca interna T3: Programar una aplicació que realitzi aquesta tasca.</p>	<p>Entregues: Revisió crítica Documentació Aplicació</p>	<p>Dates: 07/05 14/05 14/05</p>

Projecte: Altimetre per smartphones	WP ref: WP4	
Constituent principal: Aplicació que proporciona l'altitud	Pàgina 2 de 3	
<p>Descripció breu: Integrar les parts anteriors per generar una aplicació que proporcioni l'altitud a partir de la pressió mesurada pel baròmetre aplicant-hi les degudes correccions provinents de la pressió atmosfèrica a nivell del mar extreta de l'estació meteorològica més propera.</p>	<p>Data planejada inici: 14/05 Data planejada fi: 11/06</p>	
<p>Tasca interna T1: Estructurar l'aplicació. Tasca interna T2: Programar-ne la lògica i l'accés a les dades remotes. Tasca interna T3: Dissenyar la interfície d'usuari. Tasca interna T4: Proves del correcte funcionament de l'aplicació.</p>	<p>Entregues: Aplicació</p>	<p>Dates: 11/06</p>

Projecte: Altimetre per smartphones	WP ref: WP5	
Constituent principal: Validació altimetria	Pàgina 2 de 3	
<p>Descripció breu: Comprovar que l'altimetria funciona en tot tipus d'escenaris.</p>	<p>Data planejada inici: 12/06 Data planejada fi: 01/07</p>	
<p>Tasca interna T1: Validació de l'altimetria en altituds conegudes. Tasca interna T2: Validació de l'altimetria en entorns hostils per al baròmetre (exterior vs. interior, canvis sobtats en la meteorologia, nivell del mar vs. alta muntanya, etc.).</p>	<p>Entregues: Mesures</p>	<p>Dates: 30/06</p>

Projecte: Altimetre per smartphones	WP ref: WP6	
Constituent principal: Redacció del projecte	Pàgina 2 de 3	
<p>Descripció breu: Redacció de la memòria final i preparació de la defensa.</p>	<p>Data planejada inici: 05/06 Data planejada fi: 09/07</p>	
<p>Tasca interna T1: Redacció de la memòria Tasca interna T2: Preparació de la presentació de la defensa Tasca interna T3: Assaig de la defensa</p>	<p>Entregues: Memòria Presentació defensa</p>	<p>Dates: 02/07 09/07</p>

Fites:

WP#	Títol breu	Fita / entrega	Data (setmana)
1	Model pressió-altitud	Pla de treball	05/03

1	Model pressió-altitud	Documentació	12/03
2	Caracterització sensor	Documentació	23/04
2	Caracterització sensor	Mesures	23/04
3	Estacions meteorològiques propres	Revisió crítica	07/05
3	Estacions meteorològiques propres	Documentació	14/05
3	Estacions meteorològiques propres	Aplicació	14/05
4	Aplicació altimetria	Aplicació	11/06
5	Validació altimetria	Mesures	30/06
6	Redacció del projecte	Memòria	02/07
6	Redacció del projecte	Presentació defensa	09/07

1.4.3. Planificació del temps (diagrama de Gantt)

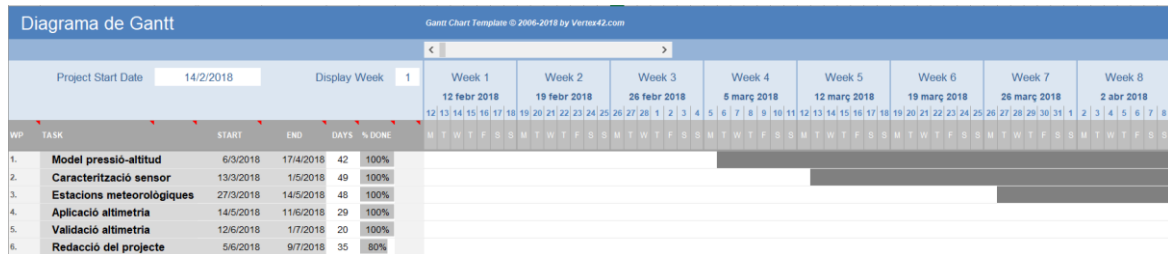


Figura 2: Diagrama de Gantt del projecte de la setmana 1 a la 8.

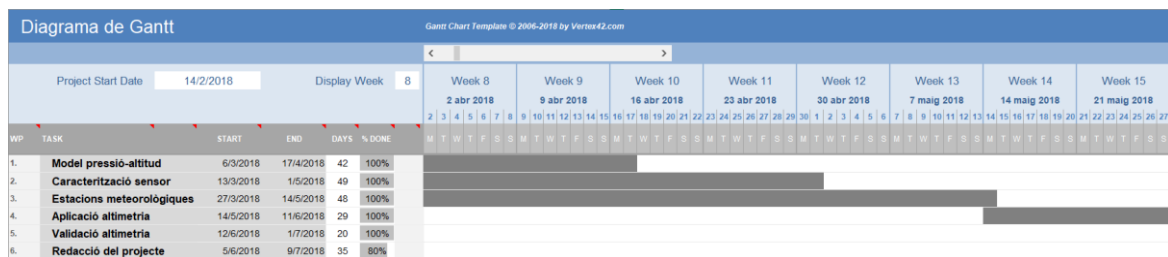


Figura 3: Diagrama de Gantt del projecte de la setmana 8 a la 15.

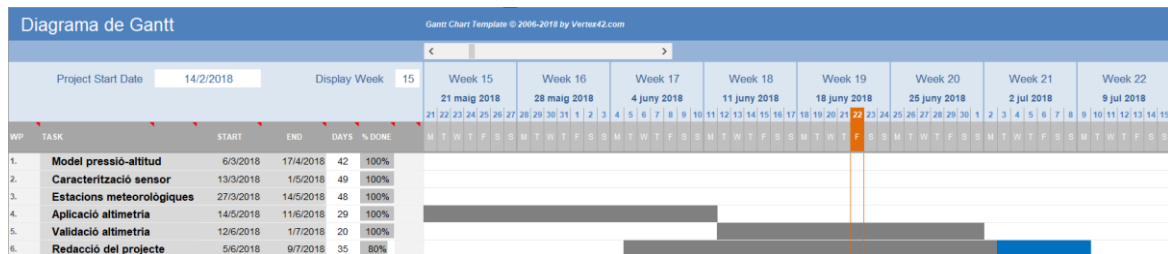


Figura 4: Diagrama de Gantt del projecte de la setmana 15 a la 22.

1.5. Incidències i desviacions del pla inicial

Segons vaig apuntar en la Revisió Crítica, alguns paquets de treball que al principi, al Pla de Treball, s'havien plantejat com feina en paral·lel, van passar a ser més seqüencials, ja que les conclusions i dades obtingudes dels primers paquets s'han utilitzat a l'hora d'implementar els següents paquets.

Ara bé, cap dels paquets de treball ja finalitzats es donaven per tancats, ja que es van haver d'aplicar correccions i afinaments a les seves fórmules i procediments utilitzats segons els resultats que es van anat obtenint als paquets de treball posteriors.

Concretament, els canvis respecte al pla inicial han estat deixar, per quan l'aplicació que proporciona l'altitud del WP4 funcionés, l'elecció de la fórmula més adient del WP1, de la millor API del temps del WP3, així com les possibles correccions que s'haguessin d'aplicar a la pressió mesurada segons el WP2, per arribar a l'altitud desitjada.

A banda dels típics obstacles que sorgeixen en la programació d'aquest tipus d'aplicacions, hi ha certes incidències que han retardat el desenvolupament del projecte i han variat lleugerament el resultat esperat. Aquestes incidències estan relacionades amb el comportament del baròmetre del mòbil i la recerca de la millor solució a aquest problema. També ha plantejat una dificultat la gran quantitat de mesures efectuades en altituds tan diferents com el nivell del mar, la mitja muntanya, o l'alta muntanya.

2. Estat de l'art en altimetria mitjançant baròmetres

En aquest capítol s'explica el resultat de la recerca dels diferents tipus d'altímetres de semblants prestacions i utilitats a les desitjades pel projecte. Algunes de les utilitats que s'intenten resoldre, s'incorporen en molts rellotges esportius d'alta gamma, així com diferents aplicacions mòbils.

2.1. Rellotges esportius Suunto

L'altímetre en els rellotges Suunto^[1] que incorporen baròmetre consta de tres modes: baròmetre, altímetre i automàtic. En el mode baròmetre se suposa que l'altitud no varia i utilitza les variacions de pressió per calibrar el dispositiu i observar la tendència de la pressió atmosfèrica per preveure canvis de temps. En el mode altímetre se suposa que la pressió atmosfèrica és constant (la meteorologia no varia) i tots els canvis de pressió mesurats es deuen a canvis en l'altitud. El mode automàtic activa el mode altímetre quan l'altitud canvia 5 metres en 3 minuts. Si el dispositiu no canvia l'altitud en 12 minuts, s'activa el mode baròmetre.

2.2. Altres aplicacions d'altimetria basades en baròmetre

Per inspirar l'aplicació del projecte i comprovar els resultats, s'han descarregat i provat, comparant l'altitud proporcionada amb una altitud coneguda extreta de mapes cartogràfics, altres aplicacions d'altimetria amb característiques semblants.

2.2.1. Altimeter de Stéphane Sandon

<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.ssandon.altimeter>

Aquesta interfície, molt més senzilla, mostra el valor de pressió mesurat, el valor de pressió de calibratge, i el valor numèric de l'altitud, el qual és erroni per més de 10 metres. També mostra l'altitud en format analògic movent les agulles d'un rellotge tipus altímetre analògic.

2.2.2. Altimeter de NikolayNachev

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.heavymethod.high>

Tot i aparèixer en la cerca d'un altímetre baromètric, aquesta aplicació només té en compte l'altitud calculada mitjançant les coordenades GPS, arribant a lectures de més de 60 metres d'error.

2.2.3. Altimeter – Ler

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gpsdragon.ler>

En aquest cas, tot i semblar una aplicació molt completa i contenir moltes funcionalitats, i tot i proporcionar el valor de pressió atmosfèrica mesurada pel

baròmetre, l'altitud no es calcula segons aquest valor, sinó que ho fa amb la localització GPS, resultant amb errors de fins a 70 metres.

2.2.4. Barometer & Altimeter

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.exatools.barometerandaltimeter>

Una altra vegada es repeteix el format rellotge tipus baròmetre analògic per donar el valor d'altitud. Aquest és molt més exacte que els anteriors basats únicament en GPS. A més incorpora correcció de l'altitud segons les estacions meteorològiques més properes, tal com s'espera realitzar en aquest projecte. Malgrat això, no compliria els requisits del projecte, ja que es cometen errors en l'altimetria d'uns 20 metres.

2.2.5. Accurate Altimeter

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.arlabsmobile.altimeterfree>

Aquesta aplicació és la més completa i exacta que s'ha trobat. Proporciona tres fonts diferents per determinar l'altitud, amb el baròmetre, amb els serveis de localització de Google, i connectant-se directament als satèl·lits GPS.

Respecte a l'altímetre baromètric, aquest es calibra segons la pressió obtinguda de l'aeroport més proper, i a més permet la correcció de l'error intrínsec al baròmetre de l'smartphone tant per nivell de pressió com per altitud coneguda.

A més, conté un seguit de funcionalitats a banda de l'altimetria que també poden ser d'utilitat. Com l'accés a mapes per determinar l'altitud coneguda pel calibratge, gràfiques del perfil del desnivell efectuat, accés a la càmera, etc.

Moltes de les funcionalitats d'aquesta aplicació estan limitades a pocs dies de gratuïtat.

Després de veure el funcionament de diferents aplicacions semblants a la dissenyada, es conclou que hi ha un buit en el mercat a omplir ja que moltes cometen grans errors i no són adequades per a activitats interiors, a causa de l'ús del GPS únicament per determinar l'altitud, o bé tenen moltes de les funcionalitats limitades a una versió de pagament.

3. Model que relaciona la pressió atmosfèrica amb l'altitud

El principal objectiu del projecte és tractar d'obtenir l'altitud on es troba l'smartphone a partir de la pressió que aquest és capaç de mesurar amb el seu baròmetre. Ara bé, aquest valor de pressió depèn de més factors a més de l'altitud, pel que s'hauran de tenir en compte i aplicar les degudes correccions per què el valor de l'altitud no variï mentre l'smartphone no hagi canviat de posició i els canvis de pressió es deguin a altres factors. Els factors que fan variar més significativament la pressió, a més de l'altitud, són els canvis atmosfèrics (depressions, anticiclons, etc.) i la temperatura.

3.1. Altres factors que caracteritzen la pressió atmosfèrica

Altres factors que també poden afectar la pressió mesurada però no es tindran en compte, ja que les variacions que provoquen no són tan significatives, són la humitat relativa i les mareas atmosfèriques globals, les quals causen un cicle cada 12 hores en la pressió atmosfèrica i són més notable en zones tropicals (canvis d'uns hectopascals aproximadament).^[2]

En un article^[3], que estudia el funcionament dels altímetres baromètrics, s'analitzen els errors derivats de les suposicions efectuades en la fórmula d'anivellament baromètric per l'atmosfera isoterma i les altres equacions derivades de l'equació hidrostàtica. Aquestes fonts d'errors, poden ser:

3.1.1. Acceleració de la gravetat, g

Se suposa que l'acceleració de la gravetat és constant en latitud i altitud, però pot haver-hi variacions de fins a 1% entre l'equador i els pols. Aquestes variacions poden comportar errors de 0,03% en la correcció de l'altitud, per això es considera menyspreable, tot i que es pot arribar a tenir en compte per millorar la precisió de les mesures.

3.1.2. Composició de l'aire

En l'aplicació del pes molecular de l'aire, se suposa que la composició de l'aire no varia, pel que el pes considera constant. No obstant, poden variar els resultats d'altitud segons la quantitat de vapor d'aire que conté l'atmosfera. Així, en climes tropicals, la diferència mesurada pot ser molt significant, ja que aquest efecte es manifesta més a partir dels 13 °C. Això es deu al fet que a partir d'aquesta temperatura l'aire és capaç d'absorbir quantitats de vapor d'aigua majors.

Per exemple si s'assumeix que l'altímetre ha estat calibrat en una humitat relativa del 50% i 13 °C, es podrien produir errors d'uns 4 m per ascensions de 1000 m. Per aquesta raó, alguns dels models implementats consideren aquest efecte.

3.1.3. Temperatura

La temperatura pot condicionar de forma significant la pressió mesurada, i per tant, fer variar considerablement la altitud corresponent.

Per exemple, si la temperatura durant el calibratge d'un altímetre ha estat de 10 °C, per cada grau en què la temperatura de l'aire difereix d'aquest valor durant la mesura d'altitud, aquesta pot variar 3,5 m per cada 1000 m. Si la temperatura durant la lectura és de 20 °C, la variació serà de 35 m per cada 1000 m.

Aquest efecte és degut al fet que quan l'atmosfera es refreda, les partícules d'aire perden energia i poden ser portades més a prop de la Terra per la gravetat, fent que la densitat i la pressió atmosfèrica decaigui més ràpidament amb l'altitud.

Per determinar la variació en la temperatura a l'hora de realitzar correccions en la mesura a vegades es suposa un gradient adiabàtic de 6,5 °C cada 1000 m. Aquesta suposició comporta un error que pot haver de ser considerat.

Tot i això, no tots els altímetres incorporen correccions per temperatura, ja que quan l'aire es satura i comença a elevar-se, apareix una condensació a mesura que la temperatura disminueix. Aquesta condensació allibera calor latent que escalfa l'aire i parcialment es comença a compensar el refredament adiabàtic. Per aquesta incertesa a l'hora de determinar la temperatura de correcció, es poden produir d'altres errors en la mesura, fent que no sempre es consideri la temperatura.

3.1.4. Deriva baromètrica

La pressió atmosfèrica en un dia calmat amb temps estable pot fer variar l'altitud mesurada entre 10 i 20 metres al llarg del dia. Però en algunes ocasions aquesta variació pot produir-se en unes hores. Tot i que aquest error pot ser significatiu, no hi ha manera de quantificar-lo per poder-lo corregir.

3.1.5. Errors en els mapes

Si per calibrar l'altímetre s'utilitzen les dades d'altitud que proporciona un mapa topogràfic, punts d'altitud coneguda o senyals geodèsics, es poden estar cometent errors de fins a ± 10 m.

3.2. Diferents models implementats

A l'hora d'obtenir el valor més exacte possible d'altitud a partir de la pressió atmosfèrica mesurada i aplicar les correccions de temperatura i canvis de pressió, s'ha implementat un programa Matlab amb diferents equacions corresponents a models diferents. La funció d'aquest programa és poder comparar el valor d'altitud obtingut per diferents valors de pressió atmosfèrica mesurada, temperatura i pressió atmosfèrica a nivell del mar, i així descartar els que no serveixin per al propòsit de l'aplicació i

intentar triar el més exacte. Els models implementats que han semblat més coherents amb la finalitat de la seva aplicació, són:

3.2.1. Gestor dels sensors en Android^[4]

Android proporciona un conjunt d'eines per a obtenir i processar les dades provinents dels sensors de l'smartphone que s'explicaran més endavant en l'apartat "6. Desenvolupament de l'aplicació que proporciona l'altitud". Un dels mètodes que conté permet l'obtenció de l'altitud de l'smartphone a partir de la pressió mesurada pel baròmetre i la pressió en un punt de referència. Aquest mètode, que s'utilitza com:

```
h = SensorManager.getAltitude((float) P0, (float) P);
```

Figura 5: Utilització del mètode per obtenir l'altitud de la pressió.

segueix la següent expressió:

```
public static float getAltitude(float p0, float p) {
    final float coef = 1.0f / 5.255f;
    return 44330.0f * (1.0f - (float)Math.pow(p/p0, coef));
}
```

Figura 6: Expressió del mètode "getAltitude".

On es relaciona la pressió en el punt on es troba el dispositiu p, amb la de referència p0. L'altitud obtinguda serà la diferència d'altituds entre els punts on s'han mesurat p i p0. Traduint el codi, es segueix l'equació següent.

$$h = 44330 \times \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{1/5.255}\right)$$

Figura 7: Equació que segueix el model d'Android.

3.2.2. Calculadora en línia altitud ↔ pressió Keisan de Casio

Es basa en la fórmula hipsomètrica la qual ajusta la pressió mesurada (P) amb l'equivalent a nivell del mar (P₀) i la temperatura (T en °C), per poder construir el mapa meteorològic isobàric, el qual augmenta el valor de pressió i temperatura de forma constant depenent de cada desnivell en altitud. Aquesta fórmula només és vàlida fins a 11 km d'altitud. ^{[5] [6]}

Hypsometric formula

$$h = \frac{\left(\left(\frac{P_0}{P}\right)^{5.257} - 1\right) \times (T + 273.15)}{0.0065}$$

Figura 8: Fórmula hipsomètrica.

3.2.3. Fórmula baromètrica ^[7]

Modela com la densitat de l'aire, és a dir, la pressió, varia amb l'altitud. Hi ha dues fórmules que ho modelen, segons si el gradient adiabàtic és diferent de zero:

$$P = P_b \cdot \left[\frac{T_b}{T_b + L_b \cdot (h - h_b)} \right]^{\frac{g_0 \cdot M}{R^* \cdot L_b}}$$

Figura 9: Fórmula baromètrica si el gradient adiabàtic és diferent de zero.

O si és igual a zero:

$$P = P_b \cdot \exp \left[\frac{-g_0 \cdot M \cdot (h - h_b)}{R^* \cdot T_b} \right]$$

Figura 10: Fórmula baromètrica si el gradient adiabàtic és igual a zero.

on:

P_b = pressió estàtica (Pa). Val 101325 Pa fins a 11 km d'altitud

T_b = temperatura estàndard (K). Val 288,15 K (15 °C) fins a 11km d'altitud.

L_b = gradient de temperatura estàndard (K/m). Val -0,0065 K/m fins a 11 km d'altitud.

h = altitud sobre el nivell del mar (m).

h_b = altitud a la part inferior de la capa b (m). Per exemple, val 0 metres fins a 11 km.

R^* = constant dels gasos ideals (8,3144598 J/mol/K segons el Sistema Internacional)

g_0 = acceleració de la gravetat (9,80665 m/s²).

M = massa molar de l'aire de la Terra (0,0289644 kg/mol).

Respecte al gradient adiabàtic, és la variació de temperatura que experimenta una massa d'aire en moviment vertical. En mitjana disminueix 6,5 K per cada 1000 m, és a dir, -6,5 K/100m. No obstant, la humitat fa variar el seu valor de manera que si no es produeix condensació, quan l'aire es denomina sec, el gradient és de -10 K cada 1000 m. En canvi, quan es condensa el vapor d'aigua (el que s'anomena gradient adiabàtic saturat), el gradient val 5,5 K cada 1000 m. Aquesta saturació en l'aire provoca un alliberament de calor latent de la condensació que li contraresta 5,5 K al procés. ^[8]

3.2.4. Conversió altitud ↔ pressió mitjançant la temperatura i pressió estàndards i l'altitud geopotencial ^[9]

Se'n pot obtenir l'altitud fent la implementació inversa dels següents passos:

1) Convertir l'altitud en km (H) a altitud geopotencial:

Geopotencial = $R_t \cdot H / (R_t + H)$ on R_t és el radi de la Terra (6356,766 km).

2) Obtenir la temperatura estàndard (T_s) de l'altitud geopotencial:

$$T_s = 288,15 - (6,5 \cdot \text{Geopotencial})$$

3) Finalment, es calcula la pressió estàndard (P_s) com:

$$P_s = 101325 \cdot ((288,15 / T_s)^{-5,255877})$$

3.2.5. Fórmula d'anivellament baromètric per l'atmosfera isoterma ^[10]

Aquest model descriu el repartiment vertical de les molècules de gas a l'atmosfera terrestre. Es parla així d'un gradient de pressió vertical, que aproximadament disminueix un hectopascal quan l'altitud augmenta 8 metres, a nivell del mar.

Aquesta fórmula s'obté de l'equació hidroestàtica, per a T constant, resultant:

$$p(h_1) = p(h_0) e^{-\frac{\Delta h}{h_s}}$$

Figura 11: Equació baromètrica.

on l'altitud característica h_s és

$$h_s = \frac{RT}{Mg}$$

Figura 12: Fórmula de l'altitud característica.

3.2.6. Fórmula internacional de l'anivellament baromètric ^[10]

De la fórmula anterior, si es pren com a altitud de referència h_0 , i aproximant la temperatura i la pressió als valors d'atmosfera estàndard ($T=288,15$ K, $P_0=1013,25$ hPa i gradient vertical de temperatura 0,65 K per 100 m), s'obté:

$$p(h) = 1013,25 \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h}{288,15} \right)^{5,255} \text{ hPa}$$

Figura 13: Fórmula internacional de l'anivellament baromètric.

Per a la finalitat de l'aplicació, es pot aïllar l'altitud h que dependrà només de la pressió en hectopascals. Es pot deduir directament que el resultat no serà tan acurat com la fórmula anterior i dependrà dels canvis meteorològics. Per aquest motiu s'ha adaptat perquè la pressió de 1013,25 hPa i 288,15 K siguin la pressió i la temperatura de correcció, respectivament, les quals s'explicarà més endavant, al punt "5. Obtenció de dades de les estacions meteorològiques més properes", d'on surten i quina funció tenen.

3.2.7. Reducció de la pressió atmosfèrica a un nivell de referència^[11]

Per a què els valors de pressió atmosfèrica de diferents Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA) de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) de Meteocat, puguin ser comparables entre ells, es fa necessari referenciar-los a un mateix nivell per eliminar els canvis de pressió atmosfèrica deguts a les diferents altituds.

Aquest referenciat es fa amb l'esmentada equació hidrostàtica d'on s'extreu el valor de temperatura virtual mitjana (T_v), que és la temperatura que hauria de tenir l'aire perfectament sec perquè, a la mateixa pressió, tingués la mateixa densitat que l'aire humit en qüestió:

$$T_v = T \cdot \left(1 + 0.378 \cdot \frac{e}{P}\right)$$

Figura 14: Equació de la temperatura virtual mitjana.

On:

T = temperatura al nivell de l'estació en K.

P = és la pressió atmosfèrica al nivell de l'estació en hPa.

e = pressió de vapor a nivell de l'estació.

La pressió de vapor de l'aigua és la pressió a la qual el vapor d'aigua se satura. La pressió del vapor en funció de la temperatura es determina amb la relació de Clausius-Clapeyron, la qual es pot aproximar segons^[12]:

$$e = \exp\left(20,386 - \frac{5132 K}{T}\right) mmHg$$

Figura 15: Pressió de vapor en funció de la temperatura.

On T és la temperatura en Kèlvens i el resultat es dona en mmHg.

Aquesta temperatura virtual mitjana s'aplicarà al camp T_0 de la següent equació la qual dona la P_0 de l'estació meteorològica. En el cas de l'altimetria, com es disposa de

P_0 i de la P mesurada, només cal aïllar la diferència d'alçades entre on s'han pres P i P_0 . Si P_0 sempre estarà referida al nivell del mar, el valor $Z-Z_0$ serà l'altitud desitjada:

$$P_0 = P \left[1 - \frac{\beta_0(h - h_0)}{T_v} \right]^{-\frac{g_0}{R_d \times \beta_0}}$$

Figura 16: Equació de la pressió reduïda a una altitud de referència Z_0 .

On:

P_0 = pressió atmosfèrica al nivell de referència.

P = pressió mesurada.

Z_0 = nivell de referència de la pressió P_0 en metres.

Z = altitud que es mesura la pressió P en metres.

T_0 = temperatura virtual al nivell de l'estació en Kèlvins.

β_0 = gradient de temperatura de l'atmosfera estàndard ($6,5 \cdot 10^{-3}$ K/m).

g_0 = valor estàndard de l'acceleració de la gravetat al nivell del mar mitjà $9,80665$ m/s².

R_d = constant d'aire sec $287,05$ J/(kg·K).

3.2.8. Altitud de pressió

En un article de l'Agència Meteorològica dels Estats Units^[13] apareixia una forma de calcular l'altitud a la qual s'ha mesurat la pressió en una estació meteorològica, ja que aquesta es proporciona referenciada a un nivell de referència que sol ser el nivell del mar, és a dir, per poder desfer els passos d'aquesta referència:

$$h_{alt} = \left(1 - \left(\frac{P_{sta}}{1013.25} \right)^{0.190284} \right) \times 145366.45$$

Figura 17: Fórmula de l'altitud de pressió.

On P_{sta} serà l'altitud mesurada i el resultat serà en peus. Per passar el resultat a metres només caldrà aplicar:

$$h_m = 0.3048 \times h_{alt}$$

Figura 18: Conversió de l'altitud de peus a metres.

En resum, destacar que no tots els models incorporen la temperatura en la correcció, ni tots permeten l'entrada de una pressió de referència des de la qual obtenir l'altitud. Així, alguns dels models hauran de ser adaptats per l'entrada de la pressió obtinguda d'una estació meteorològica P_0 , enlloc del valor estàndard 1013,25 hPa, o veure com varien si se substitueix el valor de 288,15 K per la temperatura obtinguda de l'estació meteorològica T_0 . Per la similitud d'alguns models, s'espera obtenir resultats semblants en alguns d'ells.

4. Caracterització del sensor de pressió

Per tal de caracteritzar el sensor de pressió s'ha desenvolupat una aplicació en Android que permeti l'accés als valors de pressió del baròmetre que incorpora per determinar-ne el comportament. Per poder comparar els valors amb una referència, s'implementarà també l'accés als valors de pressió d'una estació meteorològica portàtil amb mini jack anomenada Windoo.



Figura 19: Estació meteorològica Windoo. [14]

4.1. Implementació de l'aplicació

4.1.1. Interfície d'usuari

La part visual d'aquesta pantalla és la més senzilla possible, ja que l'únic objectiu és observar el funcionament del baròmetre del mòbil. A banda del canvi dels colors característics del projecte, incorpora 4 camps de text on es mostren el valor de pressió provinent del baròmetre, l'altitud calculada pel SensorManager, descrit en l'apartat 3.2.1, per comprovar que els valors de pressió obtinguts són útils per a l'altimetria i dos valors de pressió corresponents al sensor de l'estació Windoo, els quals s'obtenen de maneres diferents però el seu valor sempre és el mateix. Una s'obté de les dades adjuntes a l'esdeveniment que llança el Windoo cada vegada que té una mesura nova, i l'altra obtenint un mesurament en temps real de tots els sensors del Windoo.

A més, incorpora dos botons, un per cada sensor, per poder engegar la captura dels sensors quan es desitgi i així depurar més fàcilment. Per aturar la captura dels sensors només cal tancar l'aplicació.

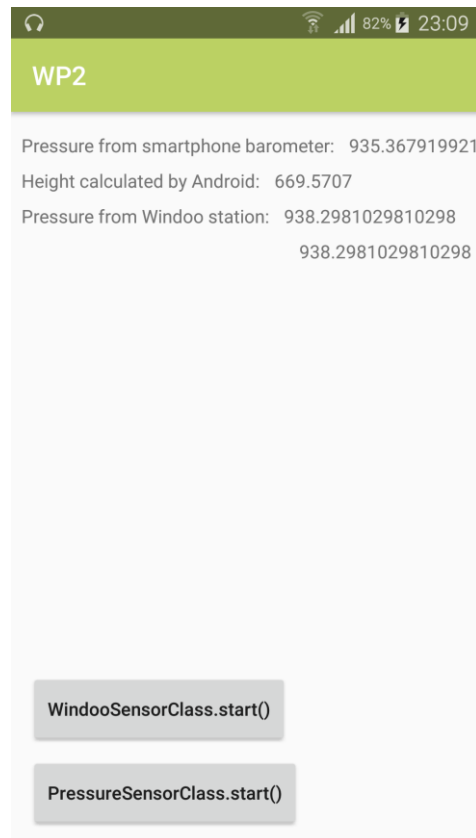


Figura 20: Captura de pantalla de l'aplicació.

Pel tractament de les dades s'ha implementat l'emmagatzematge de les mesures en un fitxer .csv el qual s'emmagatzema a la carpeta pròpia de l'aplicació que s'ubica a la memòria interna del telèfon. Aquest fitxer pot obrir-se directament mitjançant qualsevol aplicació capaç de llegir excel·los o .txt, o obrir-se des de l'ordinador per processar-ne les dades i extreure'n resultats.

4.1.2. Lògica de l'aplicació

Només executar-se l'aplicació per primera vegada es demanaran a l'usuari els permisos d'escriptura a l'emmagatzematge extern per poder generar el fitxer de registre de mesures i permís per accedir a l'àudio del telèfon, ja que la connexió amb l'estació meteorològica portàtil es realitza per l'entrada d'àudio mini jack.

Quan es polsa un dels dos botons, s'inicia la captura de valors de pressió del sensor que correspon i es crea el fitxer de registre de mesures si no s'havia creat abans. Aquest fitxer s'anomenarà "pressure_values.csv" i es desarà a la ubicació "/Phone/Android/data/com.example.joan.wp2/files".

A la primera fila del fitxer s'introduirà el nom de les columnes les quals corresponen a la data en format dd/MM/aaaa-HH:mm:ss en el que s'ha efectuat la mesura, la temperatura extreta del Windoo per casos en recintes tancats, el valor amigitjanat de la pressió obtinguda del baròmetre i, finalment, la pressió obtinguda del Windoo. En totes les mesures decimals se substituirà el punt per la coma per a facilitar la feina en els programes de tractament de dades com l'Excel.

En el cas d'activar el baròmetre del mòbil, es registrarà un "Listener" dient quin tipus de sensor es vol escoltar, en el nostre cas serà el Sensor.TYPE_PRESSURE. Aquest "Listener" cridarà, cada vegada que hi hagi un canvi en el sensor, un mètode des d'on es podrà accedir al valor de pressió. Es rebran 6 mesures per segon, i com l'estació Windoo no en proporciona més que cada 4 o 5 segons, es farà la mitjana cada 24 mostres per poder comparar els valors. Un cop amitjanat es guardarà el valor al fitxer i s'actualitzarà el número de la pantalla.

En el cas del Windoo es procedirà de forma semblant però mitjançant els mètodes que proporcionen la llibreria externa .aar del fabricant per poder utilitzar-lo. ^[15]

4.2. Procediments de mesura i resultats

Un cop desenvolupada l'aplicació s'ha procedit a fer diferents proves per determinar el comportament dels dos sensors i la validesa de les seves mesures.

4.2.1. Comparativa entre el baròmetre i el Windoo

Per aquesta prova s'ha mantingut el dispositiu el més quiet possible sobre la taula evitant possibles corrents d'aire a la sala durant 10 minuts i 36 segons, el que equival a 3982 mesures del baròmetre del smartphone. Del baròmetre s'han extret 6 valors per segon i s'han amitjanat cada 5 segons. Del Windoo se n'ha extret valors entre cada 4 o 5 segons (139 valors) com es comentava anteriorment. Cal dir que cap de les 3 variables s'extreu simultàniament per simplificar la implementació.

La mitjana de les tres variables resulta de la següent manera com s'apunta en la taula 1.

	Baròmetre	Baròmetre amitjanat	Windoo
Valor mig	1004,54294	1004,5434	1007,2736

Taula 1: Valors migs del baròmetre i el Windoo

Així, es pot observar un òfset d'uns 3 hPa per sobre els resultats del sensor Windoo respecte als del baròmetre del mòbil. Aquest s'observa que es manté constant en mesures individuals i es repeteix al llarg del dia en diferents condicions de pressió.

En la següent gràfica s'han representat els valors de pressió obtinguts pel sensor Windoo respecte als del baròmetre de l'smartphone, tot i que alguns valors no estan ben alineats temporalment. Es pot observar la diferència constant entre els dos sensors d'uns 3 hPa en la figura 21.

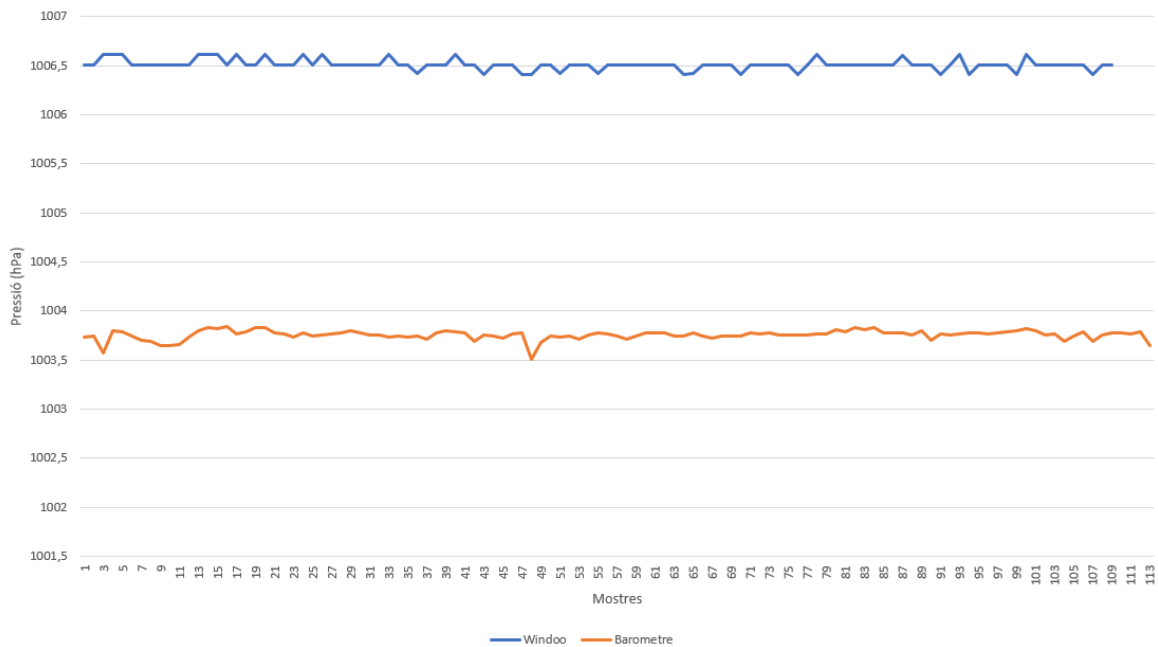


Figura 21: Gràfica comparativa de valors de pressió entre el baròmetre i el Windoo.

Representar la resta entre els valors dels dos sensors confirma que l'òfset està al voltant dels 3 hPa i en fer-ne la mitjana s'obté 2,75 hPa. Aquesta representació es mostra en la figura 22.

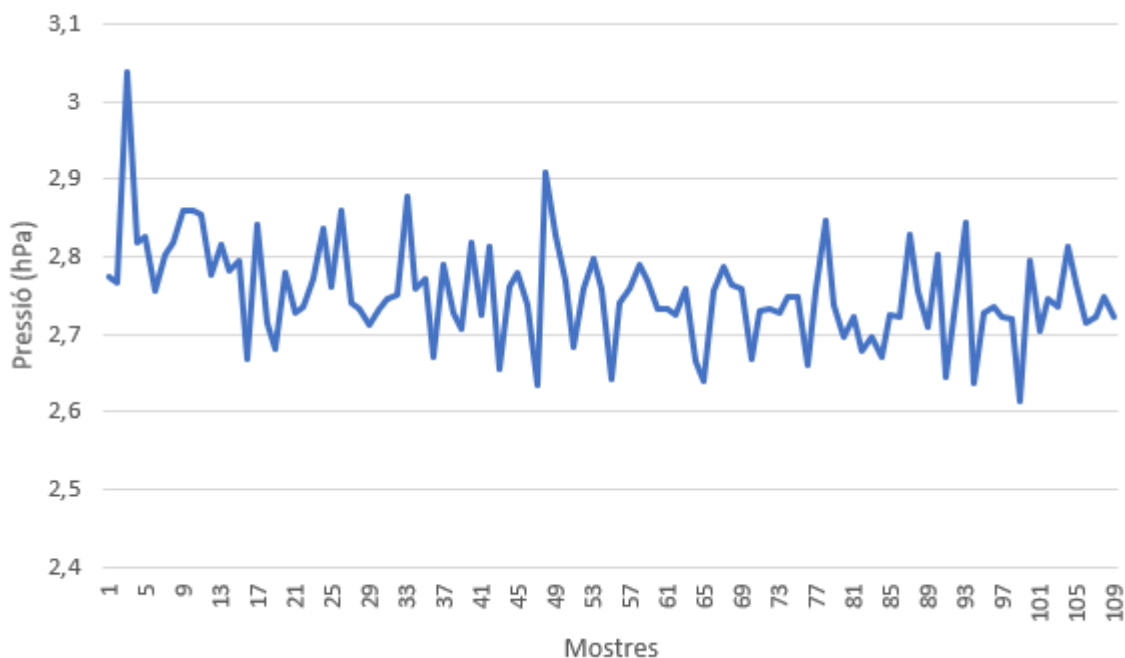


Figura 22: Gràfica de la resta entre els valors de pressió dels dos sensors.

No obstant, aquest resultat pot ser incorrecte i haurà de validar-se en la seva aplicació a l'altimetria, ja que com les diferents mesures no s'han pres simultàniament, pot ser que no estiguin ben alineats temporalment al fer la resta, i que aquesta

s'hagués de calcular amb el valor posterior o anterior o inclús eliminar alguna mostra, ja que n'han resultat 4 mostres més d'un sensor que de l'altre.

Per poder confirmar les conclusions anteriors, s'han repetit les mesures durant un temps semblant (uns 10 minuts) a una altitud major i en condicions de menys pressió atmosfèrica. Obtenint les gràfiques comparatives entre el baròmetre del mòbil i el sensor Windoo que es mostren en la figura 23.

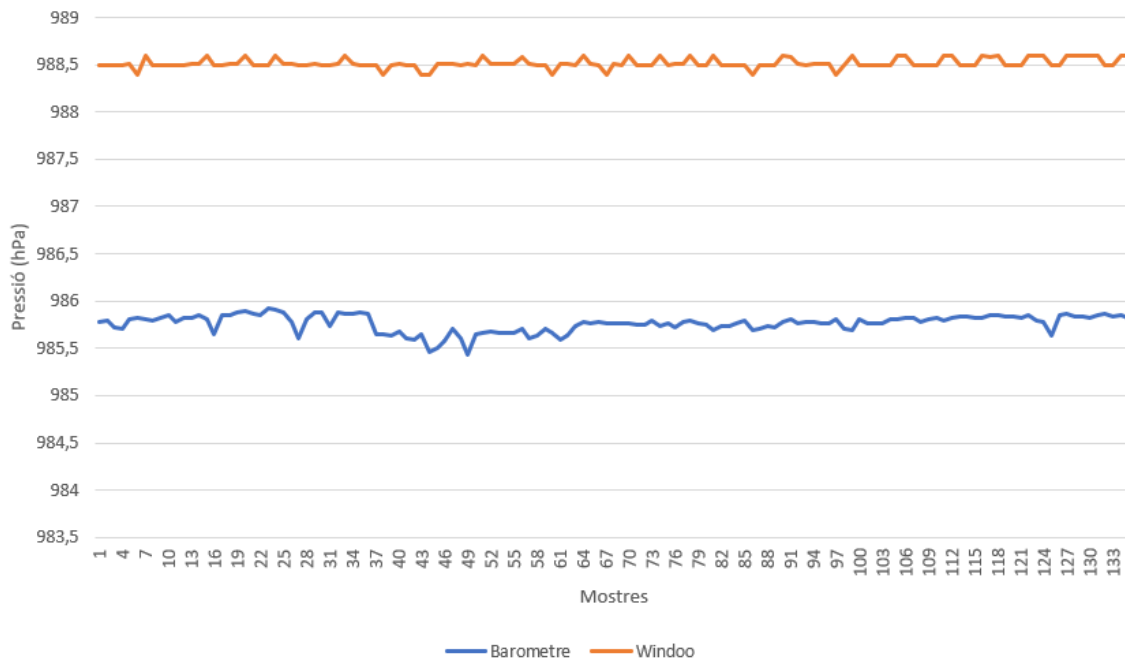


Figura 23: Gràfica comparativa de valors de pressió entre el baròmetre i el Windoo en diferents condicions.

De la gràfica anterior i al calcular la diferència entre els valors dels dos sensors es confirma la diferència entre ells d'uns 3 hPa, que en mitjana resulta un altre cop exactament 2,75 hPa. Es pot observar com varia la diferència entre els sensors en la figura 24.

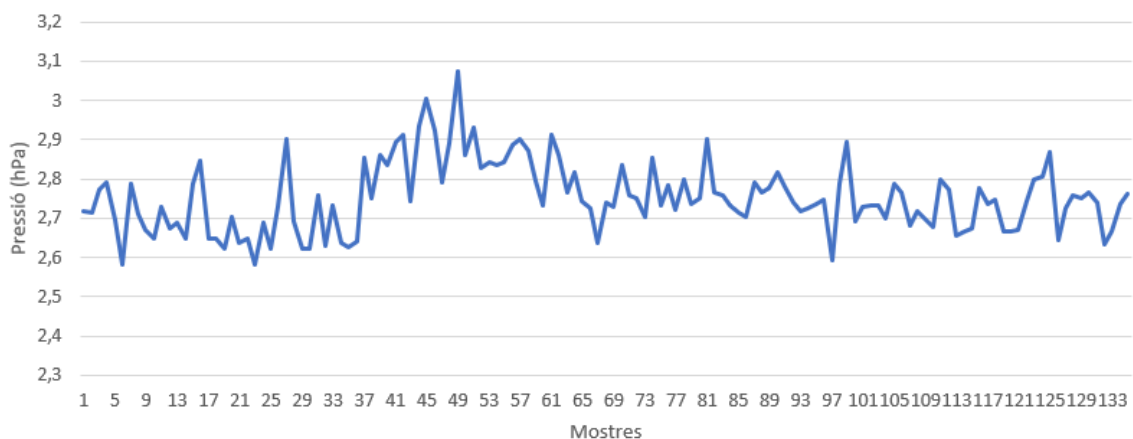


Figura 24: Gràfica de la resta entre els valors de pressió dels dos sensors en diferents condicions.

Un cop determinada la diferència entre els dos sensors, s'ha observat una gran variabilitat en les mesures, i per a poder descartar que els canvis no siguin per corrents d'aire de la sala o que siguin intrínsecs al sensor, es realitzarà un experiment en què la mesura es mantingui estable durant tot el temps de mesura.

4.2.2. Mesures en condicions de pressió estable

Per aconseguir unes condicions de pressió estable s'han pres mesures durant 6 hores dins d'una carmanyola estanca. La variació de temperatura dins del recipient podria afectar a la pressió i s'hauria de considerar, però de moment, a part de mesurar-se no es considerarà, ja que l'únic termòmetre disponible és el que incorpora el Windoo i després de moltes proves s'ha determinat que el seu funcionament és anòmal.

Per exemple, en una habitació on la temperatura s'ha mantingut constant a 21 °C, la mesura del Windoo ha començat als 25 °C i ha anat augmentant fins als 27,5 °C en 35 minuts, com es pot observar en la figura 25.

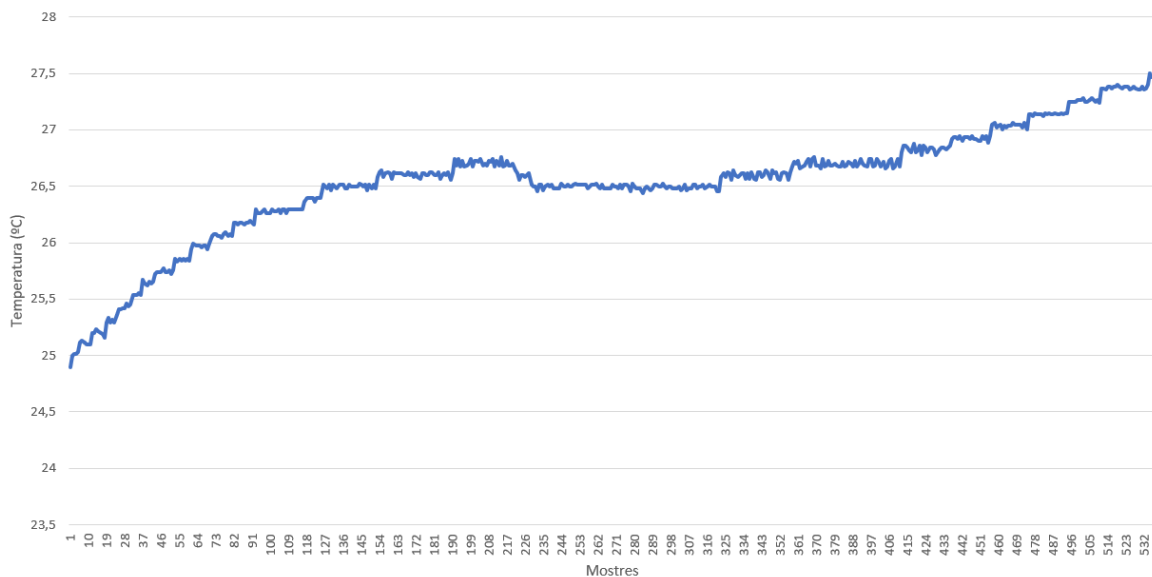


Figura 25: Gràfica de la temperatura mesurada pel Windoo durant 35 minuts.

En altres mesures realitzades, s'ha passat de 26 °C a 30 °C en menys de 5 minuts per una sala on no s'arribaven als 23 °C.

Tot apunta a que el mòbil s'escalfa en realitzar mesures llargues i fa augmentar la temperatura del sensor. D'aquesta manera de moment es descarta el seu ús per a les mesures.

Les mesures en pressió estable han resultat de la manera que es mostra en les figures 26 i 27.

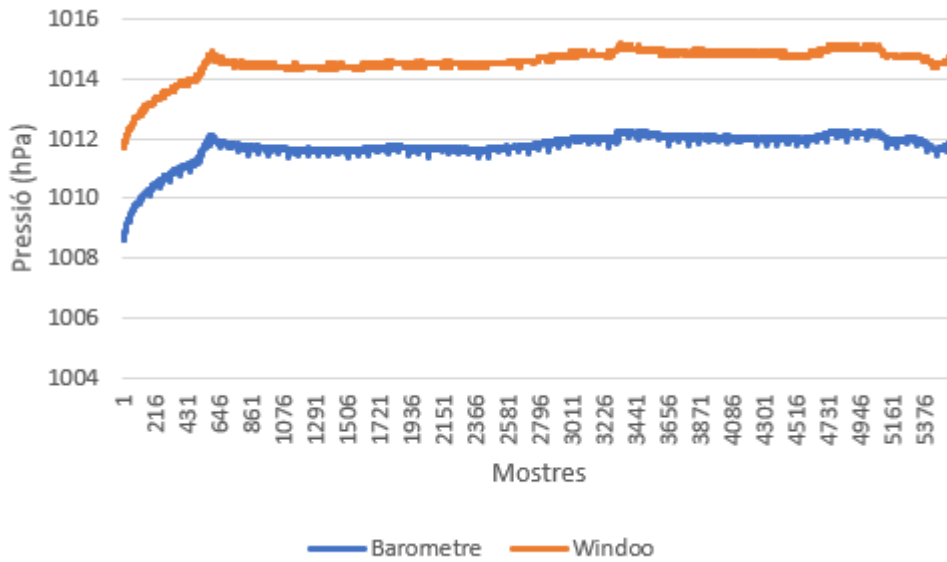


Figura 26: Gràfica de les mesures en pressió estable.

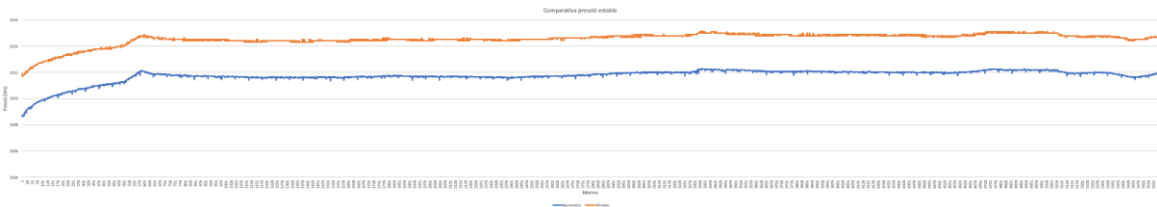


Figura 27: Ampliació de la gràfica de les mesures en pressió estable.

En la representació de la figura 26 es pot observar la primera pujada fins que la pressió dins del recipient s'estabilitza i després suaus curvatures que poden deure's a petites variacions de temperatura. Si es fa la resta entre els sensors com anteriorment obtenim la gràfica de la figura 28.

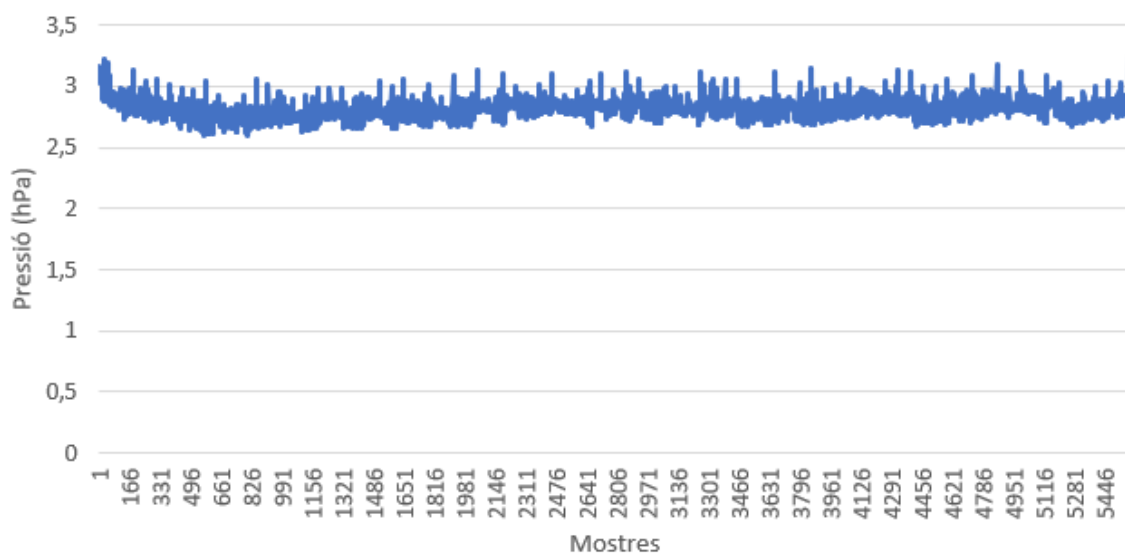


Figura 28: Gràfica de la resta entre els valors de pressió dels dos sensors en condicions de pressió estable.

En aquesta gràfica es torna a confirmar l'òfset, que en valor mitjà s'obté 2,81 hPa, per un valor màxim de 3,27 hPa i un mínim de 2,6 hPa. Però, no se sabrà quin dels dos sensors conté el valor correcte i si és necessari l'aplicació d'una correcció amb l'òfset obtingut, fins que no s'hagi integrat el càlcul de l'altitud per poder comparar amb diferents altituds conegudes.

A banda de l'observació d'aquesta clara i constant diferència entre sensors, també es confirma la gran variabilitat del baròmetre de l'smartphone, d'uns ± 5 metres si s'apliquen les fórmules obtingudes en el paquet de treball anterior. Així, caldrà filtrar els valors del sensor perquè no variïn tant mentre el dispositiu no s'ha mogut i poder complir els requisits del projecte.

5. Obtenció de dades de les estacions meteorològiques més properes

En aquest capítol s'ha cercat eines que proporcionin dades de pressió d'entre una xarxa d'estacions meteorològiques, amb l'opció d'escollir l'estació més propera a la ubicació GPS de l'smartphone.

L'eina que permet accedir a aquesta informació, s'anomena "Weather API" i el seu funcionament es basa l'accés a un servidor web mitjançant una direcció URL on els paràmetres s'inclouen en aquesta URL, el qual, en la majoria de casos, retorna la informació en format text estructurada en llenguatge JSON.

Després de consultar la documentació de diferents APIs trobades en llistes de les millors^{[17][18][19]}, s'ha vist que no totes compleixen els requisits del projecte, ja que moltes són de pagament, no totes inclouen valors de pressió atmosfèrica, i les que n'inclouen, els seus valors no sempre estan referenciats al valor a nivell del mar. Les que han semblat més adequades per al projecte i s'estudiaran en profunditat han estat:

- Openweathermap^{[20][21]}: aquesta API no sempre té disponible per a totes les estacions el valor de pressió a nivell del mar, i el valor de pressió de l'estació s'ha pogut comprovar que no està referenciat a nivell del mar, pel que no serà d'utilitat pel projecte i es descarta el seu ús.
- Accuweather^[22]: a banda de tenir l'inconvenient que la versió gratuïta està limitada a 50 peticions al servidor per dia, s'ha comprovat que els valors de pressió estan referenciats a nivell del mar i s'haurà de comprovar quin resultat donen a l'hora de referenciar l'altitud.
- Dark Sky (Forecast.io)^[23]: en aquest cas la limitació la tenim a 1000 peticions al servidor per dia, la qual s'ajusta més als requisits del projecte, i tot i no proporcionar la pressió a nivell del mar com fan d'altres APIs, donant directament un valor "pressure" i un valor "sea_level_pressure", en la seva documentació es pot trobar que el valor de pressió que dona a nivell d'estació, ja està referenciat a nivell del mar.

5.1. Implementació d'una aplicació que accedeixi a les dades de les diferents APIs

Per poder comparar entre les diferents APIs i descobrir com accedir als seus valors s'ha desenvolupat una aplicació Android.

5.1.1. Interfície d'usuari

La part gràfica d'aquesta aplicació s'ha reduït al màxim en complicacions on la visualització de moltes variables i processos interns és accessible únicament depurant l'aplicació.

La pantalla principal, i única, inclou dues entrades de text numèric per poder entrar manualment la posició GPS mitjançant la latitud i la longitud per la qual cercar l'estació meteorològica més propera, un botó per extreure aquesta posició del GPS del telèfon, una llista desplegable per triar l'API que es vol utilitzar, un botó per a iniciar la petició al servidor i dos camps de text on es mostra l'URL generada de les dades d'entrada i la corresponent resposta en JSON del servidor. Si es vol utilitzar la temperatura pel calibratge, cal convertir el valor del Dark Sky, ja que el proporciona en graus Fahrenheit.

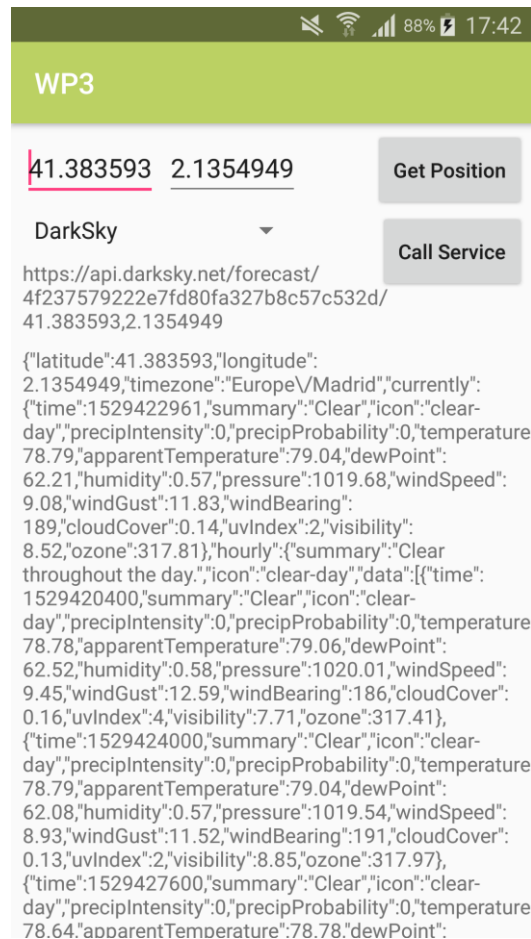


Figura 29: Captura d'exemple de l'aplicació.

5.1.2. Lògica de l'aplicació

La pulsació del botó per obtenir la posició inicia una sol·licitud als serveis de localització de Google, el qual executa el mètode `onLocationResult` quan té una nova localització GPS disponible. Perquè es doni aquest cas, els permisos d'ubicació han d'estar activats i tenir una bona cobertura de satèl·lit, la qual pot veure's disminuïda en interiors. Aquest mètode n'obté la latitud i la longitud i n'actualitzarà la pantalla.

Quan es polsi el botó per a l'obtenció de les dades, es guardarà el valor de latitud i longitud i l'API seleccionada que apareix a la pantalla, i entrarà en una classe on es generen les diferents URL segons les dades d'entrada escollides.

En el cas d'Accuweather, s'ha de fer una petició amb la latitud i la longitud per obtenir un identificador de l'estació meteorològica més propera i tornar a repetir la petició, aquest cop de les condicions meteorològiques actuals, amb l'identificador de la zona com a paràmetre d'entrada.

La connexió als diferents servidors es realitzarà mitjançant una simple connexió HTTP per URL on la resposta del servidor s'ha d'emmagatzemar en un buffer i un cop hagi arribat tota, convertir-la a objecte JSON. Aquest tipus d'objectes permet un accés ràpid a les dades mitjançant el nom que les identifica. En aquesta aplicació en concret, primer s'actualitzarà la pantalla amb el JSON complet i després se n'extraurà el valor de pressió i es mostrarà en un missatge Toast^[24] per pantalla.

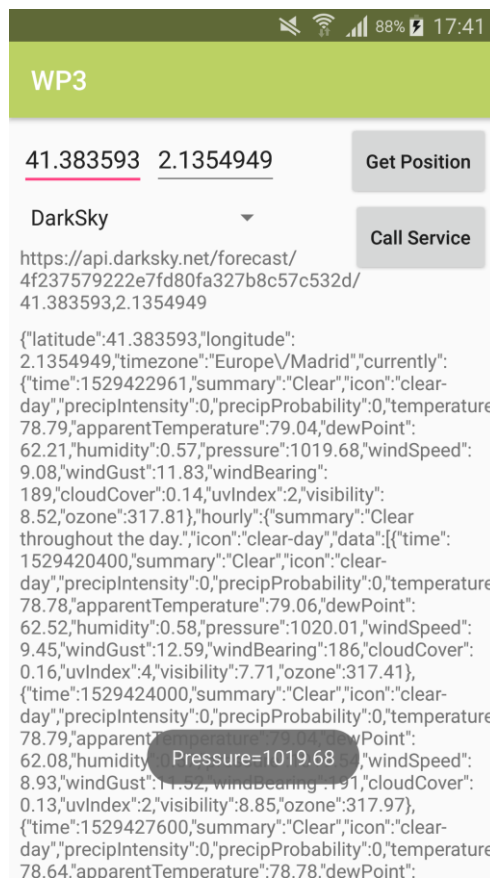


Figura 30: Missatge Toast amb la pressió i la resposta JSON obtingudes.

5.2. Comparació entre Accuweather i Dark Sky

Per poder triar quina de les dues APIs resultants serà més adequada pel projecte, s'ha implementat la petició periòdica amb un interval de 10 minuts durant 2 hores i 30

minuts en una única ubicació GPS per veure com varien les dades obtingudes i quina té millor precisió. Les gràfiques resultants es mostren en les figures 31 i 32.

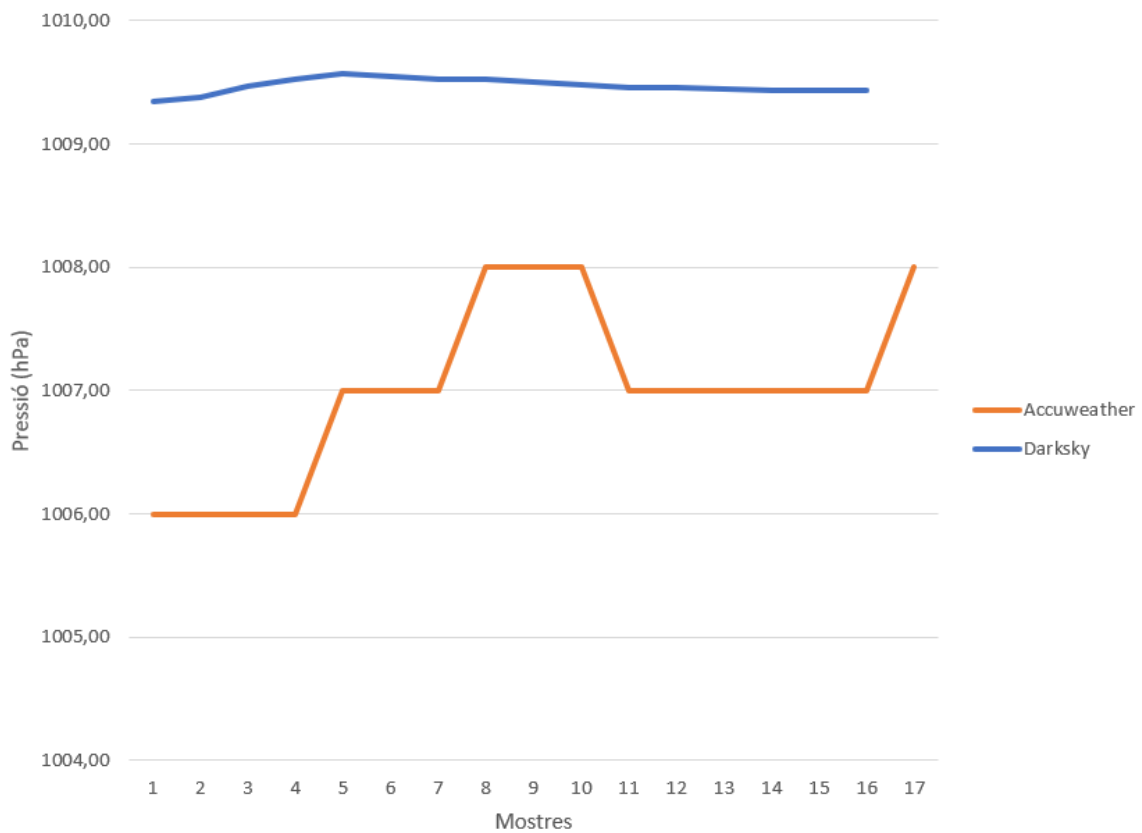


Figura 31: Gràfica de la pressió obtinguda per les dues APIs durant 2,5 h.

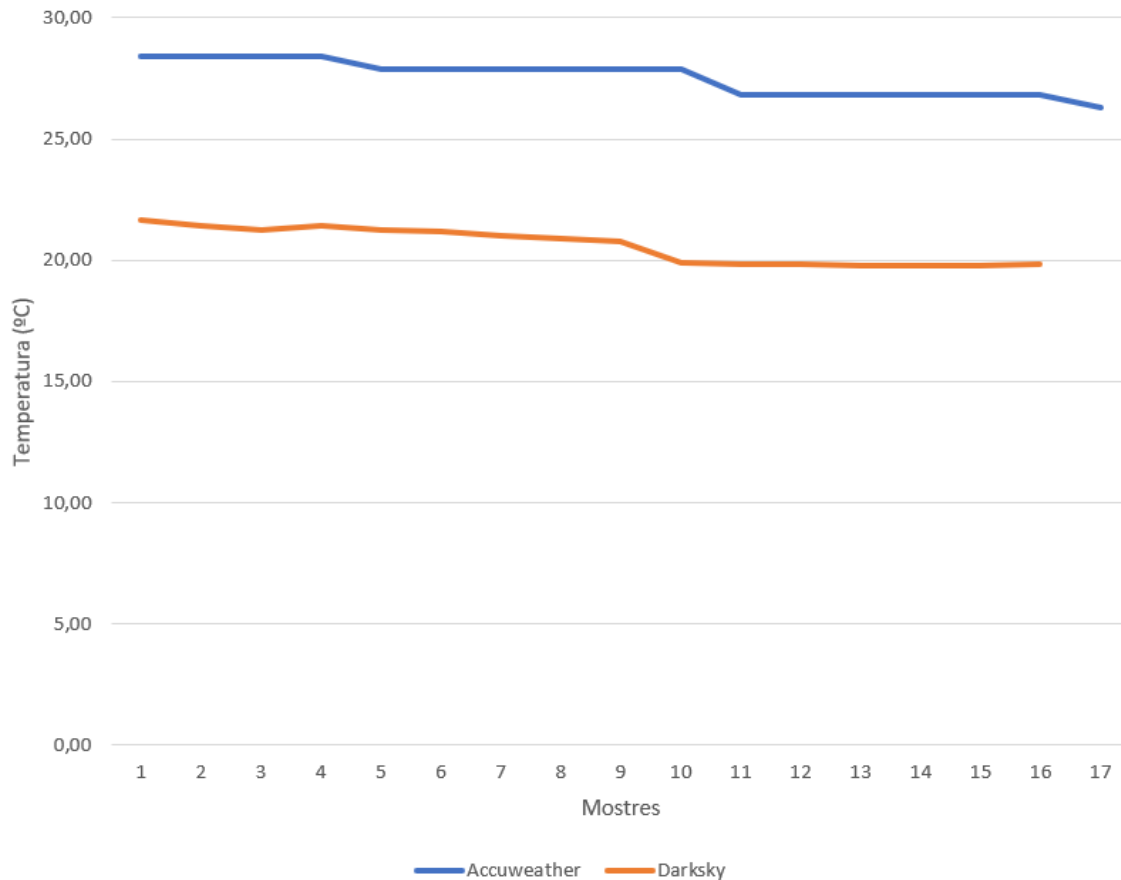


Figura 32: Gràfica de la temperatura obtinguda per les dues APIs durant 2,5 h.

En aquesta prova s'observa que la temperatura en les dues APIs es comporta de forma semblant, tot i proporcionar valors clarament diferents que caldrà escollir-ne, més endavant, la més adequada per l'altimetria.

Pel que fa a la pressió, l'Accuweather proporciona valors que canvien molt bruscament en el temps i els valors tenen poca precisió, ja que són de l'ordre d'un hectopascal, respecte als del Dark Sky que són de l'ordre d'un pascal. Tot i aquestes pistes, a l'igual que amb la temperatura, caldrà veure amb l'aplicació d'altimetria quins valors són més adequats.

6. Desenvolupament de l'aplicació que proporciona l'altitud

6.1. Aplicació per proves

L'aplicació que s'ha implementat consisteix en la integració dels apartats anteriors incorporant un seguit de funcionalitats addicionals que permetran realitzar tot tipus de proves fàcilment, i així poder decidir els paràmetres més adequats que han quedat pendents per una altimetria que compleixi els requisits del projecte, i, també, poder visualitzar les variables i els processos de l'aplicació sense haver de depurar-la, és a dir, traient la necessitat de l'ordinador. Aquest últim detall permetrà realitzar mesures fàcilment on un ordinador no està disponible, com pot ser el cas de mesures a nivell del mar, en alta muntanya o els túnels del metro. A més, s'han anat implementant solucions necessàries per a presentar l'aplicació a l'usuari final.

6.1.1. Interfície d'usuari

La interfície d'usuari de l'aplicació per proves disposa d'una pantalla principal i una pantalla secundària que és útil, bàsicament, per al desenvolupador. Per una banda, la pantalla principal inclou dos botons des dels quals iniciar les mesures amb el baròmetre de l'smarphone i l'estació Windoo, els quals activen una barra de progrés circular per avisar l'usuari de què s'està procedint a la mesura. Dos camps de text numèric indicaran la pressió obtinguda al moment, pels sensors que s'hagin iniciat.

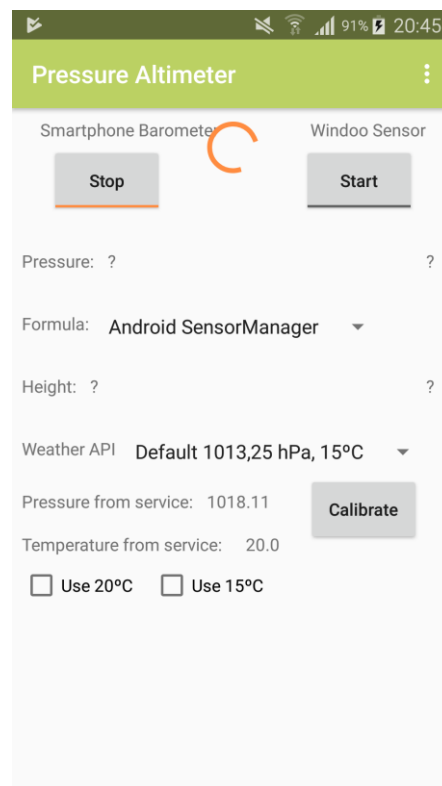


Figura 33: Captura de l'aplicació iniciant la mesura.

Una llista desplegable permet escollir entre els models implementats en l'apartat 3 per obtenir l'altitud a partir de la pressió mesurada, la qual es mostrarà a continuació

en uns altres dos camps de text numèrics, un pel valor obtingut de la pressió del sensor i un pel Windoo.

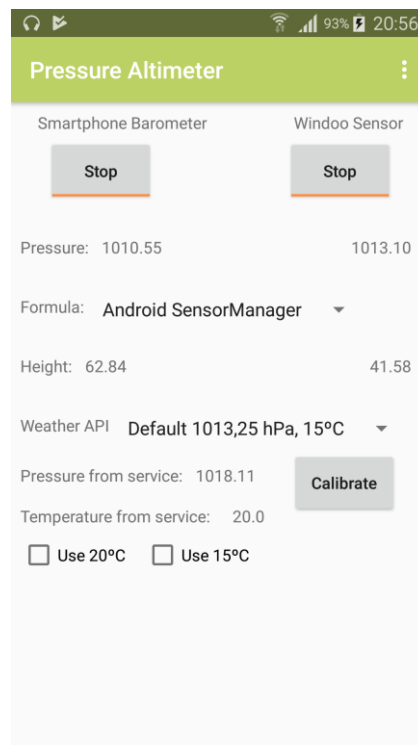


Figura 34: Captura de l'aplicació mesurant pressió.

A continuació una altra llista desplegable deixarà triar quina API s'utilitza per aplicar les correccions i un botó per iniciar el calibrat. Un cop rebudes les dades del servidor, es mostraran els valors amb els quals s'està estimant l'altitud en dos camps de text numèrics. La petició als servidors també inicia una barra de progrés per mostrar que s'està procedint a la petició de dades i l'obtenció de la posició GPS.

Per observar com afecta la temperatura al càlcul de l'altitud, s'han afegit dues caselles seleccionables per les dues temperatures de referència segons el model que es consideri, 15 °C o 20 °C. Si no es selecciona cap de les dues, s'utilitza la provinent del servidor.

Per altra banda, el menú d'"overflow" (els tres punts verticals de la barra de l'aplicació) permet obrir la pantalla de registres. En aquesta pantalla se'ns mostra el registre de dades de l'aplicació mitjançant un text lliscant on es carrega el contingut del fitxer .csv que s'emmagatzema de forma semblant al que s'explica en l'apartat 3. En aquest fitxer queda registrada la data i hora exacta a la qual s'escriu cada línia, el valor d'altitud calculat, així com el model pressió-altitud i l'API que s'estan utilitzant, i els valors de pressió i temperatura que s'estan utilitzant per corregir el càlcul de l'altitud.

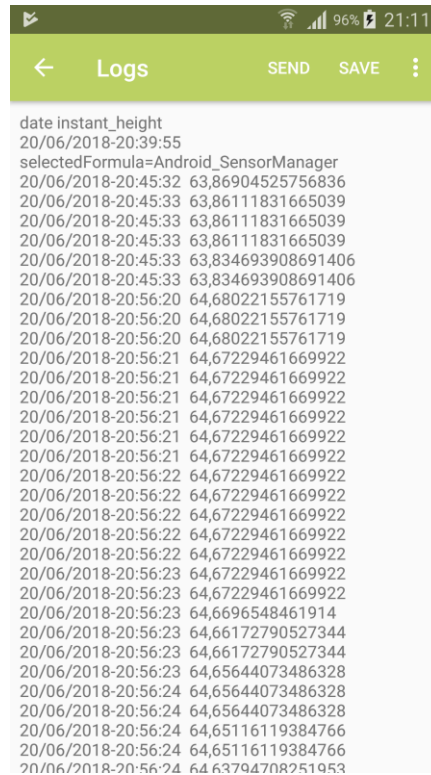


Figura 35: Captura de la pantalla de registre.

La barra superior d'aquesta pantalla permet guardar el fitxer a la carpeta de documents del telèfon a l'hora que deixa escollir el nom que se li dona a l'arxiu. Aquesta opció evita perdre el registre en cas que l'aplicació es reiniciï, ja sigui per un error de l'usuari o que es produeixi una excepció de codi, ja que l'arxiu de registres és un fitxer temporal que se sobreescriu cada vegada que s'inicia l'aplicació.

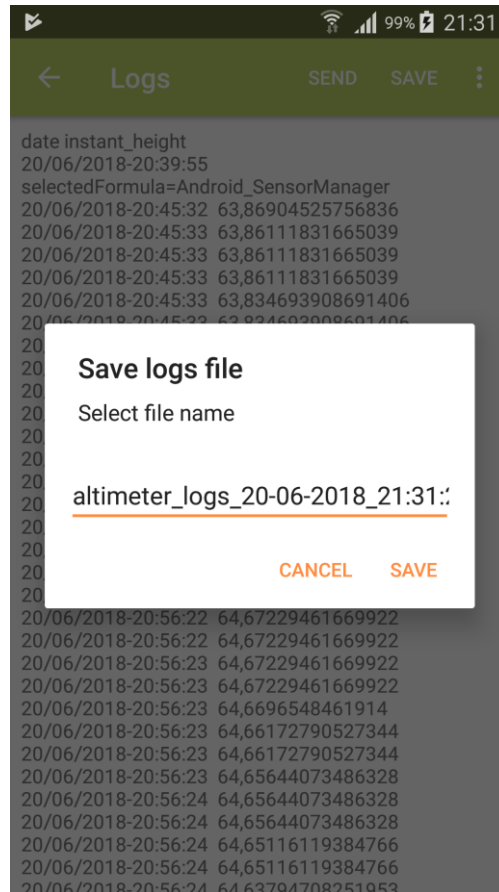


Figura 36: Captura de l'opció de guardar el fitxer.

Si es vol utilitzar l'arxiu a l'ordinador i no es disposa de cable USB, l'opció d'enviar per correu obre l'aplicació de correu electrònic per defecte amb el correu electrònic de l'autor de l'aplicació, un assumpte predeterminat, i el fitxer de registre adjunt, de forma automàtica per agilitzar la feina. Així només s'haurà de comprovar els camps i realitzar l'enviament.

El menú d'"overflow" d'aquesta pantalla permet amagar una funcionalitat per evitar la seva execució per equivocació. Aquesta funcionalitat permet eliminar totes les dades de l'aplicació i reiniciar-la per poder realitzar una nova prova i netejar l'arxiu de registre.

6.1.2. Lògica de l'aplicació

Només iniciar-se l'aplicació es crearà l'arxiu de registre i es demanaran els permisos necessaris, de manera que si no són acceptats, no deixa continuar amb el funcionament normal de l'aplicació fins que no s'acceptin, donant l'opció d'obrir els ajustaments del telèfon per fer-ho. Un cop acceptats, l'aplicació es manté a l'espera dels següents esdeveniments:

- Inici de la mesura del Windoo:

En prémer el botó que inicia el sensor Windoo, es controla que el nivell del volum de l'àudio sigui el màxim, que és un requisit per al funcionament d'aquest sensor, ja

que es connecta al telèfon a través del mini jack. Si no està al màxim, s'augmentarà automàticament perquè no ho hagi de fer l'usuari. Tot i que si el telèfon té bloquejat el control automàtic de volum, s'avisarà a l'usuari que el pugi. Tot seguit es procedeix a iniciar la captura de valors de pressió de la mateixa manera a l'apartat 4.

El valor de pressió obtingut es mostra a la pantalla i es calcula la pertinent altitud per mostrar-la també. Aquesta altitud es calcula segons el model escollit a la llista desplegable de la pantalla principal i els valors que apareixen en els camps de pressió i temperatura de calibratge. El càlcul de l'altitud es fa segons la funció de Matlab esmentat a l'apartat 3, aquest cop implementat de la mateixa manera però en una classe Java.

- Inici de la mesura del baròmetre:

Es funcionarà de forma semblant al sensor Windoo amb la diferència que es mostrarà una barra de progrés mentre es van emmagatzemant les mesures fins a poder calcular l'altitud i actualitzar les dades a la pantalla.

Aquest temps d'espera es deu a la implementació d'un filtre per solucionar el problema esmentat en l'apartat 4, consistent en una excessiva variabilitat dels valors de pressió provinents del baròmetre. Aquest filtre suavitzant de les mesures, necessita una finestra de valors per poder proporcionar un valor suavitzat, de manera que en iniciar-se la mesura, no es pot calcular el valor resultant a la sortida del filtre fins a haver emplenat de valors de pressió la finestra o buffer.

Després de diverses proves amb un filtre de mitja mòbil amb totes les mides de finestra possibles es va poder determinar que el filtratge no era efectiu, ja que pel temps més adequat de finestra de 8 segons (48 mostres), l'altitud variava fins a 1,5 metres estant el dispositiu immòbil durant 5 minuts.

Primerament es va considerar la implementació d'un detector d'activitat^[25], que consisteix en una funcionalitat dels smartphones més moderns capaços de determinar si el dispositiu s'està movent, i quin tipus de desplaçament descriu, ja sigui a peu, amb cotxe, corrent, caminant, etc. Es va descartar aquesta opció per la seva poca exactitud pel tipus de funcionalitat del projecte, la seva dificultat d'implementació, i la proposta dels codirectors del projecte de canviar el filtre de mitja mòbil per un filtre que s'adeqüés més al tipus de soroll de les mesures.

En les proves per trobar la mida de finestra més adequada pel filtre de mitja mòbil es va observar que les mesures seguien la forma d'un soroll de tipus impulsiu, pel que per reduir-lo seria més adequat un filtre de mediana^[26].

S'ha aprofitat que aquest tipus de filtre pot aplicar-se a un buffer circular i així rebre un valor instantani a cada nova mesura (6 valors per segon) en lloc d'haver d'esperar tota la finestra per a cada valor de sortida del filtre. D'aquesta manera es pot augmentar tant com sigui necessari la mida del buffer sense haver d'esperar un temps excessiu entre cada nou valor d'altitud.

Per implementar-lo es van guardar els valors de pressió en un vector de mida fixa, descartant l'últim valor del vector a cada nou valor arribat. Un cop s'ha emplenat el vector i ja no conté els zeros amb els quals s'inicialitza, s'ordenen els valors en ordre ascendent i si la mida del vector és imparell, s'extreu el valor del mig com a sortida del filtre. Si la mida del vector és parell, s'extreu el valor mitjà entre el valor que està situat al mig-esquerra i el mig-dret^[27]. Aquesta mida del vector s'haurà d'optimitzar per a complir les especificacions del projecte. Obtingut el valor de la mediana, es calcula l'altitud resultant seguint els passos esmentats en el cas del Windoo.

- Pulsació del botó de calibrat:

Primer es desa l'API escollida en la llista desplegable corresponent, i si aquesta és diferent de la per defecte (la que no correspon a cap API, 1013,25 hPa i 20 °C), primer es comprova que la connexió a la xarxa estigui disponible, i que la localització estigui habilitada. Si no es compleixen aquests dos requisits, s'alerta a l'usuari amb un diàleg que li dona l'opció d'obrir els ajustaments per habilitar les xarxes o la localització. Si es compleixen els requisits de connectivitat, es procedeix a l'accés a la ubicació del dispositiu i a la petició al servidor de l'API corresponent tal com s'indica en l'apartat 5. Quan s'ha obtingut la pressió i la temperatura del servidor, s'actualitza el valor a la pantalla i es torna a calcular l'altitud aplicant com a correcció aquests nous valors, registrant-se també als registres de l'aplicació aquest esdeveniment.

- Selecció de les caselles 15 °C o 20°C:

Si es tria alguna d'aquestes dues opcions, les quals són excloents entre elles, es torna a calcular l'altitud aplicant com a temperatura de correcció el corresponent a la casella seleccionada, actualitzant el valor d'altitud de la pantalla i registrant als registres de l'aplicació aquest esdeveniment.

Els canvis de temperatura de calibratge mitjançant les caselles, la rebuda de nous valors de calibratge dels servidors, i els canvis en el model escollit per calcular l'altitud, actualitzen el valor d'altitud de la pantalla encara que la captura de valors del baròmetre estigui aturada, permetent la comparació entre paràmetres per una sola mesura de pressió.

- Visualització dels registres:

En entrar a la pantalla de registre es torna a comprovar els permisos requerits per l'aplicació, ja que si s'ha desactivat el permís d'emmagatzematge extern sense reiniciar l'aplicació, provocarà una excepció en voler accedir o desar l'arxiu de registres.

Aquesta pantalla permet enviar els registres per correu electrònic com s'ha comentat anteriorment, i desar el fitxer amb un nom nou. Aquest nom es genera automàticament de l'hora i la data actual, de forma que sigui inequívoc. No obstant, es permet modificar aquest nom pel desitjat per l'usuari.

Amb l'opció d'eliminar les dades de l'aplicació, demana la confirmació amb un diàleg simple per si s'ha pulsat l'opció per error i es procedeix a reiniciar l'aplicació i eliminar-ne totes les variables persistents desades del tipus "SharedPreferences".

6.2. Proves realitzades

Les primeres proves tractaven de determinar la millor combinació de fórmula per calcular l'altitud i mida de la finestra del filtre de mitja mòbil. Aquestes proves consistien en deixar el dispositiu immòbil durant 5 minuts, amb una certa fórmula, i intentant evitar canvis de temperatura i corrents d'aire que puguin influir negativament en la mesura de pressió.

La combinació que aconseguís complir les especificacions del projecte, de no variar el valor d'altitud més de 20 cm si el dispositiu no es desplaça en altitud, seria l'escollida, però cap de les proves va resultar satisfactòria. En una de les proves s'obtenia la gràfica d'altitud que es mostra en la figura 37.



Figura 37: Gràfica de l'altitud obtinguda amb un filtre de mitja mòbil de 8 segons de finestra.

Després de canviar el filtre de mitja mòbil per un de mediana de la mateixa mida i una fórmula qualsevol, s'obtenien els resultats que es mostren en la figura 38, molt més satisfactoris sense haver provat la millor combinació entre mida de la finestra i fórmula, on es mesura un màxim canvi d'altitud de 40 cm.

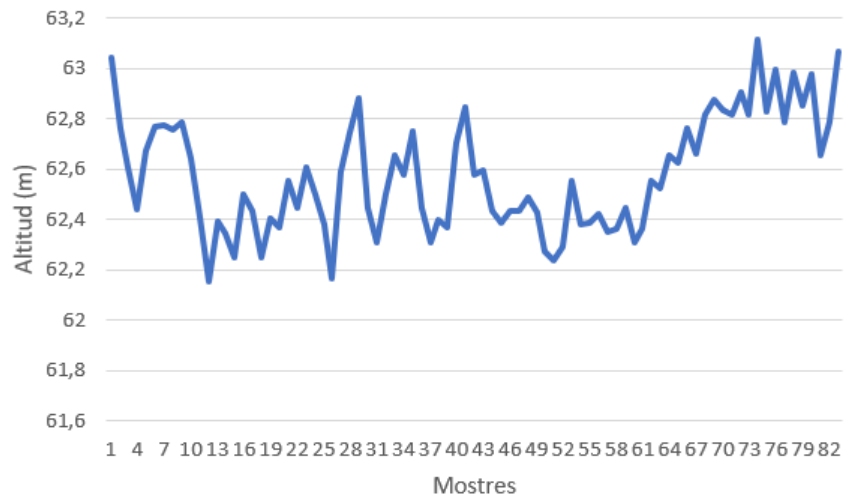


Figura 38: Gràfica de l'altitud obtinguda amb un filtre de mediana de 8 segons de finestra.

Vist que la implementació del filtre de mediana millora clarament els resultats, es va mesurar l'altitud per una mateixa fórmula durant 30 segons amb el dispositiu completament immòbil, amb diferents mides de finestra del filtre per determinar la que proporcionava millors resultats. Per aquesta prova ja no és necessari un període tan llarg de mesura per determinar que el telèfon resta immòbil, ja que en haver implementat la finestra del filtre lliscant, s'obtenen 6 mostres per segon, és a dir, unes 180 mostres.

Havent provat finestres de 2, 4, 8, 10, 12, 15, 20 i 30 segons, es conclou que la millor finestra està entre els 10 i 20 segons, ja que per valors superiors els resultats no milloren notablement.

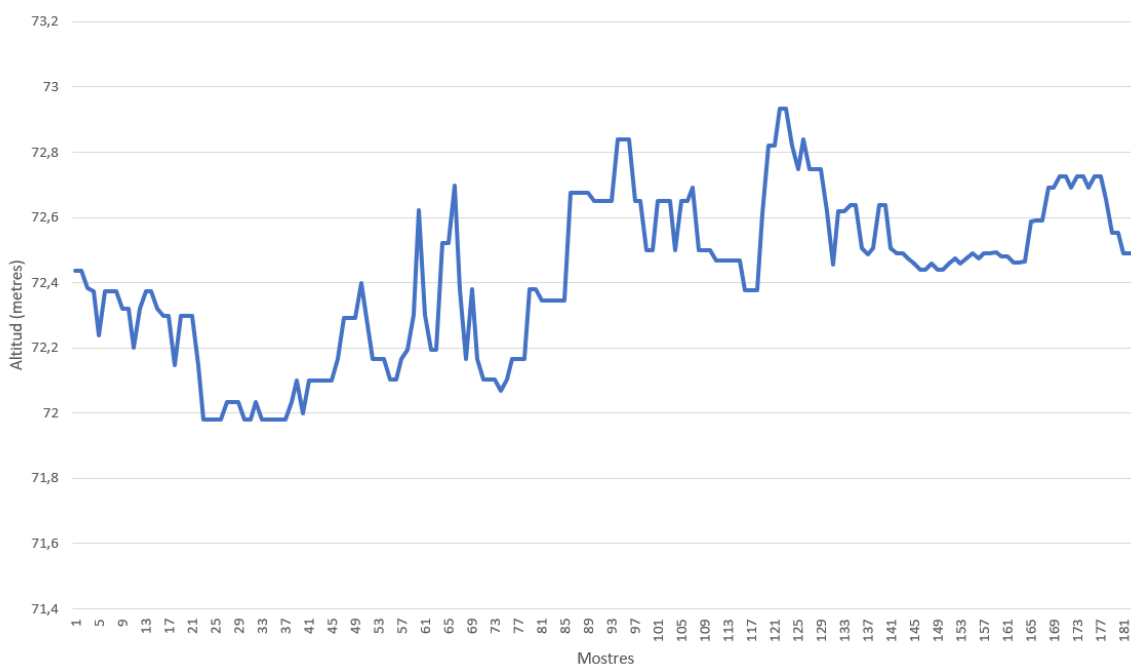


Figura 39: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 4 segons de finestra.

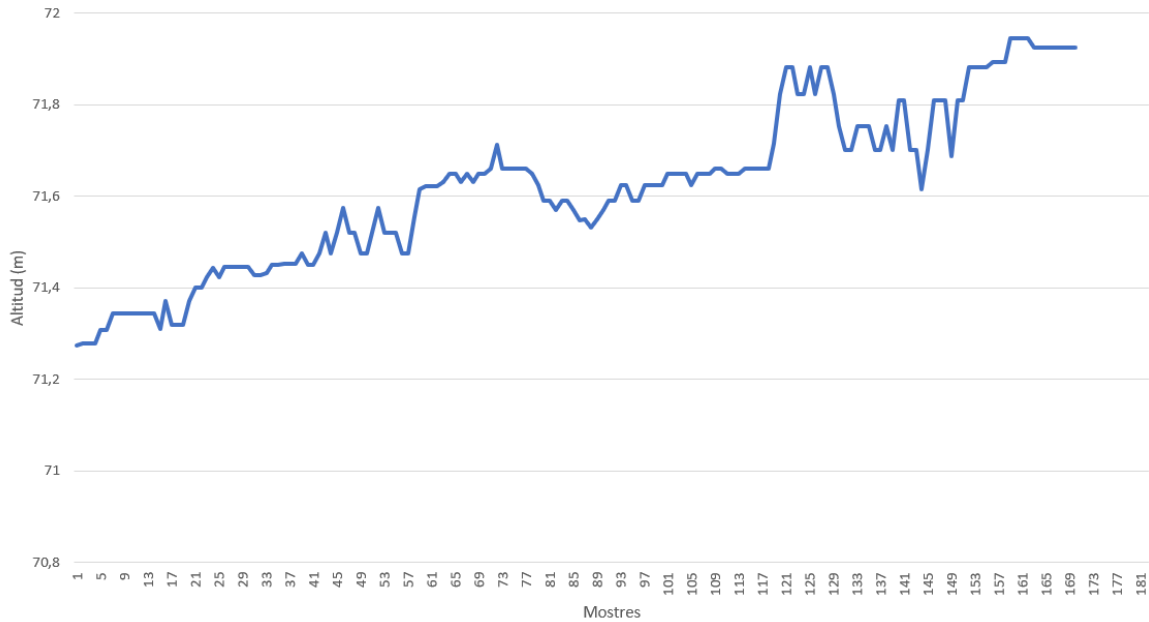


Figura 40: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 12 segons de finestra.

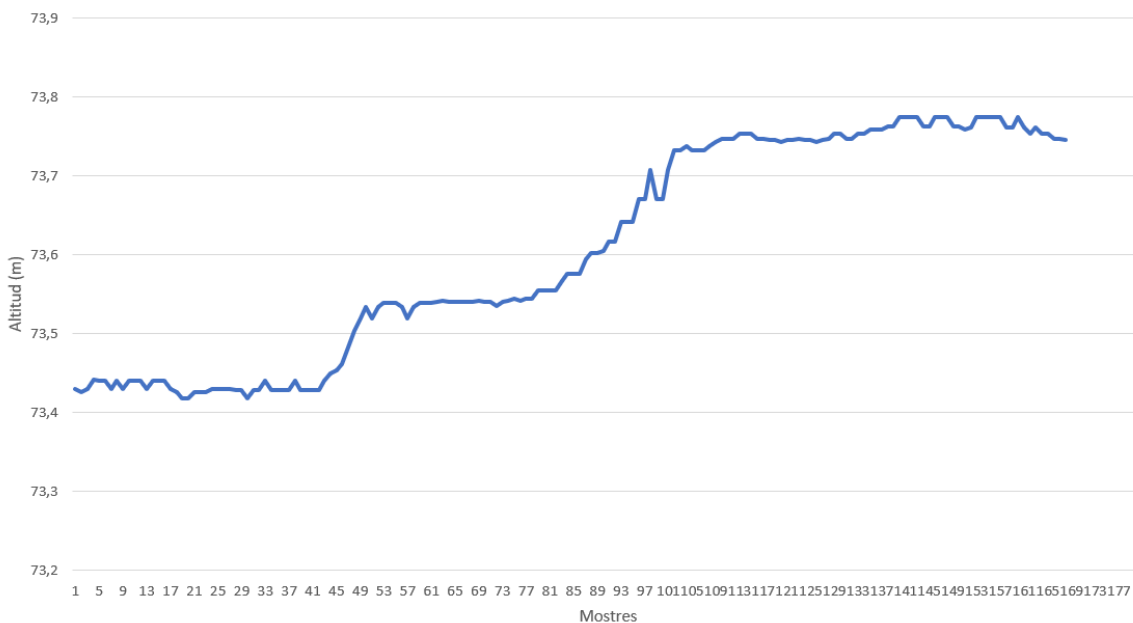


Figura 41: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 20 segons de finestra.

L'augment de la mida de la finestra porta a una menor velocitat de resposta del sistema, ja que necessita que un canvi de pressió duri més que la mida de la finestra per fer variar la sortida del filtre. D'aquesta manera, si s'aconsegueix fer un desplaçament en desnivell i tornar a la posició inicial més ràpidament que la mida de la finestra, l'aplicació no haurà detectat aquest desnivell.

Aleshores, per observar com afecta la mida de la finestra a la velocitat de resposta del sistema, s'ha baixat i pujat un pis caminant a velocitat estàndard, amb el dispositiu a la mà, per 0, 5, 10, 15, 20, 30 i 60 segons de finestra. Abans i després de fer el

desplaçament, s'esperaven uns 5 segons per donar un temps mínim a l'aplicació per estabilitzar la mesura.

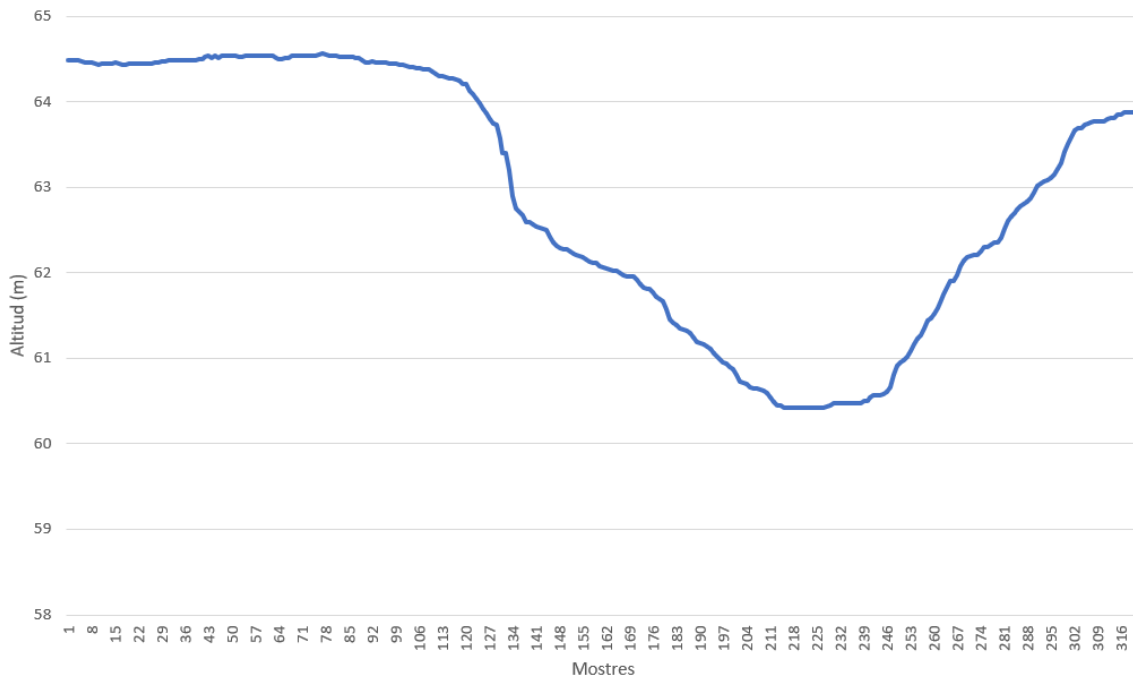


Figura 42: Gràfica de l'altitud en pujar i baixar un pis per un filtre de mediana de 10 segons de finestra.

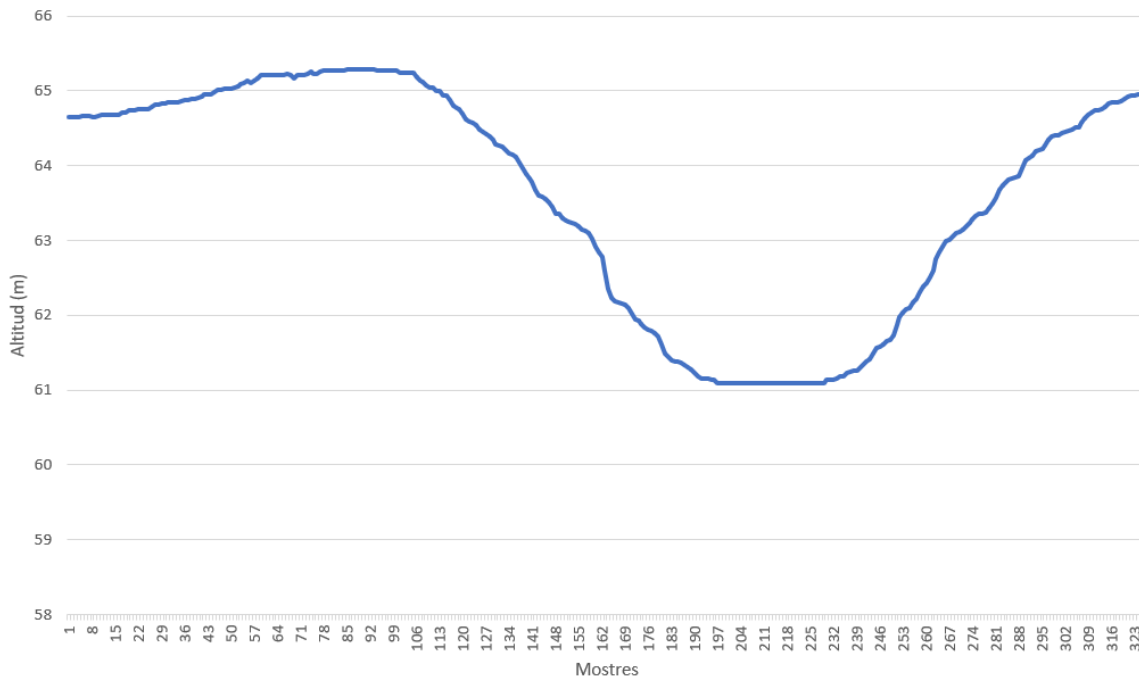


Figura 43: Gràfica de l'altitud en pujar i baixar un pis per un filtre de mediana de 15 segons de finestra.

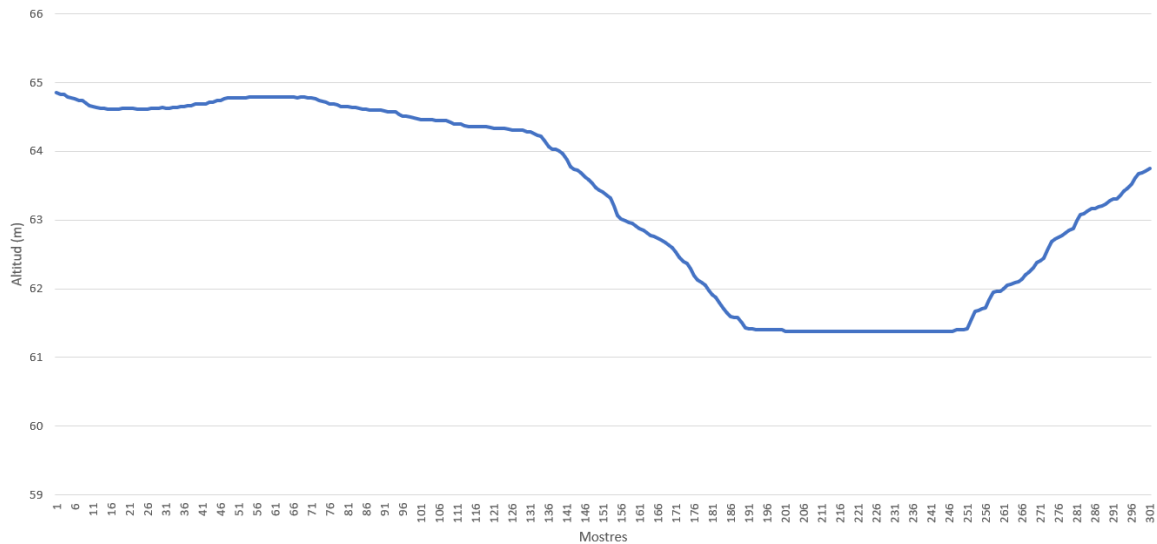


Figura 44: Gràfica de l'altitud en pujar i baixar un pis per un filtre de mediana de 20 segons de finestra.

En aquesta prova es confirma la mida òptima de 15 segons, ja que per finestres menors la gràfica és massa irregular, amb irregularitats provinents del soroll del sensor i no de la variació de desnivell. Per contra, una finestra massa gran, tot i que proporciona una gràfica molt uniforme, no és capaç de detectar el canvi de desnivell íntegre, tot i haver deixat 5 segons per establitzar-se.

Per confirmar que 15 segons de finestra compleixen els requisits de no mostrar una diferència d'altitud major a 20 cm amb el mòbil quiet, s'ha repetit la prova abans esmentada de deixar el dispositiu quiet damunt la taula durant 30 segons, obtenint els resultats esperats en altitud relativa, amb un màxim d'altitud mesurada de 699,98 metres i un mínim de 699,71 metres.

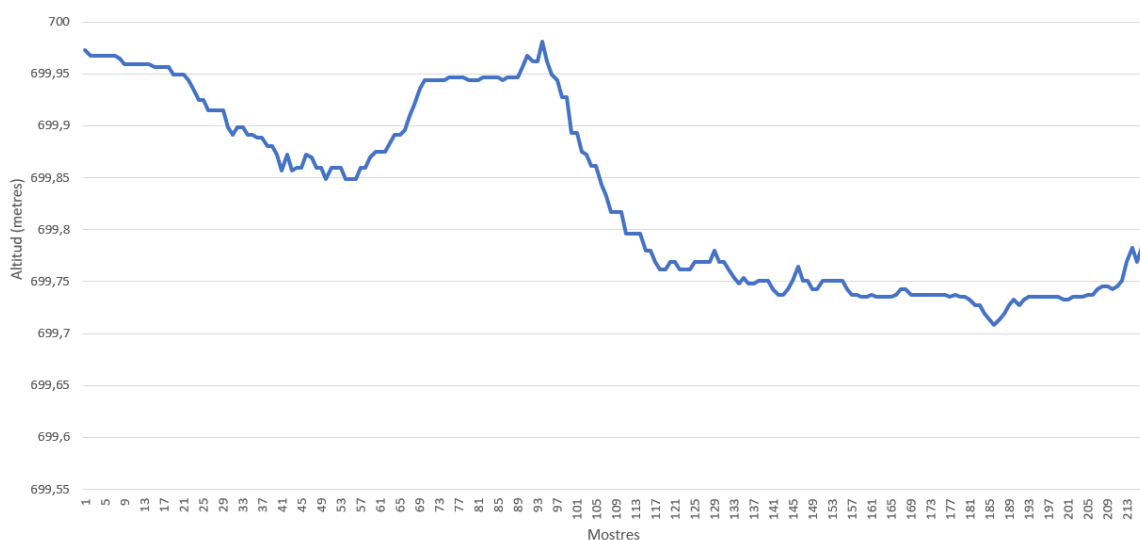


Figura 45: Gràfica de l'altitud per un filtre de mediana de 15 segons de finestra.

Finalment, es procedeix a determinar la combinació de model pressió-altitud i API que proporciona una major exactitud pel que fa a altitud absoluta en tot tipus d'escenaris. Havent implementat el filtre de mediana, com l'altitud es manté constant si el dispositiu no es mou, amb un únic valor d'altitud n'hi ha prou per a les comprovacions.

Si s'analitzen les fórmules per calcular l'altitud, s'observa que el valor de temperatura de correcció no correspon sempre al mateix, en alguns casos correspon a la temperatura normal a nivell del mar de l'NIST, que considera 20 °C. En altres casos la temperatura es correspon a les condicions estàndards mètriques internacionals (International Standard Metric Conditions), la qual considera 15 °C^[28]. Aquest fet porta a haver de comprovar quina temperatura és més adequada per a aplicar les correccions, si la proporcionada per l'API, o si 20 °C o si 15 °C, afegint un paràmetre més a optimitzar.

Després de realitzar unes mesures s'ha observat que en molts casos la pressió obtinguda per l'smartphone resulta en una altitud errònia, mentre que el Windoo funciona bé. Com que aquesta diferència no es produeix en totes les altituds per igual, s'afegirà com a paràmetre a optimitzar un òfset amb el valor de 2,75 hPa trobat en l'apartat 4, que es compararà amb valors d'òfset més generals de 2 hPa i 3 hPa per evitar la dependència a l'error del baròmetre d'aquest model d'smartphone en concret i de les condicions concretes de la prova que van determinar el valor de 2,75 hPa.

Com que l'altímetre ha de complir les especificacions en tot tipus d'escenaris i altituds, s'han efectuat mesures a 50 metres d'altitud al centre de Barcelona en un recinte interior, a 3 metres d'altitud a la Barceloneta (exterior), a prop del refugi del Cap del Rec situat a 1952 metres d'altitud (exterior), a la Torre Solsona de la Seu d'Urgell a 756 metres d'altitud (exterior) i al centre de la Seu d'Urgell a 697 metres (recinte interior). Aquestes altituds s'han extret dels mapes a escala 1:5000 de l'ICGC mitjançant una de les seves aplicacions Android^{[30][31]}.

Per agilitzar els procediments, s'ha extret el valor de pressió mesurat pel baròmetre i s'ha portat a la funció Matlab de l'apartat 3 des del qual poder optimitzar millor els diferents paràmetres. Els resultats d'alguns dels experiments es poden trobar de l'annex 1 al 4.

S'ha pogut observar que en el cas de no utilitzar pressió ni temperatura de correcció només es complien els requisits del projecte en les mesures realitzades al Cap del Rec per una única fórmula concreta. En canvi, si s'utilitza l'API d'Accuweather, es compleix la condició de ± 5 metres d'error respecte de l'altitud extreta dels mapes en més ubicacions. El valor de pressió provinent de l'API Dark Sky és la que dona una altitud més exacta en la majoria d'ubicacions, tot i que el millor és no utilitzar la seva temperatura i utilitzar el valor de 15 °C. Pel que fa a l'optimització del valor d'òfset, tots els casos milloren quan s'aplica l'òfset, especialment quant aquest és de 2 hPa. Aquests raonaments es troben il·lustrats en la taula de l'annex 5. En aquesta taula es veu que les millors fórmules a aplicar, que responen a tot tipus d'escenaris, són la "Fórmula baromètrica" i la "Fórmula d'anivellament baromètric per l'atmosfera

isoterma”, les quals donen sempre el mateix resultat per ser dues formes equivalents d’expressar la mateixa relació.

Una vegada validada l’optimització dels paràmetres, es va tenir l’oportunitat de provar l’aplicació en un dispositiu Samsung Galaxy S8, que al ser de gamma superior, conté un baròmetre de major qualitat. La mesura d’aquest baròmetre és sempre uns 2 hPa superior a la del Samsung Galaxy S5, pel que l’òfset que s’aplica origina un error en la mesura. Per fer l’aplicació més universal per tot tipus de dispositius, es permetrà a l’usuari introduir l’òfset desitjat manualment, sent de 2 hPa per defecte, solucionant d’aquesta manera l’error fix inherent als diferents tipus de baròmetres segons el dispositiu.

6.3. Aplicació final

L’aplicació que s’entregarà es basa en l’anterior exposada però se n’ha simplificat la interfície gràfica per a un ús més intuïtiu per l’usuari i eliminant tots els elements que constituïen l’optimització dels paràmetres, ja que aquesta ja inclou el model pressió-altitud, l’API i l’òfset que proporcionen millor resultats, traient la necessitat de l’usuari per modificar-ho. La combinació de paràmetres més òptima és la formada per la “Fórmula d’anivellament baromètric per l’atmosfera isoterma”, l’API de Dark Sky per a la pressió de referència, una temperatura estàndard o de referència de 15 °C i un òfset de 2 hPa, tot i que aquest últim dependrà del model de baròmetre que incorpori el telèfon. A més s’ha netejat el codi perquè sigui més eficient i llegible.

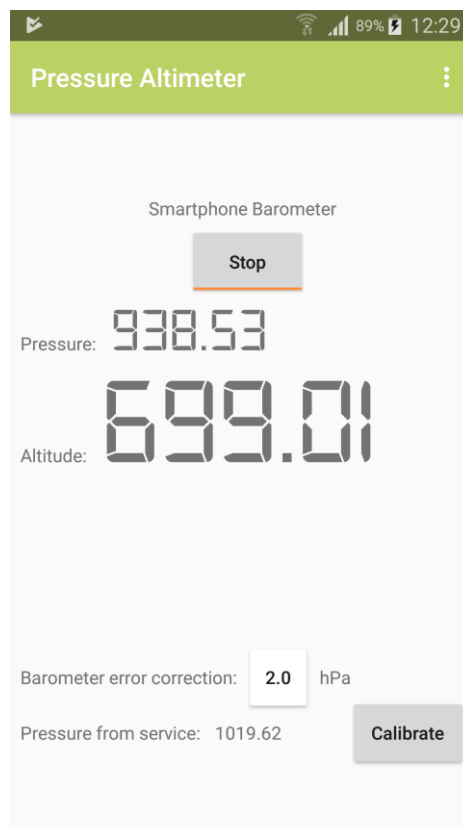


Figura 46: Captura de la pantalla principal de l'aplicació final.

També s'han controlat alguns errors donats per un flux d'execució erroni de l'usuari, com per exemple una mala connexió de xarxa mentre es realitza la petició al servidor, l'inici d'aquesta petició abans que s'hagi iniciat la captura de valors de pressió, o que l'usuari intenti iniciar el baròmetre en un telèfon que no disposi d'aquest tipus de sensor.

A més, s'ha afegit un control de temps i nombre de peticions al servidor per no sobrepassar el nombre màxim de peticions per dia al servidor, 1000 en el cas del paquet gratuït, ja que podria produir-se una excepció en cas de passar d'aquest valor.

Com a solució a la possible variació en l'error inherent al baròmetre dels diferents dispositius, es permet a l'usuari l'elecció de l'òfset a aplicar al nivell de pressió mesurada perquè l'altitud resultant s'adeqüi més a l'esperada.

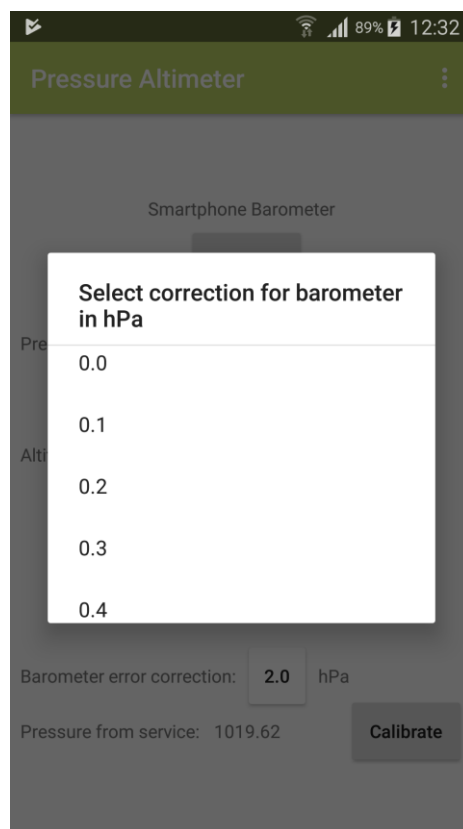


Figura 47: Captura de pantalla de la selecció de l'òfset.

Per l'entrega d'un producte final que es pugui distribuir s'ha dissenyat una icona distintiva per a l'aplicació mitjançant Adobe Photoshop.



Figura 48: Icona de l'aplicació.

7. Validació de l'altimetria

A l'hora de validar si es compleixen els requisits i especificacions del projecte respecte als valors d'exactitud i precisió en el mesurament de l'altitud, s'ha realitzat un seguit d'experiments per confirmar-ho, a banda dels exposats anteriorment per a l'optimització dels diferents paràmetres, els quals ja confirmen el compliment d'alguns requisits, ja que aquests paràmetres a optimitzar ja s'han ajustat perquè compleixin les expectatives.

Primerament s'ha validat l'altitud absoluta mesurada a les diferents ubicacions esmentades en l'apartat anterior, on l'error respecte a l'altitud coneguda, extreta de la cartografia de l'ICGC, no ha superat els 5 metres en cap dels casos. Per visualitzar els resultats amb la combinació de fórmula, API, temperatura de calibratge i òfset, s'ha representat l'altitud mesurada respecte a l'extreta de la cartografia de l'ICGC en un gràfic de dispersió que es mostra en la figura 49. Així podem confirmar la validesa del sistema, ja que el gràfic tendeix a la recta ideal $y = x$.

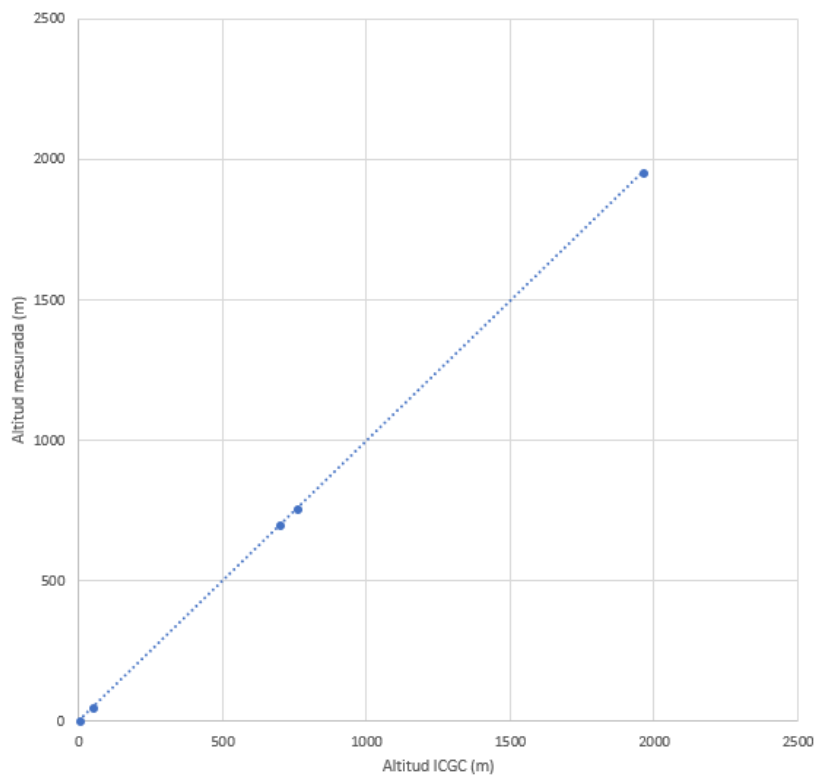


Figura 49: Gràfica de dispersió de l'altitud mesurada respecte a l'altitud de l'ICGC en diferents ubicacions.

A més, en la figura 50 s'ha representat el diagrama de Bland-Altman per les mateixes variables, per veure com es distribueix l'error segons l'altitud i per comparar l'error de les mesures independentment de l'altitud. En aquesta gràfica H_s correspon a l'altitud mesurada i H_0 l'obtinguda dels mapes de l'ICGC. Es confirma que cap punt s'allunya més dels ± 10 metres d'error, requisit del projecte. També s'observa que el màxim d'error (de -5,5 metres) es produeix en alta muntanya, on probablement

l'estació meteorològica més propera es troba més lluny que en els altres casos i el calibratge amb el nivell de referència no és tan acurat.

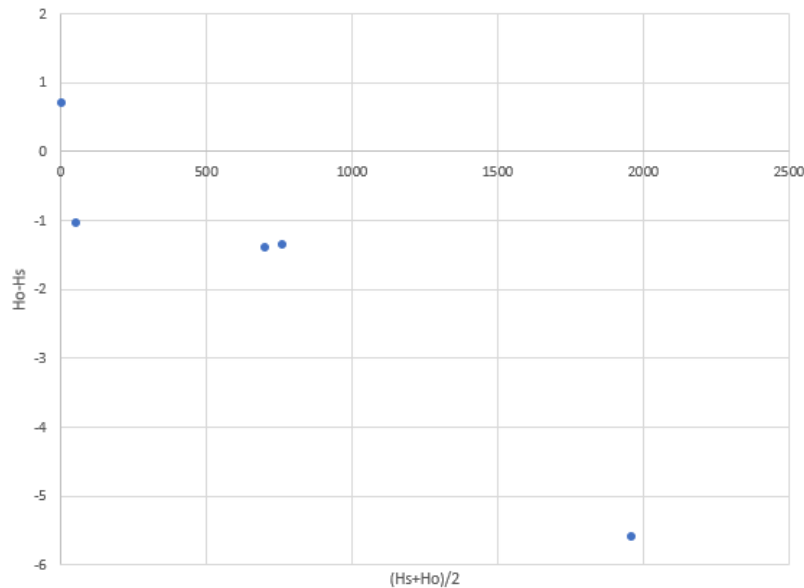


Figura 50: Diagrama de Bland-Altman de l'altitud mesurada respecte a l'altitud de l'ICGC en diferents ubicacions.

En segon lloc s'ha procedit a mesurar l'altitud a nivell de terra i mirar com varia l'altitud en elevar lentament el dispositiu un metre aproximadament. L'experiment ha resultat satisfactori, ja que s'ha aconseguit mesurar aproximadament la variació d'1 metre en altitud. No obstant, en repetir la prova s'ha observat que el sistema no sempre és capaç de determinar aquest desnivell. Això és degut a la gran variabilitat de les mesures pel soroll que hi afegeix el baròmetre. Aquesta variabilitat, tot i no superar el requisit de 20 cm quan el dispositiu resta immòbil, resulta molt molesta a l'hora de determinar la precisió de l'aplicació.

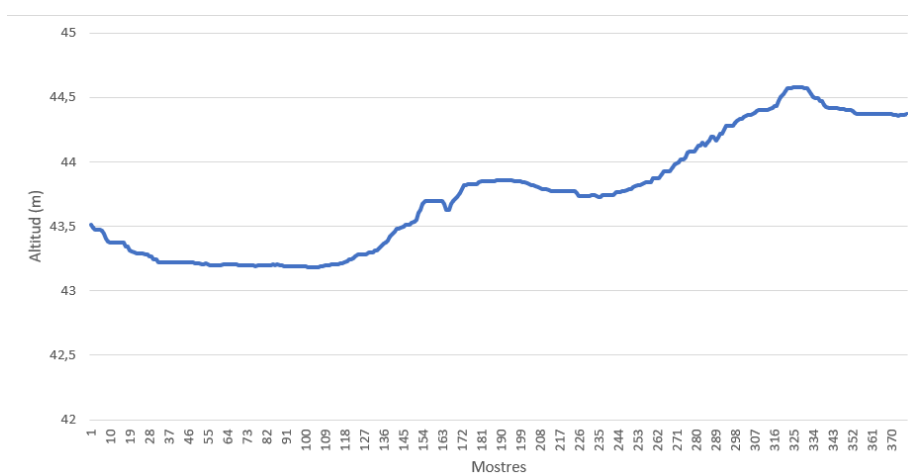


Figura 51: Gràfica de l'altitud mesurada en augmentar-la 1 metre.

El següent experiment ha consistit a iniciar l'aplicació i guardar l'smartphone a la butxaca. Després de restar un minut quiet per estabilitzar la mesura, s'ha seguit un

itinerari per muntanya d'uns 50 minuts per indrets amb moltes pujades i baixades. Finalment s'ha arribat al mateix punt d'inici, acabant immòbil durant un altre minut. La diferència absoluta entre l'altitud mesurada a l'inici i al final de la prova ha estat de 2 metres, a causa del fet que s'apropava una tempesta i la pressió atmosfèrica estava variant ràpidament, però un cop s'ha realitzat la connexió amb l'estació meteorològica més propera per corregir la mesura, la diferència ha estat d'uns 60 cm.

Aleshores, s'ha hagut de repetir la prova amb un itinerari més curt i en condicions de pressió atmosfèrica més estable, obtenint una diferència d'uns 80 cm sense haver de calibrar-se de nou, complint els requeriments del projecte.

Com els dos experiments anteriors han resultat satisfactoris, s'han repetit per poder-ne extreure una gràfica que corroborei els resultats. Per aquesta última prova s'ha realitzat un itinerari d'uns 15 minuts amb diferents desnivells per l'entorn del Campus Nord. A la gràfica de la figura 52 com en començar la prova es mesurava una altitud d'uns 87,5 metres, mentre que en finalitzar l'itinerari en el mateix punt s'ha obtingut 88 metres.

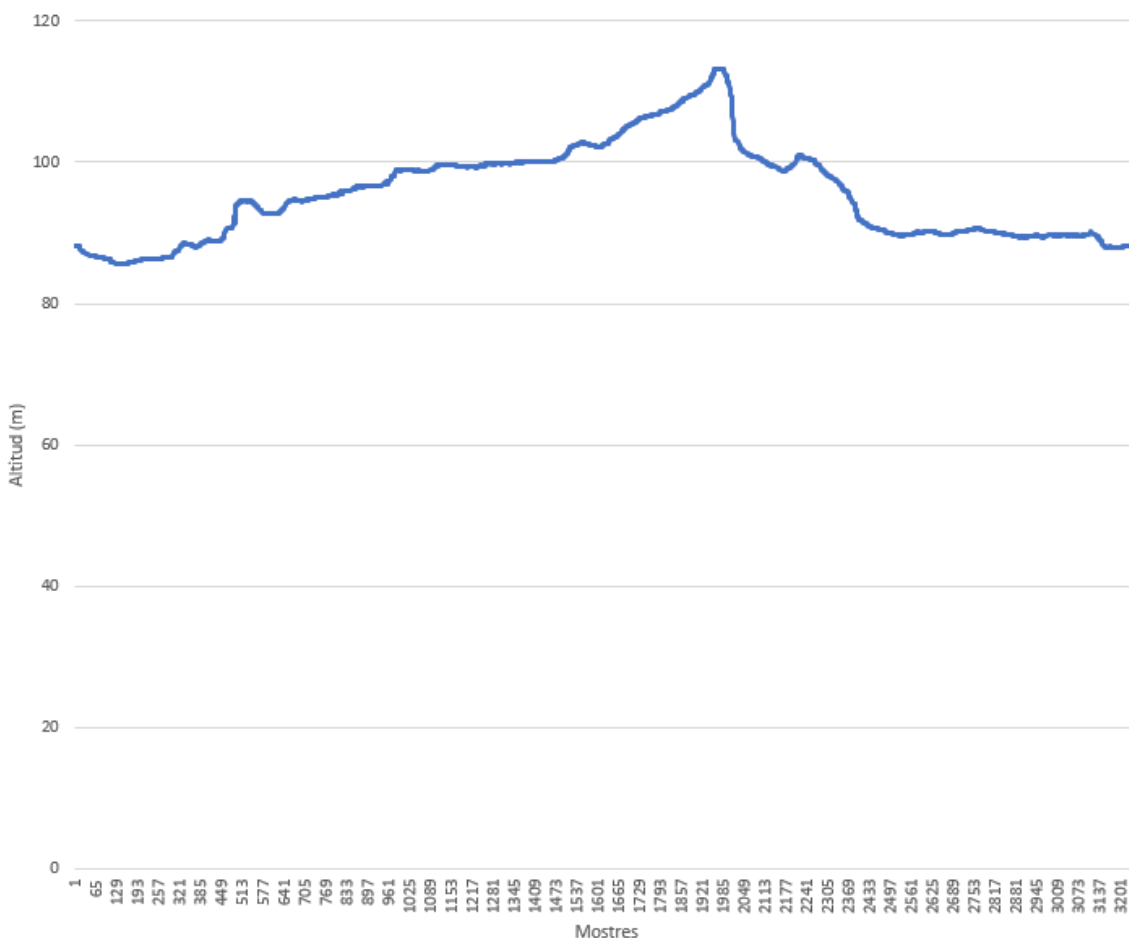


Figura 52: Gràfica del desnivell efectuat pel campus durant 15 minuts.

Finalment, s'ha volgut observar el comportament de l'aplicació en un entorn tan desfavorable com els túnels del metro. La prova realitzada ha consistit a descendir

pels ascensors de l'estació de Zona Universitària fins a l'andana de la línia L9, que correspon al nivell mínim que pot arribar-se en aquesta estació. Després s'ha seguit mesurant l'altitud fins a tornar a sortir al carrer. L'aplicació ha respost correctament i s'ha obtingut una altitud mínima de 17,62 metres, per una altitud d'uns 71 metres a nivell de carrer. El desnivell mesurat es mostra en la figura 53.

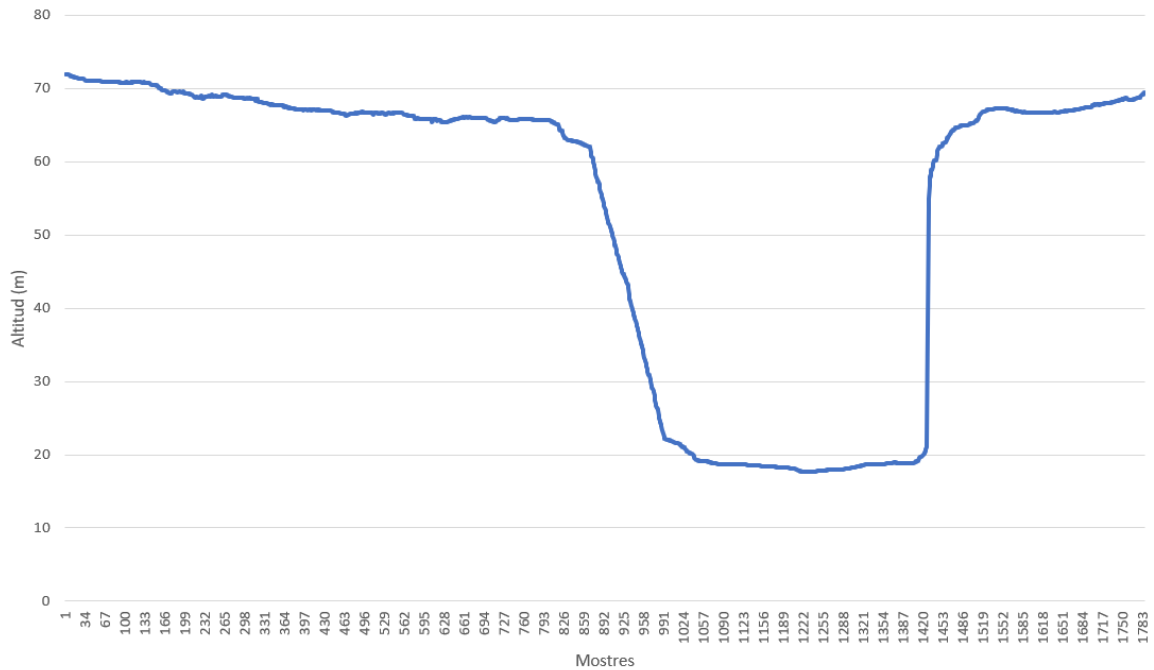


Figura 53: Gràfica del desnivell en baixar a l'andana de la línia L9 a l'estació de Zona Universitària.

8. Pressupost

El cost aproximat del projecte es reparteix entre els següents elements, que juntament amb l'amortització del període en què s'ha realitzat el projecte, se'n calcula un pressupost total descrit a la taula 2:

- Cost d'enginyer: 15 €/hora x 20 hores/setmana x 20 setmanes
- Preu llicència Matlab^[32]: 800 € (4 setmanes d'utilització / 20 hores/setmana)
- Preu de l'smartphone^[33]: 600 €
- Preu ordinador: 750 €
- Preu estació meteorològica portàtil mini jack Windoo^[34]: 85 €

Costos	Cost / hora	Nombre d'hores	Import (€)	Amortització
Cost d'enginyer	15 €/hora	20h/setmana x 20 setmanes = 400 hores	6000	
Llicència Matlab		20h/setmana x 4 setmanes = 80 hores	800	$800 \times 80 / 1736(*) = 36,87 \text{ €}$
Smartphone Samsung S5		20h/setmana x 20 setmanes = 400 hores	600	$600 \times 400 / (2 \times 1736(*)) = 69,12 \text{ €}$
Ordinador per desenvolupar el software		20h/setmana x 20 setmanes = 400 hores	750	$750 \times 400 / (3 \times 1736(*)) = 57,60 \text{ €}$
Estació meteorològica portàtil mini jack Windoo		20h/setmana x 20 setmanes = 400 hores	85	$85 \times 400 / 1736(*) = 19,58 \text{ €}$
			Total	6183,17 €

Taula 2: Càlcul dels costos i amortitzacions amb el valor del pressupost total.

(*) Hores laborables en un any: 1736 hores ^[35]

9. Conclusions

En aquest projecte s'ha desenvolupat una aplicació d'altimetria, mitjançant la pressió atmosfèrica, per telèfons Android completament usable, que permet independitzar el valor d'altitud dels canvis de temps, així com corregir l'error inherent als diferents baròmetres segons el model d'smartphone. Això s'ha pogut implementar gràcies a l'estudi dels diferents paràmetres que afecten la pressió atmosfèrica i com tenir-los en compte en el càlcul de l'altitud, establint un model que relaciona totes les variables més significatives.

A més, aquests valors s'han hagut de corregir dels fenòmens que puguin fer-los variar, a banda dels canvis d'altitud, mitjançant la connexió amb una xarxa d'estacions referenciada a nivell del mar.

Dels requisits i especificacions s'han complert tots els objectius marcats, ja que l'aplicació indica un canvi d'altitud de no més de 20 cm si el dispositiu ha restat immòbil, té una exactitud en l'altimetria de 10 metres o menys, i és capaç de mesurar variacions d'altitud d'1 metre com a mínim.

Amb la gran varietat de proves per determinar els millors resultats, s'ha observat que l'aplicació és capaç de mesurar tant en exteriors com interiors, tant amb el telèfon a la mà com a dins d'una motxilla o butxaca, i tant en indrets d'alta muntanya com a nivell del mar. A més, durant aquestes proves s'han trobat tot tipus de condicions meteorològiques, tant de pressió atmosfèrica com de temperatura.

No obstant, s'havia especificat que la connexió amb les estacions meteorològiques més properes s'havia de poder realitzar en temps real cada 5 o 10 minuts, però s'ha descartat aquesta opció, ja que podria donar un resultat indesitjat per l'usuari. Si l'interès de l'usuari se centra en el desnivell acumulat des d'un punt d'inici, podria donar resultats erronis, fent que a mig itinerari l'altitud variés sense que el dispositiu s'hagi desplaçat, a causa d'una nova connexió a la xarxa d'estacions per corregir un canvi en el temps. Així, aquesta funcionalitat només seria d'utilitat si l'ús de l'aplicació fos per conèixer el valor d'altitud absoluta. Per això, s'ha deixat a l'usuari la capacitat de decidir quan es vol calibrar la mesura.

Per a futures millores per l'aplicació es proposa solucionar la gran variabilitat de l'altitud mesurada, que tot i complir les especificacions, varia molt en el temps encara que el dispositiu no es mogui. Per aconseguir-ho, potser caldria perdre resolució de la mesura i limitar-la de l'ordre de metres en lloc de centímetres, tal com fan altres aplicacions consultades. A més, seria interessant incorporar un procediment de calibratge del baròmetre per tal que l'òfset no s'hagi d'introduir manualment.

També es podria afegir funcionalitats a l'aplicació com l'accés a la cartografia de l'ICGC per calibrar l'altímetre segons l'altitud coneguda en lloc de la pressió referenciada a nivell del mar. Finalment seria interessant donar l'opció als dispositius que no disposen de baròmetre, de mesurar l'altitud per GPS, encara que això comporti errors excessius, que solen ser d'uns 50 metres.

Bibliografia

- [1] Suunto. "Suunto Ambit3 Peak Guía del usuario – 2.4". *Suunto*, 2018. [Online] Disponible: https://www.suunto.com/es-es/Asistencia/Asistencia-de-productos/suunto_ambit3_peak/suunto_ambit3_peak/caracteristicas/alt.-bar/ [Accedit: 24 Juny 2018].
- [2] Wikipedia. "Atmospheric pressure – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure [Accedit: 24 Juny 2018].
- [3] Graham Jackson i Chris Crocker. "The use of altimeters in height measurement". *The Database of British and Irish Hills*. [Online] Disponible: <http://www.hills-database.co.uk/altim.html> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [4] Google. "Sensors Overview | Android Developers". *Android Developers*, 2018. [Online] Disponible: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview [Accedit 24 Juny 2018].
- [5] Casio Computer CO., LTD., "Altitude from atmospheric pressure Calculator – High accuracy calculation", Keisan Online Calculator, 2018. Disponible: <https://keisan.casio.com/exec/system/1224585971> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [6] Wikipedia. "Troposphere – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: <https://en.wikipedia.org/wiki/Troposphere> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [7] Wikipedia. "Barometric formula – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula [Accedit: 24 Juny 2018].
- [8] Wikipedia. "Gradiente adiabático – Wikipedia, la enciclopedia libre". *Wikipedia*, 2017. [Online] Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Gradiente_adiab%C3%A1tico [Accedit: 24 Juny 2018].
- [9] Wikipedia. "Lapse rate – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Lapse_rate [Accedit: 24 Juny 2018].
- [10] Wikipedia. "Fórmula baromètrica – Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://ca.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_barom%C3%A8trica [Accedit: 24 Juny 2018].
- [11] Divulgació Meteocat. "Reducció de la pressió atmosfèrica a un nivell de referència | Meteocat". *Meteocat*, 2016. [Online] Disponible: <http://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/equipaments-meteorologics/estacions-meteorologiques-automatiques/xarxa-destacions-meteorologiques-automatiques-xema/informacio-sobre-les-dades-meteorologiques-de-les-ema-que-es-mostren-al-web/reduccio-de-la-pressio-atmosferica-a-un-nivell-de-referencia/> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [12] Wikipedia. "Pressió de vapor de l'aigua – Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://ca.wikipedia.org/wiki/Pressi%C3%B3_de_vapor_de_l%27aigua [Accedit: 24 Juny 2018].
- [13] National Weather Service. "pressureAltitude.pdf". *National Weather Service*, 2018. [Online] Disponible: <https://www.weather.gov/media/epz/wxcalc/pressureAltitude.pdf> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [14] JDC Electronic SA. "Skywatch Windoo :: The weather station". *JDC Electronic SA*, 2014. [Online] Disponible: <http://windoo.ch/> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [15] JDC Electronic SA. "jdc-electronic's gists". *JDC Electronic SA*, 2014. [Online] Disponible: <https://gist.github.com/jdc-electronic/4eb9b585bf27e5a222da> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [16] Wikipedia. "JSON – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: <https://en.wikipedia.org/wiki/JSON> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [17] Janet Wagner. "Top 10 Weather APIs | ProgrammableWeb". *ProgrammableWeb*, 2014. [Online] Disponible: <https://www.programmableweb.com/news/top-10-weather-apis/analysis/2014/11/13> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [18] ProgrammableWeb. "244 Weather APIs | ProgrammableWeb". *ProgrammableWeb*. [Online] Disponible: <https://www.programmableweb.com/category/weather/api> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [19] SAMSUNG Developers. "Technical Documentation | SAMSUNG Developers". *SAMSUNG Developers*, 2013. [Online] Disponible: <https://developer.samsung.com/technical-doc/view.do;jsessionid=1EAF2428DFF919537C6594B261B24A49?v=T000000127> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [20] OpenWeatherMap. "Weather API - OpenWeatherMap". *OpenWeatherMap*, 2018. [Online] Disponible: <https://openweathermap.org/api> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [21] OpenWeatherMap. "Current weather data - OpenWeatherMap". *OpenWeatherMap*, 2018. [Online] Disponible: <https://openweathermap.org/current> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [22] AccuWeather, Inc. "AccuWeather APIs | home". *AccuWeather, Inc*, 2018. [Online] Disponible: <https://developer.accuweather.com/> [Accedit: 24 Juny 2018].

- [23] The Dark Sky Company, LLC. "Dark Sky API: Documentation Overview". *The Dark Sky Company, LLC.*, 2016. [Online] Disponible: <https://darksky.net/dev/docs> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [24] Google. "Toasts overview | Android Developers". *Android Developers*, 2018. [Online] Disponible: <https://developer.android.com/guide/topics/ui/notifiers/toasts> [Accedit 24 Juny 2018].
- [25] Google. "ActivityRecognitionClient| Google APIs for Android | Google Developers". *Google Developers*, 2018. [Online] Disponible: <https://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/ActivityRecognitionClient> [Accedit 24 Juny 2018].
- [26] Wikipedia. "Median filter – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://www.wikipedia.org/wiki/Median_filter [Accedit: 24 Juny 2018].
- [27] @Walls. "java – How to calculate the median of an array?". *stackoverflow*, 2013. [Online] Disponible: <https://stackoverflow.com/questions/11955728/how-to-calculate-the-median-of-an-array> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [28] Wikipedia. "Standard conditions for temperature and pressure – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_conditions_for_temperature_and_pressure [Accedit: 24 Juny 2018].
- [29] Wikipedia. "National Institute of Standards and Technology – Wikipedia". *Wikipedia*, 2018. [Online] Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/National_Institute_of_Standards_and_Technology [Accedit: 24 Juny 2018].
- [30] Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. "MapICC_beta – Aplicacions a GooglePlay". *GooglePlay*, 2014. [Online] Disponible: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.appiccmobile&hl=ca> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [31] Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. "Base topogràfica de Catalunya 1:5.000. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya". *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*, 2018. [Online] Disponible: <http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-topografica/Base-topografica-de-Catalunya-1-5.000> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [32] The MathWorks, Inc. "Pricing and Licensing – MATLAB & Simulink". *The MathWorks, Inc.*, 2018. [Online] Disponible: <https://es.mathworks.com/pricing-licensing.html?prodcode=ML> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [33] Samsung. "Samsung Galaxy S5 - Smartphone libre Android (pantalla 5.1", càmera 16 Mp, 16 GB, Quad-Core 2.5 GHz, 2 GB RAM), negro: Amazon.es: Electronica". *Amazon.es*, 2014. [Online] Disponible: https://www.amazon.es/Samsung-Galaxy-S5-Smartphone-Quad-Core/dp/B00IN9M4BS/ref=sr_1_5?ie=UTF8&qid=1528712650&sr=8-5&keywords=samsung+galaxy+s5 [Accedit: 24 Juny 2018].
- [34] Darrera, S.A.. "12803 – Skywatch@ Windoo 3 | Darrera". *Darrera, S.A.* [Online] Disponible: <https://www.darrera.com/detalle-producto.php?d=0&id=272> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [35] Wikipedia. "Torr – Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure". *Wikipedia*, 2017. [Online] Disponible: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Torr> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [36] Alberto Fabra. "Cómo calcular la jornada laboral anual – 5 pasos". *uncomo.com*. [Online] Disponible: <https://negocios.uncomo.com/articulo/como-calcular-la-jornada-laboral-anual-26339.html> [Accedit: 24 Juny 2018].
- [37] Ilan Kroo. "Standard Atmosphere Computations". *Aircraft Aerodynamics and Design Group*, 1997. [Online] Disponible: <http://aero.stanford.edu/stdatm.html> [Accedit: 24 Juny 2018].
- Daft Logic. "Google Maps Find Altitude". *Daft Logic*, 2016. [Online] Disponible: <https://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm> [Accedit: 24 Juny 2018].

Annexos

Annex 1: Resultats obtinguts al centre de Barcelona:

Mesurada	p=1011.9439697265625		p=3		p=2,75		p=2		p=15		p=3		p=2,75		p=2	
	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25
Altitud ICOC: 49-50	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*
ANDROID_SENSORMANAGER	h=11.920576	h=14.235390	h=12.041890	h=5.780048	h=10.903536	h=14.235390	h=12.041890	h=5.780048	h=10.903536	h=14.235390	h=12.041890	h=5.780048	h=10.903536	h=14.235390	h=12.041890	h=5.780048
KEISAN_CASIO	h=11.045443	h=14.301138	h=12.192330	h=5.862195	h=10.857049	h=14.052717	h=11.984376	h=5.762208	h=10.857049	h=14.052717	h=11.984376	h=5.762208	h=10.857049	h=14.052717	h=11.984376	h=5.762208
WIKIPEDIA	h=11.069292	h=14.336198	h=12.221648	h=5.875465	h=10.877544	h=14.019678	h=12.013194	h=5.775252	h=10.877544	h=14.019678	h=12.013194	h=5.775252	h=10.877544	h=14.019678	h=12.013194	h=5.775252
WIKIPEDIA2	h=11.069008	h=14.316442	h=12.218337	h=5.874700	h=10.880213	h=14.087200	h=12.009940	h=5.774500	h=10.880213	h=14.087200	h=12.009940	h=5.774500	h=10.880213	h=14.087200	h=12.009940	h=5.774500
WIKIPEDIA2	h=11.067650	h=14.333920	h=12.199992	h=5.875082	h=10.878878	h=14.089439	h=12.011567	h=5.774876	h=10.878878	h=14.089439	h=12.011567	h=5.774876	h=10.878878	h=14.089439	h=12.011567	h=5.774876
WIKIPEDIACAT	h=11.067650	h=14.333920	h=12.199992	h=5.875082	h=10.878878	h=14.089439	h=12.011567	h=5.774876	h=10.878878	h=14.089439	h=12.011567	h=5.774876	h=10.878878	h=14.089439	h=12.011567	h=5.774876
WIKIPEDIACAT2	h=11.067950	h=14.338348	h=12.223480	h=5.876346	h=10.879174	h=14.093791	h=12.014995	h=5.776138	h=10.879174	h=14.093791	h=12.014995	h=5.776138	h=10.879174	h=14.093791	h=12.014995	h=5.776138
GEOPOINTAL_INVERSE	h=11.066123	h=14.335922	h=12.221417	h=5.875360	h=10.877378	h=14.091408	h=12.012967	h=5.775149	h=10.877378	h=14.091408	h=12.012967	h=5.775149	h=10.877378	h=14.091408	h=12.012967	h=5.775149
METEOCAT	h=11.065987	h=14.335804	h=12.221312	h=5.875303	h=10.877244	h=14.091291	h=12.012863	h=5.775093	h=10.877244	h=14.091291	h=12.012863	h=5.775093	h=10.877244	h=14.091291	h=12.012863	h=5.775093
METEOCAT_VAPOR	h=11.164122	h=14.462560	h=12.129399	h=5.927304	h=10.948436	h=14.183245	h=12.091274	h=5.812817	h=10.948436	h=14.183245	h=12.091274	h=5.812817	h=10.948436	h=14.183245	h=12.091274	h=5.812817
WEATHER_GOV	h=10.872885	h=14.085644	h=12.008049	h=5.772779	h=10.872885	h=14.085644	h=12.008049	h=5.772779	h=10.872885	h=14.085644	h=12.008049	h=5.772779	h=10.872885	h=14.085644	h=12.008049	h=5.772779

Annex 2: Resultats obtinguts al refugi del Cap del Rec:

Mesurada	p=809.310302734375		p=3		p=2,75		p=2		p=15		p=3		p=2,75		p=2	
	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25	t=20	p=1013,25
Altitud ICOC: 1952-1953	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-20*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*	Default 1013,25-15*
ANDROID_SENSORMANAGER	h=1864.001616	h=1830.052659	h=1832.524587	h=1840.041874	h=1830.052659	h=1832.524587	h=1840.041874	h=1830.052659	h=1832.524587	h=1840.041874	h=1830.052659	h=1832.524587	h=1840.041874	h=1830.052659	h=1832.524587	h=1840.041874
KEISAN_CASIO	h=1966.001861	h=1932.995010	h=1935.698008	h=1943.951227	h=1924.695008	h=1899.981531	h=1902.683406	h=1835.662898	h=1924.695008	h=1899.981531	h=1902.683406	h=1835.662898	h=1924.695008	h=1899.981531	h=1902.683406	h=1835.662898
WIKIPEDIA	h=1887.813269	h=1887.381739	h=1859.914221	h=1867.515456	h=1855.614510	h=1825.700232	h=1828.193130	h=1835.662898	h=1859.914221	h=1867.515456	h=1855.614510	h=1825.700232	h=1828.193130	h=1835.662898	h=1859.914221	h=1867.515456
WIKIPEDIA2	h=1970.286275	h=1937.161064	h=1939.915933	h=1936.698047	h=1904.320623	h=1906.828504	h=1914.958105	h=1914.958105	h=1939.915933	h=1936.698047	h=1904.320623	h=1906.828504	h=1914.958105	h=1914.958105	h=1939.915933	h=1936.698047
WIKIPEDIA2	h=1928.462055	h=1896.712239	h=1899.353574	h=1907.282463	h=1895.569985	h=1864.361697	h=1866.957982	h=1874.751635	h=1899.353574	h=1907.282463	h=1895.569985	h=1864.361697	h=1866.957982	h=1874.751635	h=1866.957982	h=1874.751635
WIKIPEDIACAT	h=1928.462055	h=1896.712239	h=1899.353574	h=1907.282463	h=1895.569985	h=1864.361697	h=1866.957982	h=1874.751635	h=1899.353574	h=1907.282463	h=1895.569985	h=1864.361697	h=1866.957982	h=1874.751635	h=1866.957982	h=1874.751635
WIKIPEDIACAT2	h=1888.090250	h=1857.654351	h=1860.187197	h=1867.795233	h=1855.866776	h=1825.969086	h=1828.459631	h=1835.932291	h=1860.187197	h=1867.795233	h=1855.866776	h=1825.969086	h=1828.459631	h=1835.932291	h=1860.187197	h=1867.795233
GEOPOINTAL_INVERSE	h=1888.342675	h=1857.893702	h=1860.427624	h=1868.031395	h=1856.125481	h=1826.196511	h=1828.686229	h=1836.162603	h=1857.893702	h=1860.427624	h=1868.031395	h=1856.125481	h=1826.196511	h=1828.686229	h=1836.162603	h=1857.893702
METEOCAT	h=1887.762427	h=1857.331698	h=1859.864113	h=1867.465148	h=1855.564535	h=1825.652836	h=1828.142058	h=1835.613448	h=1859.864113	h=1867.465148	h=1855.564535	h=1825.652836	h=1828.142058	h=1835.613448	h=1859.864113	h=1867.465148
METEOCAT_VAPOR	h=1908.695031	h=1877.858007	h=1880.417525	h=1888.121637	h=1870.749904	h=1840.538239	h=1843.052346	h=1850.598513	h=1877.858007	h=1877.858007	h=1880.417525	h=1888.121637	h=1870.749904	h=1840.538239	h=1843.052346	h=1850.598513
WEATHER_GOV	h=1854.816192	h=1824.916633	h=1827.404844	h=1834.672309	h=1854.816192	h=1827.404844	h=1827.404844	h=1834.672309	h=1824.916633	h=1827.404844	h=1827.404844	h=1834.672309	h=1854.816192	h=1824.916633	h=1827.404844	h=1834.672309

Annex 3: Resultats obtinguts a la Barceloneta:

Mesurada	p=1017,0439453125 t=20	p+3 t=20	p+2,75 t=20	p+2 t=20	p+1,5 t=20	p+1 t=20	p+0,75 t=20	p+0,5 t=20	p+0,25 t=20	p+0 t=20	p-0,25 t=20	p-0,5 t=20	p-0,75 t=20	p-1 t=20	p-1,5 t=20	p-2 t=20	p-2,75 t=20	p-3 t=20
Altitud ICCG: 3 - 4	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159
ANDROID_SENSORMANAGER	h=31.609723	h=56.537065	h=54.462055	h=48.234554	h=31.609723	h=56.537065	h=54.462055	h=48.234554	h=31.609723	h=56.537065	h=54.462055	h=48.234554	h=31.609723	h=56.537065	h=54.462055	h=48.234554	h=31.609723	h=56.537065
KEISAN_CASIO	h=31.990557	h=57.186199	h=55.089931	h=48.797459	h=31.444822	h=56.210824	h=54.150311	h=47.965164	h=31.990557	h=57.186199	h=55.089931	h=48.797459	h=31.444822	h=56.210824	h=54.150311	h=47.965164	h=31.990557	h=57.186199
WIKIPEDIA1	h=32.081583	h=57.381031	h=55.275047	h=48.954584	h=31.534396	h=56.403334	h=54.332269	h=48.119609	h=32.081583	h=57.381031	h=55.275047	h=48.954584	h=31.534396	h=56.403334	h=54.332269	h=48.119609	h=32.081583	h=57.381031
WIKIPEDIA2	h=32.058778	h=57.308117	h=55.207384	h=48.901503	h=31.511980	h=56.330664	h=54.265760	h=48.067433	h=32.058778	h=57.308117	h=55.207384	h=48.901503	h=31.511980	h=56.330664	h=54.265760	h=48.067433	h=32.058778	h=57.308117
WIKIPEDIA3	h=32.070178	h=57.344559	h=55.241201	h=48.928034	h=31.521186	h=56.366483	h=54.299001	h=48.093512	h=32.070178	h=57.344559	h=55.241201	h=48.928034	h=31.521186	h=56.366483	h=54.299001	h=48.093512	h=32.070178	h=57.344559
WIKIPEDIA4	h=32.086394	h=57.389638	h=55.283338	h=48.961926	h=31.539125	h=56.410794	h=54.340419	h=48.126826	h=32.086394	h=57.389638	h=55.283338	h=48.961926	h=31.539125	h=56.410794	h=54.340419	h=48.126826	h=32.086394	h=57.389638
GEOPOTENTIAL_INVERSE	h=32.080876	h=57.379538	h=55.273627	h=48.953375	h=31.533704	h=56.400875	h=54.330881	h=48.118427	h=32.080876	h=57.379538	h=55.273627	h=48.953375	h=31.533704	h=56.400875	h=54.330881	h=48.118427	h=32.080876	h=57.379538
METEOCAT	h=32.080700	h=57.379451	h=55.273525	h=48.953236	h=31.533528	h=56.400781	h=54.330773	h=48.118284	h=32.080700	h=57.379451	h=55.273525	h=48.953236	h=31.533528	h=56.400781	h=54.330773	h=48.118284	h=32.080700	h=57.379451
METEOCAT_VAPOR	h=32.361771	h=57.884262	h=55.759917	h=49.394218	h=31.738879	h=56.566991	h=54.493619	h=48.413023	h=32.361771	h=57.884262	h=55.759917	h=49.394218	h=31.738879	h=56.566991	h=54.493619	h=48.413023	h=32.361771	h=57.884262
WEATHER_GOV	h=31.520892	h=56.378182	h=54.309004	h=48.099004	h=31.520892	h=56.378182	h=54.309004	h=48.099004	h=31.520892	h=56.378182	h=54.309004	h=48.099004	h=31.520892	h=56.378182	h=54.309004	h=48.099004	h=31.520892	h=56.378182

Annex 4: Resultats obtinguts a la Seu d'Urgell:

Mesurada	p=930,085205078125 t=20	p+3 t=20	p+2,75 t=20	p+2 t=20	p+1,5 t=20	p+1 t=20	p+0,75 t=20	p+0,5 t=20	p+0,25 t=20	p+0 t=20	p-0,25 t=20	p-0,5 t=20	p-0,75 t=20	p-1 t=20	p-1,5 t=20	p-2 t=20	p-2,75 t=20	p-3 t=20
Pressió: 930	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 209	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159	Default 1013,25 - 159
ANDROID_SENSORMANAGER	h=718.218565	h=691.423309	h=693.653581	h=700.347300	h=718.218565	h=691.423309	h=693.653581	h=700.347300	h=718.218565	h=691.423309	h=693.653581	h=700.347300	h=718.218565	h=691.423309	h=693.653581	h=700.347300	h=718.218565	h=691.423309
KEISAN_CASIO	h=719.326001	h=711.307739	h=713.638498	h=720.632336	h=726.715972	h=699.175593	h=701.466598	h=708.343999	h=719.326001	h=711.307739	h=713.638498	h=720.632336	h=726.715972	h=699.175593	h=701.466598	h=708.343999	h=719.326001	h=711.307739
WIKIPEDIA1	h=728.940847	h=701.745533	h=704.009103	h=710.802761	h=716.507949	h=689.774841	h=692.001443	h=698.679228	h=728.940847	h=701.745533	h=704.009103	h=710.802761	h=716.507949	h=689.774841	h=692.001443	h=698.679228	h=728.940847	h=701.745533
WIKIPEDIA2	h=740.916103	h=712.837113	h=715.172922	h=722.184822	h=728.278953	h=700.678882	h=702.974851	h=709.867155	h=740.916103	h=712.837113	h=715.172922	h=722.184822	h=728.278953	h=700.678882	h=702.974851	h=709.867155	h=740.916103	h=712.837113
WIKIPEDIA3	h=726.899593	h=707.262334	h=709.561789	h=716.463656	h=722.361483	h=695.398186	h=697.459373	h=704.243570	h=726.899593	h=707.262334	h=709.561789	h=716.463656	h=722.361483	h=695.398186	h=697.459373	h=704.243570	h=726.899593	h=707.262334
WIKIPEDIA4	h=729.049230	h=701.849904	h=704.113808	h=710.908468	h=716.614483	h=689.879072	h=692.104362	h=698.783132	h=729.049230	h=701.849904	h=704.113808	h=710.908468	h=716.614483	h=689.879072	h=692.104362	h=698.783132	h=729.049230	h=701.849904
GEOPOTENTIAL_INVERSE	h=729.012164	h=701.811183	h=704.075216	h=710.870272	h=716.576648	h=689.839712	h=692.065121	h=698.744255	h=729.012164	h=701.811183	h=704.075216	h=710.870272	h=716.576648	h=689.839712	h=692.065121	h=698.744255	h=729.012164	h=701.811183
METEOCAT	h=728.920953	h=701.726375	h=703.989884	h=710.783358	h=716.488394	h=689.756500	h=691.982551	h=698.660155	h=728.920953	h=701.726375	h=703.989884	h=710.783358	h=716.488394	h=689.756500	h=691.982551	h=698.660155	h=728.920953	h=701.726375
METEOCAT_VAPOR	h=735.954084	h=708.475345	h=710.762438	h=717.626769	h=721.590515	h=694.653629	h=696.895640	h=703.624646	h=735.954084	h=708.475345	h=710.762438	h=717.626769	h=721.590515	h=694.653629	h=696.895640	h=703.624646	h=735.954084	h=708.475345
WEATHER_GOV	h=716.200561	h=689.480580	h=691.704587	h=698.379502	h=716.200561	h=689.480580	h=691.704587	h=698.379502	h=716.200561	h=689.480580	h=691.704587	h=698.379502	h=716.200561	h=689.480580	h=691.704587	h=698.379502	h=716.200561	h=689.480580

Annex 5: Resultats globals de les proves per a totes les combinacions de fórmula i API.

	t=20	p+3 t=20	p+2,75 t=20	p+2 t=20	t=15	p+3 t=15	p+2,75 t=15	p+2 t=15				
	p0=1013,25	p0=1013,25	p0=1013,25	p0=1013,25	p0=1013,25	p0=1013,25	p0=1013,25	p0=1013,25				
	Default 1013.25 - 20º	Default 1013.25 - 20º	Default 1013.25 - 20º	Default 1013.25 - 20º	Default 1013.25 - 15º	Default 1013.25 - 15º	Default 1013.25 - 15º	Default 1013.25 - 15º				
ANDROID_SE												
NSORMANAGER												
KEISAN_CASIO												
WIKIPEDIA0												
WIKIPEDIA1				cap del rec								
WIKIPEDIA2												
WIKIPEDIAA												
T												
WIKIPEDIAA												
T2												
GEPOTENTIAL_INVERSE												
METEOCAT												
METEOCAT_V												
APOR												
WEATHER_G												
OV												
		p+3	p+2,75	p+2		p+3	p+2,75	p+2		p+3	p+2,75	p+2
					t=20	t=20	t=20	t=20	t=15	t=15	t=15	t=15
ANDROID_SE	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather	Accuweather
NSORMANAGER				barceloneta				barceloneta				barceloneta
KEISAN_CASIO		cap del rec	cap del rec	barceloneta				barceloneta				barceloneta
WIKIPEDIA0				barceloneta	cap del rec			barceloneta				barceloneta
WIKIPEDIA1				barceloneta				barceloneta				barceloneta
WIKIPEDIA2	cap del rec			barceloneta				barceloneta				barceloneta
WIKIPEDIAA	cap del rec			barceloneta				barceloneta				barceloneta
T												
WIKIPEDIAA				barceloneta	cap del rec			barceloneta				barceloneta
T2												
GEPOTENTIAL_INVERSE				barceloneta	cap del rec			barceloneta				barceloneta
METEOCAT				barceloneta	cap del rec			barceloneta				barceloneta
METEOCAT_V				barceloneta				barceloneta, cap del rec				barceloneta
APOR												
WEATHER_G				barceloneta				barceloneta				barceloneta
OV												
		p+3	p+2,75	p+2		p+3	p+2,75	p+2		p+3	p+2,75	p+2
					t=20	t=20	t=20	t=20	t=15	t=15	t=15	t=15
ANDROID_SE	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky	DarkSky
NSORMANAGER			casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu			casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu		casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
KEISAN_CASIO		cap del rec	casa bcn, cap del rec	casa bcn, barceloneta			casa bcn	casa bcn, barceloneta	torre solsona, casa seu	casa bcn, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta, casa seu	
WIKIPEDIA0			casa bcn	casa bcn, barceloneta		torre solsona, casa seu	casa bcn, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta, cap del rec		casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
WIKIPEDIA1		casa bcn	casa bcn	casa bcn, barceloneta			casa bcn	casa bcn, barceloneta	torre solsona, casa seu	casa bcn, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta	
WIKIPEDIA2	cap del rec	casa bcn	casa bcn	casa bcn, barceloneta		torre solsona, casa seu	casa bcn	casa bcn, barceloneta	cap del rec	casa bcn, cap del rec, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta, cap del rec, torre solsona, casa seu	
WIKIPEDIAA	cap del rec	casa bcn	casa bcn	casa bcn, barceloneta		torre solsona, casa seu	casa bcn	casa bcn, barceloneta	cap del rec	casa bcn, cap del rec, casa seu	casa bcn, barceloneta, cap del rec, torre solsona, casa seu	
T												
WIKIPEDIAA			casa bcn	casa bcn, barceloneta		torre solsona, casa seu	casa bcn, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta, cap del rec		casa bcn, torre solsona	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
T2												
GEPOTENTIAL_INVERSE			casa bcn	casa bcn, barceloneta		torre solsona, casa seu	casa bcn, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta, cap del rec		casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
METEOCAT			casa bcn	casa bcn, barceloneta		torre solsona, casa seu	casa bcn, torre solsona, casa seu	casa bcn, barceloneta, cap del rec	cap del rec	casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
METEOCAT_V		casa bcn	casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona		casa seu	casa bcn	casa bcn, barceloneta		casa bcn, casa seu	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
APOR												
WEATHER_G			casa bcn	casa bcn, barceloneta, casa seu			casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu		casa bcn	casa bcn, barceloneta, torre solsona, casa seu	
OV												

– Annex 6: Funció Matlab utilitzada en el WP1.

```
function comparativa_formules(P, P0, T,offset)
    %P0 A nivell del mar (hPa)
    %T (en graus C)
    %P A la ubicacio actual (hPa)
    P=P+offset; %offset
    Tk=T+273.15;
    fprintf('For P= %f, P0= %f, T= %f', P, P0, T);
    %% CONSTANTS
    L=0.0065;
    %https://en.wikipedia.org/wiki/International_Standard_Atmosphere
    M=0.0289644;
    g=9.80665;
    R=8.3144598;
    %Temperatura i pressio estandard
    %Ps=1013.25;
    Ps=P0; %Utilitzant la de l'estació enlloc de l'estandard
    %Ts=288.15;
    Ts=T+273.15; %Utilitzant la mesurada enlloc de l'estandard
    %%
    mode='android-sensormanager';
        h=44430*(1-(P/P0)^(1/5.255));
    %fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
    fprintf('\nh=%f',h);
    %%%%%%%%%%%
    mode='keisan-casio';
        %http://keisan.casio.com/exec/system/1224585971
        h=(((P0/P)^(1/5.267))-1)*(Tk)/L;
    %fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
    fprintf('\nh=%f',h);
    %%%%%%%%%%%
    mode='wikipedia0';
        %https://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula
        h=Tk/L*(1-((P/P0)^((R*L)/(g*M))));
    %fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
    fprintf('\nh=%f',h);
    %%%%%%%%%%%
    mode='wikipedia1';
        %https://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula
        hb=0;
        h=((Ts/((P/Ps)^((R*L)/(g*M))))-Ts)*(1/L)+hb;
    %fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
    fprintf('\nh=%f',h);
    %%%%%%%%%%%
    mode='wikipedia2';
        %https://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula
        %when standard temperature lapse rate equals zero
```

```

hb=0;
h=( (R*Ts) / (g*M) ) *log (Ps/P) +hb;
%fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
fprintf('\nh=%f',h);
%%%%%%%%%%
mode='wikipediaCAT';

%https://ca.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_barom%C3%A8trica#Est
abliment_de_l'equaci%C3%B3_barom%C3%A8trica
%La mateixa que http://www.hills-database.co.uk/altim.html
hs=R*Tk/ (M*g);
h=hs*log (P0/P);
%fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
fprintf('\nh=%f',h);
%%%%%%%%%%
mode='wikipediaCAT2';

%https://ca.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_barom%C3%A8trica#F%C
3%B3rmula_internacional_de_l'anivellament_barom%C3%A8tric
h=(Tk/L) * (1- (P/P0) ^ (1/5.255));
%fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
fprintf('\nh=%f',h);
%%%%%%%%%%
mode='geopotential-inverse';
Rt=6356.766;
Tst=Ts/ ((P/Ps) ^ (-1/5.255877));
Gp=(Ts-Tst) / (L*1000);
h=(Gp*Rt/ (Rt-Gp) ) *1000;
%fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
fprintf('\nh=%f',h);
%%%%%%%%%%
mode='meteocat';
%http://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/equipaments-
meteorologics/estacions-meteorologiques-automatiques/xarxa-
destacions-meteorologiques-automatiques-xema/informacio-sobre-
les-dades-meteorologiques-de-les-ema-que-es-mostren-al-
web/reduccio-de-la-pressio-atmosferica-a-un-nivell-de-
referencia/
%Si l'altitud de l'estacio esta a menys de 1500m es
refereix a 0m.
%Si no, a 1500m.
h0=0;
Rd=287.05;
h=( (1- ((P0/P) ^ (-Rd*L/g) ) ) * (Tk/L) ) +h0;
%fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
fprintf('\nh=%f',h);
%%%%%%%%%%

```

```

mode='meteocat-vapor';
    %http://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/equipaments-
meteorologics/estacions-meteorologiques-automatiques/xarxa-
destacions-meteorologiques-automatiques-xema/informacio-sobre-
les-dades-meteorologiques-de-les-ema-que-es-mostren-al-
web/reduccio-de-la-pressio-atmosferica-a-un-nivell-de-
referencia/
    %Si l'altitud de l'estacio esta a menys de 1500m es
refereix a 0m.
    %Si no, a 1500m.
    h0=0;
    Rd=287.05;

%https://ca.wikipedia.org/wiki/Pressi%C3%B3_de_vapor_de_l%27aigu
a
    e=(exp(20.386-(5132/Tk)))*1.33322387415;
    Tk=Tk*(1+0.378*(e/P)); %Compensacio de la temperatura
segons la pressio de vapor d'aigua (veure link meteocat)
    h=(1-((P0/P)^(-Rd*L/g))*(Tk/L))+h0;
    %fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
    fprintf('\nh=%f',h);
    %%%%%%%%%%%
mode='weather.gov';

%https://www.weather.gov/media/epz/wxcalc/pressureAltitude.pdf
    h=(1-(P/Ps)^0.190284)*145366.45*0.3048;
    %fprintf('Mode=%s \n\t h=%f\n',mode,h);
    fprintf('\nh=%f\n',h);
end

```

Glossari

- API: Application Programming Interface.
- Depurar: “debug”.
- hPa: Hectopascal, equivalent a 100 Pa.
- ICGC: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- K: Kelvin (unitat de temperatura).JSON: JavaScript Object Notation: dades en format text mitjançant parelles atribut-valor i/o vectors^[16].
- mmHg: Mil·límetres de mercuri, equivalent a 133,322387415 Pa^[36].
- NIST: National Institute of Standards and Technology^[29].
- Pa: Pascal (unitat de pressió).
- Registres: coneguts en llenguatge de programació com a “log”.
- WPX: Paquet de treball número X.