



TecnoCampus
Escola Superior
Politécnica

Centre adscrit a la



**Universitat
Pompeu Fabra**
Barcelona

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**L'impacte del vent en el ciclisme,
dispositiu electrònic de mesurament del vent per ciclistes**

Memòria Final

Daniel González López
PONENT: Virginia Espinosa Duró

PRIMAVERA 2022



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Resum

En aquest projecte s'ha realitzat un estudi de sistemes i aplicacions que donen resposta a la necessitat de comptabilitzar el vent com a factor influent en el ciclisme. Després d'analitzar tendències i solucions actuals, s'ha ideat un prototip amb un concepte innovador dins del món del ciclisme, amb la finalitat de millorar els mesuraments de les solucions existents. La proposta del projecte es basa en una tecnologia més precisa i on intervenen menys estimacions, ja que es disposa d'un dispositiu físic que mesura els paràmetres que està experimentant el/la ciclista *in situ*.

Resumen

En este proyecto se ha realizado un estudio de sistemas y aplicaciones que dan respuesta a la necesidad de contabilizar el viento como un factor influyente en el ciclismo. Tras analizar tendencias y soluciones actuales, se ha ideado un prototipo con un concepto innovador dentro del mundo del ciclismo, con el fin de mejorar las mediciones de las soluciones existentes. La propuesta del proyecto se basa en una tecnología más precisa y donde intervienen menos estimaciones, ya que se dispone de un dispositivo físico que mide los parámetros que está experimentando el/la ciclista *in situ*.

Abstract

This project studies the systems and applications that respond to the need to account the wind as an influential factor in cycling. After analyzing current trends and solutions, a prototype has been devised with an innovative concept within the cycling world to improve the measurements of existing solutions. The project proposal is based on a more precise technology with fewer estimates involved, since there is a physical device that measures the parameters that the cyclist is experiencing *in situ*.

Índex.

Índex de figures.....	V
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes.....	IX
1. Antecedents.....	1
2. Objectius.....	3
2.1. Propòsit.....	3
2.2. Finalitat.....	3
2.3. Objecte.....	3
2.4. Abast.....	3
2.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del TecnoCampus. .	4
3. Planificació.....	5
4. Realització del projecte.....	9
4.1.Fase 1. Recopilació d'informació.....	9
4.1.1. Importància del registre de l'activitat física.....	9
4.1.2 Ciclocomputador. [4] - [6].....	11
4.1.3 Pulsòmetre. [7].....	11
4.1.4 Smartwatch.....	12
4.1.5 Potenciòmetre. [8].....	12
4.1.6 Smartphone i Strava.....	13
4.1.7 APPs meteorològiques. [9] - [13].....	14
4.4.8 Potenciòmetres PowerPod per VELOCOMP. [14] - [21].....	16
4.2.Fase 2. Marc conceptual.....	21
4.2.1 Importància del vent en el ciclisme. [22] [23].....	21
4.2.2 Pèrdues d'energia involucrades. [24] [25].....	23
4.2.3 Ultrasons i aplicacions. [26] - [30].....	28
4.2.4 Sensor ultrasònic en la meteorologia [31] - [33].....	31
4.3.Fase 3. Disseny de la solució proposada.....	33
4.3.1. Selecció de l'alternativa òptima.....	33
4.3.2. Especificacions tècniques.....	35
4.3.3. Estat de l'art.....	37
4.3.4. Viabilitat tècnica.....	38

4.3.5. Viabilitat mediambiental.....	43
4.3.6. Viabilitat econòmica.....	44
4.4.Fase 4. Desenvolupament del prototip.....	45
4.4.1. Desenvolupament electrònic.....	45
4.4.2. Desenvolupament mecànic.....	47
4.4.3. Programació.....	50
4.5.Fase 5. Experimentació i resultats.....	53
4.5.1. Procediment de l'experiment.....	53
4.5.2. Anàlisi de resultats.....	55
5. Patents i propietat intel·lectual.....	63
5.1.Patents.....	63
5.2.Propietat intel·lectual del projecte.....	64
6. Perspectiva de gènere.....	65
7. Impacte mediambiental.....	67
8. Conclusions.....	69
9. Referències.....	71

Índex de figures.

Figura 1.1. Traducció del vent a metres pujant un pendent	2
Figura 1.2. Esforç habitual vs com es sent amb l'efecte del vent	2
Figura 3.1. Planificació de les tasques del projecte amb MS Project.....	6
Figura 3.2. Diagrama de Gantt del projecte amb MS Project	7
Figura 3.3. Camí crític del projecte amb MS Project.....	7
Figura 4.1.2.1. Ciclocomputador d'última generació.....	11
Figura 4.1.3.1. Ciclista amb pulsòmetre de banda pectoral	12
Figura 4.1.4.1. Ciclista amb smartwatch.....	12
Figura 4.1.5.1. Potenciòmetre de biela.....	13
Figura 4.1.5.2. Potenciòmetre de pedal.....	13
Figura 4.1.5.3. Potenciòmetre de caixa.....	13
Figura 4.1.6.1. Strava	14
Figura 4.1.6.2. Smartphone amb Strava	14
Figura 4.1.7.1. MyWindSock.....	15
Figura 4.1.7.2. HeadWind	15
Figura 4.1.7.3. Klimat	15
Figura 4.1.7.4. Exemple de ruta enregistrada a MyWindSock	16
Figura 4.1.8.1. Potenciòmetre PowerPod.....	17
Figura 4.1.8.2. Detall Potenciòmetre PowerPod	17
Figura 4.1.8.3. Sensors integrats al PowerPod.....	18
Figura 4.1.8.4. Distribució de la potència en diferents paràmetres.....	19
Figura 4.1.8.5. Potència recollida amb DFPM vs recollida amb PowerPod	20
Figura 4.2.1.1. Bosses d'aire i coeficient de pressió	22
Figura 4.2.1.2. Mapa d'esforç segons la localització en l'escamot.....	22
Figura 4.2.3.1. Escala d'ultrasons	28
Figura 4.2.3.2. Detecció d'objectes mitjançant ultrasons	29
Figura 4.2.3.3. Mesura de distàncies mitjançant ultrasons.....	29
Figura 4.2.3.4. Exemple sistema emissor-receptor mesurador de distància	30
Figura 4.2.3.5. Cabalímetre ultrasònic d'un sol camí en un conducte circular.....	30
Figura 4.2.4.1. Vent en sentit a favor de l'ultrasò	31
Figura 4.2.4.2. Vent en sentit en contra de l'ultrasò	32
Figura 4.3.4.1.1. Circuit ultrasònic dissenyat amb TinkerCAD.....	39

Figura 4.3.4.2.1. Suport dissenyat amb Autodesk Inventor	40
Figura 4.4.1.1. Diagrama de polsos del HC-SR04	45
Figura 4.4.1.2. Esquemàtic del circuit electrònic dissenyat amb TinkerCAD	46
Figura 4.4.2.1. Estructura del prototip dissenyat amb Inventor	47
Figura 4.4.2.2. Vista frontal del suport amb el mòdul HC-SR04.....	48
Figura 4.4.2.3. Vista posterior del suport amb el mòdul HC-SR04	48
Figura 4.4.2.4. Vista lateral del suport amb el mòdul HC-SR04	48
Figura 4.4.2.5. Vista isomètrica del suport amb el mòdul HC-SR04.....	49
Figura 4.4.2.6. Procés d'impressió en 3D realitzat amb la Ender 3 PRO	49
Figura 4.4.3.1. Diagrama de Blocs del funcionament del programa.....	50
Figura 4.4.3.2. Mostra del Monitor Serial.....	51
Figura 4.5.1.1. Realització de l'experiment, configuració a 50 cm	54
Figura 4.5.2.1. Gràfica de comportament del prototip a 25 cm	56
Figura 4.5.2.2. Gràfica de comportament del prototip a 50 cm	56
Figura 4.5.2.3. Gràfica de comportament del prototip a 75 cm	57
Figura 4.5.2.4. Gràfica de comportament del prototip a 100 cm	57
Figura 4.5.2.5. Gràfica de comportament del prototip a 125 cm	58
Figura 4.5.2.6. Gràfica de comportament del prototip a 150 cm	58
Figura 4.5.2.7. Gràfica comparativa d'error a diferents distàncies	60

Índex de taules.

Taula 3.1: Taula de planificació de les tasques i la seva dedicació	5
Taula 4.2.2.1: Comparativa de variables influents en la potència exercida pel ciclista.....	27
Taula 4.3.1.1: Punts forts i febles de les APPS Meteorològiques.....	33
Taula 4.3.1.2: Punts forts i febles del PowerPod	34
Taula 4.3.4.3.1. Components i materials del prototip	42
Taula 4.5.2.1. Velocitat de vent associada a cada mesurament	55
Taula 4.5.2.2. Error global associat a cada distància	61

Glossari de termes.

DFPM	Direct Force Power Meters – Potenciòmetre que mesura forces directes
ECTS	European Credit Transfer System
ESCAMOT	Grup de ciclistes que es desplacen integradament
OFPM	Opposing Force Power Meters – Potenciòmetre que mesura forces oposades
STRAVA	APP per telèfons mòbils que registra l'activitat física
TOF	Time Of Flight – Temps transcorregut emissió-recepció d'un ultrasò

1. Antecedents.

En el ciclisme modern està molt estesa la presa de dades contínua perquè el ciclista pugui conèixer el seu estat guiant-se per dades com el ritme cardíac, la potència que està desenvolupant en cada moment... Gràcies al recull d'aquestes dades durant els entrenaments, el ciclista pot progressar sense perill a sobrepassar el llindar d'esforç que faci que no es pugui recuperar i hagi d'interrompre l'activitat per insuficiència en la recuperació.

Existeixen diversos dispositius de recull de dades com poden ser: el GPS, sensors de velocitat de gir de les rodes, sensors de potència exercida en els pedals, sensor de ritme cardíac... Però pocs dispositius tenen en compte un factor tan determinant com és el vent.

Actualment, han sorgit solucions que prenen la informació de les estacions meteorològiques més properes i la incorporen en l'activitat esportiva realitzada. L'inconvenient és que aquesta informació és molt imprecisa, ja que el vent que pugui rebre el ciclista pot ser molt diferent del que es prengui a l'estació meteorològica. S'aconsegueix minimitzar la manca del mesurament del vent, tanmateix, no hi ha cap solució que realment mesuri el vent tant en força com en direcció i que doni un resultat molt més pròxim a la realitat. Per tant, cal un sistema que s'incorpori directament al ciclista per obtenir uns resultats més acurats. Tenint en compte que el vent és un factor molt diferencial en el ciclisme, ja que és present en tot moment, al llarg dels kilòmetres recorreguts és un valor molt significant i a tenir en compte per al càlcul de l'esforç que ha fet el/la ciclista.

El propòsit d'aquestes aplicacions és traduir l'esforç emprat per combatre el vent el qual significaria realitzar una escalada d'un pendent. D'aquesta manera es duu a terme un canvi de variable que comptabilitza l'esforç emprat en una variable que té significat per a la comprensió de l'activitat física. Per exemple, si el relleu real de la ruta té un pendent de 434,6 m de desnivell, a aquest valor se li sumarien 23,1 m ficticis que representarien l'equivalent a haver pedalat en contra del vent. Per tant, l'activitat registrada serà més propera a la sensació que ha experimentat el ciclista durant la ruta que equivaldria a haver superat un desnivell de 457,7 m. [1]

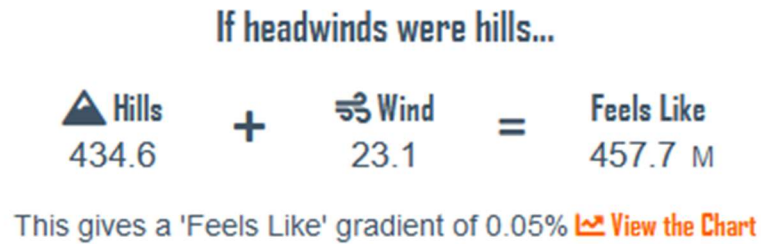


Figura 1.1. Traducció del vent a metres pujant un pendent

En la següent imatge es pot veure clarament la comparativa gràfica entre el relleu real de la ruta i el relleu comptabilitzant l'esforç realitzat a causa del vent. [1]



Whilst the elevation profile indicates down hill out and up hill back, combine the feel of the headwind, the profile looks a lot different.

Figura 1.2. Esforç habitual vs com es sent amb l'efecte del vent

Recentment, han sorgit al mercat alternatives que sí tenen en compte el factor del vent. Aquest fet mostra un interès real pels usuaris i per la gran quantitat d'informació que aporten, a més, de la qualitat de les dades. Tot i això, les opcions actuals presenten imperfeccions que poden ser millorades per obtenir unes dades encara més properes a la realitat amb menor dependència de factors externs que distorsionin aquestes. Aleshores, l'objectiu principal del projecte serà investigar si és possible crear un dispositiu que millori els dispositius actuals i aporti un valor diferencial a l'usuari.

2. Objectius.

2.1. Propòsit.

El propòsit del projecte és l'estudi del vent com a factor influent en el ciclisme. Per la mesura de la velocitat i direcció del vent es desenvoluparà un prototip que llegeixi aquestes dades gràcies a l'emissió i recepció d'ultrasons.

2.2. Finalitat.

Desenvolupar una primera aproximació d'un prototip que pugui captar la velocitat del vent a una distància i amb unes condicions raonables que permetin deliberar si la importació del sistema ultrasònic, tal com s'utilitza en meteorologia, tindria una implementació satisfactòria en l'àmbit del ciclisme.

2.3. Objecte.

Una memòria d'una proposta tecnològica innovadora amb les viabilitats tècnica, mediambiental i econòmica. La construcció d'un prototip, amb l'objectiu d'experimentar el funcionament d'un sistema d'ultrasons i capacitat de mesurar la velocitat del vent a partir d'aquests.

2.4. Abast.

L'abast del projecte recull la realització d'un estudi sobre les evidències i importància del vent en el ciclisme. Els objectius a assolir en la realització del prototip es centraran en l'estudi del funcionament i configuració d'un sistema ultrasònic. A partir d'aquest experiment, es determinarà la viabilitat de poder-lo implementar en forma de potenciòmetre.

En el ciclisme és molt valorada la reducció del pes tot el que sigui possible. Es dimensionarà el pes i tamany de forma orientativa per poder determinar també si és viable utilitzar aquesta tecnologia en aquesta aplicació.

S'ha de considerar el temps disponible per a l'execució del projecte, ja que disposant d'uns vuit mesos de termini el més convenient és estudiar les propostes actuals i tractar de millorar-les. El potenciòmetre PowerPod, creat per Velocomp, és un bon punt de partida perquè el concepte sobre el qual es basa és el mateix sobre el qual es pretén basar el prototip a crear, amb la diferència de mesurar el vent amb els ultrasons.

Per tant, el valor afegit d'aquest prototip sorgeix del traspàs de l'ús d'una tecnologia en estacions meteorològiques al seu ús en el ciclisme. Donades les circumstàncies del projecte, no es disposa del temps ni medis suficients per a realitzar un estudi d'investigació més extens i poder plantejar un disseny i materials molt diferents dels actuals. Una de les tasques del projecte serà determinar la quantitat d'elements necessaris per garantir un prototip funcional i que s'adapti a la precisió desitjada. Per tal de comprovar si el sensor ultrasònic s'adapta a la precisió del que requereix la seva funcionalitat.

2.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del TecnoCampus.

La temàtica i el camp de treball del present projecte engloba diverses àrees de coneixement que es poden trobar dins del Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica. Per tant, l'elaboració del projecte, fomenta el pensament i la utilització dels recursos i habilitats, tant teòrics com pràctics, apresos durant el Grau.

3. Planificació.

La planificació del projecte es divideix en les diferents activitats que apareixen en la Taula 3.1 on s'indiquen les respectives durades.

Memòria	Activitat	Durada (h)	Predecessores
Memòria 1 Avantprojecte: 177 hores	1.1 Cerca d'informació	34	
	1.2 Anàlisi d'informació	11	1.1
	1.3 Valoració de possibles propostes	20	1.2
	1.4 Primera versió de la proposta	25	1.3
	1.5 Confecció de l'escrit d'Avantprojecte	87	1.4
Memòria 2 Intermedia: 128,5 hores	2.1 Cerca informació primera versió proposta	23	1.5
	2.2 Valoració de detalls de la proposta	17,5	2.1
	2.3 Desenvolupament del prototip	41	2.2
	2.4 Muntatge del prototip	5	2.3
	2.5 Confecció de l'escrit Intermedi	42	2.4
Memòria 3 Final: 108 hores	3.1 Experimentació del prototip amb el vent	50	2.5
	3.2 Posada en marxa i calibratges	15	2.5
	3.3 Anàlisi de resultats del prototip	11	3.1, 3.2
	3.4 Conclusions i consideracions futures	8	3.3
	3.5 Pressupost	2	3.3
	3.6 Confecció de l'escrit Final i presentació	22	3.4, 3.5
Durada total del projecte		413,5 hores	

Taula 3.1: Taula de planificació de les tasques i la seva dedicació

L'elaboració del tot el projecte ha sigut dut a terme per un Enginyer Electrònic. El que es tradueix en només un recurs disponible per a la realització d'aquest.

Inici fins Memòria 1: 70 dies hàbils Memòria 1 fins Memòria 2: 50 dies hàbils Memòria 2 fins Memòria 3: 38 dies hàbils

Total: 158 dies hàbils de dedicació al projecte

La durada del projecte s'ha determinat considerant el marc acadèmic del projecte, la dedicació ha d'estar aproximadament equilibrada al seu pes en crèdits ECTS.

$$16 \text{ cred} \times 25 \frac{h}{\text{cred}} = 400 \text{ hores}$$

La dedicació final del projecte és de 413,5 hores. Una dedicació una mica per sobre de la dedicació mínima. Com que la dedicació no és a jornada completa, s'estimarà la dedicació diària segons els dies laborables i les hores de dedicació:

$$\frac{413,5 \text{ hores}}{158 \text{ dies}} = 2,62 \text{ h/dia}$$

Llavors, la planificació està prevista en jornades d'aproximadament 2,62 hores.

A continuació es mostra la planificació en MS Project. Es poden observar totes les tasques amb la dedicació en hores i el dia d'inici i final corresponents.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
TFG: Dispositiu electrònic de mesurament del vent per ciclistes	413,5 horas	lun 01/11/21	jue 09/06/22		
1. Memòria 1 Avantprojecte	177 horas	lun 01/11/21	lun 07/02/22		
1.1 Cerca d'informació	34 horas	lun 01/11/21	jue 18/11/21		Enginyer Electrònic
1.2 Anàlisi d'informació	11 horas	jue 18/11/21	mié 24/11/21	4	Enginyer Electrònic
1.3 Valoració de possibles propostes	20 horas	jue 25/11/21	lun 06/12/21	5	Enginyer Electrònic
1.4 Primera versió de la proposta	25 horas	mar 07/12/21	lun 20/12/21	6	Enginyer Electrònic
1.5 Confecció de l'escrit d'Avantprojecte	87 horas	mar 21/12/21	lun 07/02/22	7	Enginyer Electrònic
2. Memòria 2 Intermèdia	128,5 horas	lun 07/02/22	mié 20/04/22	8	
2.1 Cerca informació segons primera versió de la proposta	23 horas	lun 07/02/22	vie 18/02/22	8	Enginyer Electrònic
2.2 Valoració de detalls de la proposta	17,5 horas	lun 21/02/22	mar 01/03/22	10	Enginyer Electrònic
2.3 Desenvolupament del prototip	41 horas	mié 02/03/22	jue 24/03/22	11	Enginyer Electrònic
2.4 Muntatge del prototip	5 horas	jue 24/03/22	lun 28/03/22	12	Enginyer Electrònic
2.5 Confecció de l'escrit Intermedi	42 horas	lun 28/03/22	mié 20/04/22	13	Enginyer Electrònic
3. Memòria 3 Final	108 horas	mié 20/04/22	jue 09/06/22	14	
3.1 Experimentació del prototip amb el vent	50 horas	mié 20/04/22	mié 18/05/22	14	Enginyer Electrònic
3.2 Posta en marxa i calibratges	15 horas	mié 20/04/22	jue 28/04/22	14	Enginyer Electrònic
3.3 Anàlisi de resultats del prototip	11 horas	mié 18/05/22	mar 24/05/22	17;16	Enginyer Electrònic
3.4 Conclusions i consideracions futures	8 horas	mar 24/05/22	vie 27/05/22	18	Enginyer Electrònic
3.5 Pressupost	2 horas	mar 24/05/22	mié 25/05/22	18	Enginyer Electrònic
3.6 Confecció de l'escrit Final i presentació	22 horas	vie 27/05/22	jue 09/06/22	20;19	Enginyer Electrònic

Figura 3.1. Planificació de les tasques del projecte amb MS Project

A partir de la planificació, es pot visualitzar el Diagrama de Gantt del projecte. En el següent diagrama es pot observar d'una forma molt visual la durada de les activitats i les prelacions entre aquestes.

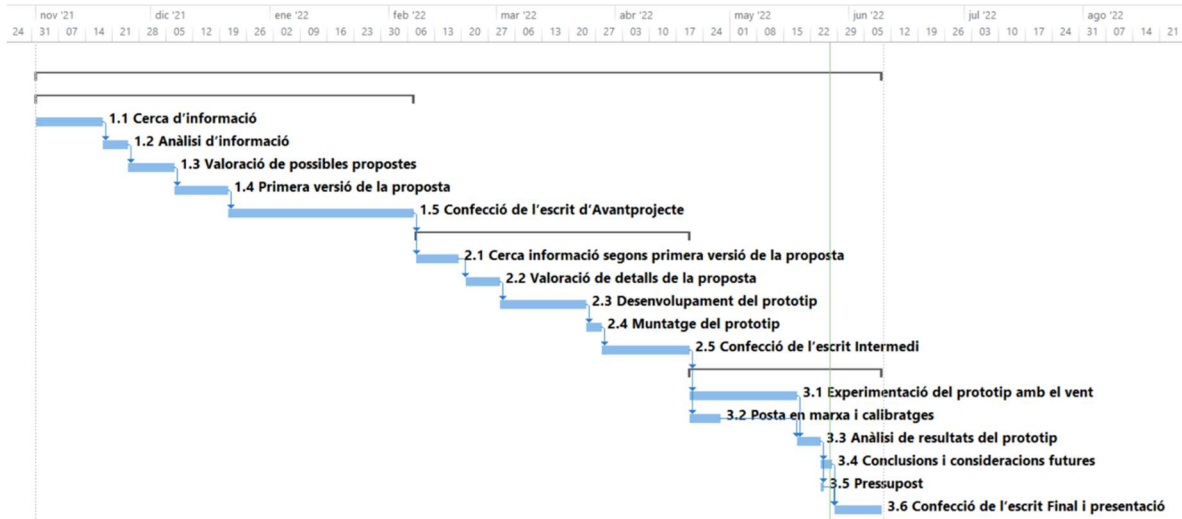


Figura 3.2. Diagrama de Gantt del projecte amb MS Project

A causa de la disponibilitat d'un únic recurs no es poden dur a terme moltes tasques paral·lelament i com a resultat s'obté un camí crític pràcticament en tot el projecte. Gràcies a la precisió de la planificació, els temps establerts s'han complert i totes les tasques s'han dut a terme segons el planificat. Donat que el projecte ha de ser realitzat només per una persona, és un resultat normal. En altres projectes, potser caldria la incorporació d'algun recurs addicional.

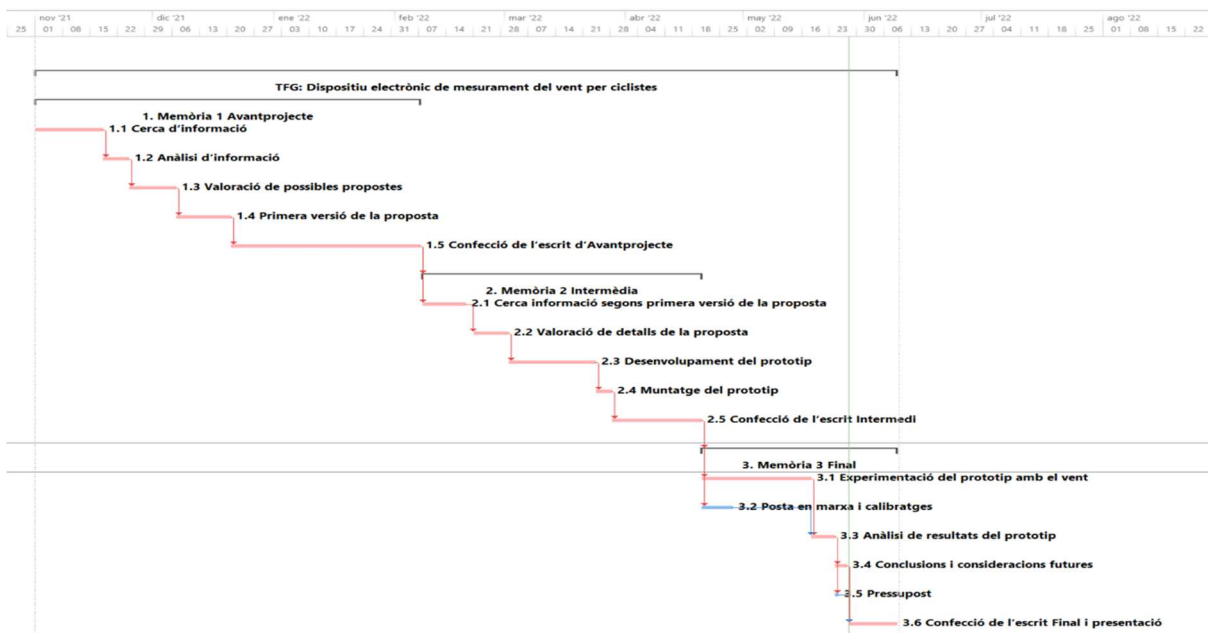


Figura 3.3. Camí crític del projecte amb MS Project

4. Realització del projecte.

4.1.Fase 1. Recopilació d'informació.

Per comprendre l'estat dels conceptes i sistemes actuals, s'ha realitzat una cerca d'informació.

Un cop realitzat l'estudi dels diferents conceptes i sistemes actuals, s'ha determinat que aquests són els principals, els quals es poden implementar conceptes i informació en aquest projecte. A continuació, es detalla informació essencial per posar en context què s'està utilitzant avui en dia i el perquè, a més, es fa una breu explicació dels dispositius i de les seves principals característiques.

4.1.1. Importància del registre de l'activitat física.

El ciclisme és un esport que ha evolucionat molt amb els avanços tecnològics que s'han anat incorporant i que han fet possible un millor rendiment dels atletes no només per les millores directes de components, menys pesats o aerodinàmics, sinó que també per la possibilitat de registrar les activitats podent llegir i comparar amb altres per extreure conclusions i així poder prendre les mesures que més rendiment puguin donar en cursa. Al llarg dels últims anys, s'han pres com a referència diversos factors sobre els quals es pugui conèixer el rendiment del ciclista, l'estat en el qual es troba, la capacitat d'esforç restant... Per això s'han desenvolupat diversos dispositius de mesurament com: ciclocomputadors, pulsòmetres, potenciòmetres...

Potència i temps [2]

La mesura dels Watts efectuats són dependents del temps. Els watts mesurats són la quantitat de potència que s'ha exercit durant un temps determinat. El factor de la potència depèn de la inclinació del terreny i de l'esforç que sigui capaç de transmetre el ciclista en pedalar. Es diferencien llavors, la potència mitjana i la potència instantània. La potència és la força exercida als pedals per la velocitat a la qual s'aplica, és a dir, la força per la cadència, que són el número de vegades que ha estat aplicada en un instant de temps. La cadència és un factor que explica per què la potència no és la mateixa en tot moment, en el gir del pedal només s'aplica un instant de temps i s'alterna amb la potència que s'ha exercit a l'altre pedal. La potència és un factor més interessant a tenir en compte per la instantaneïtat que no pot donar, per exemple, el pols cardíac, ja que la potència és un valor que es pot veure el seu canvi en

cada instant. El pols cardíac té un canvi més lent i és irregular. Controlant la potència instantània el ciclista pot adaptar la relació de marxes per mantenir el ritme de potència exercida malgrat que el terreny vagi canviat, així s'aconsegueix treure el màxim partit de la potència tot i tenir variació del terreny. Per altra banda, també és un bon indicador si es realitzen pics de potència massa exigents, podent fer que el ciclista no sigui capaç de recuperar-se encara que abaixi el ritme. Amb la potència mitjana es pot conèixer si durant tot el temps transcorregut d'entrenament el ciclista ha exercit els watts que acostuma a desenvolupar.

Avantatges d'entrenar amb watts [3]

- **Millor control i gestió de l'esforç:** amb un potenciòmetre s'és capaç de regular i gestionar molt millor l'esforç. Conèixer en quin moment l'atleta està excedint els seus límits o si podrà utilitzar aquest increment d'intensitat i per quant temps es pot mantenir. El propòsit és conèixer el nivell d'esforç tenint en compte les aptituds del ciclista i així poder determinar quan pot aplicar més esforç, quan no ho pot fer, durant quant de temps, en quant de temps es recuperarà...
- **Millor regulació de les càrregues d'entrenament:** a part del desenvolupament en cursa, també és molt interessant la informació que se'n pot extreure per a la realització de sèries durant els entrenaments. Amb un potenciòmetre es poden planificar les sèries d'una forma molt exacta.
- **Més fiabilitat:** es pot afirmar que prendre aquest paràmetre com a referència per entendre la qualitat d'execució és la forma més precisa per fer-ho. És la que es pot analitzar més profundament i que aporta més informació. No hi ha factors que puguin provocar error en el mesurament de la potència que mesura el potenciòmetre i la que realment desenvolupa el ciclista.

Segons les tendències i les evidències citades, l'ús d'un potenciòmetre és la forma més intel·ligent de mesurar l'activitat física. És un bon sistema per conèixer com s'ha dut a terme una activitat física, tant durant aquesta com en finalitzar-la.

4.1.2 Ciclocomputador. [4] - [6]

Un dels components tecnològics bàsics i essencials per als ciclistes és el ciclocomputador. És un dispositiu que s'acobla a la bicicleta per prendre mesures com la velocitat instantània, el temps de l'activitat, la distància... I a partir d'aquestes, treure altres variables compostes com: la velocitat mitjana, la velocitat màxima, la potencia desenvolupada, calories emprades...

Compten amb un sensor que es col·loca en l'eix d'una de les rodes per enregistrar la velocitat a la qual gira la roda que, introduint el diàmetre d'aquesta, és capaç de calcular la velocitat instantània a la qual es desplaça el ciclista.



Figura 4.1.2.1. Ciclocomputador d'última generació

Avui en dia, els ciclocomputadors solen ser el centre intel·ligent al qual se li poden afegir altres sensors com poden ser els pulsòmetres, potenciòmetres o smartwatch que, combinats entre si, són capaços de recol·lectar i complementar les dades. Els ciclocomputadors més actuals han assolit altres funcions com les de GPS i altitud i inclinació que han fet possible un salt qualitatiu en el registre de l'activitat.

4.1.3 Pulsòmetre. [7]

Els pulsòmetres són un complement que té la funció principal de captar la freqüència cardíaca per quantificar la intensitat de l'esforç que s'està exercint. A través dels polsos, es pot conèixer l'esforç en funció de les condicions físiques de l'atleta. Els ciclistes més experimentats o professionals han de conèixer les pulsacions a les quals són capaços d'arribar i quant temps ho poden sostenir, ja que existeix un punt de no retorn el qual després d'haver sobrepassat no serà capaç de recuperar-se ni abaixant la intensitat.

Existeixen diversos formats de pulsòmetre com els de braç o canell, però els més utilitzats en el ciclisme són les bandes pectorals que són les més còmodes i les que recullen millor les dades per a la pràctica del ciclisme.



Figura 4.1.3.1. Ciclista amb pulsòmetre de banda pectoral

4.1.4 Smartwatch.

Els avenços de la tecnologia en els últims anys han permès la unificació de funcionalitats en un tamany molt reduït que ha esdevingut en format de rellotge de polsera. A part d'utilitzar-se en altres esports, l'smartwatch es força útil especialment en el ciclisme per les funcions de pulsòmetre i GPS degut a la rellevància del control de les pulsacions i comptabilitzar la distància recorreguda. L'smartwatch en molts casos ha desplaçat l'ús dels ciclocomputadors per a usuaris menys exigents, ja que els ciclocomputadors, al disposar del sensor a la roda, són més precisos que el GPS dels smartwatches.



Figura 4.1.4.1. Ciclista amb smartwatch

4.1.5 Potenciòmetre. [8]

Els potenciòmetres s'han popularitzat en els últims anys per les millores tecnològiques i una oferta més accessible que fa uns anys. És una de les opcions més utilitzades pels professionals pel fet que és de les més precises. Aquests dispositius mesuren la potència exercida pel

ciclista de manera que es pot conèixer el seu rendiment per dissenyar un pla d'entrenament que exigeixi al màxim les condicions físiques en què es trobi. Anteriorment, s'utilitzaven els pulsòmetres, però es va arribar a la conclusió que la potència aporta una informació més exacta a més de ser exactament la potència que ha realitzat l'atleta.

Hi ha diversos tipus de potenciòmetres, tanmateix, el concepte de funcionament en tots és el mateix, mesurar la potència a partir de les deformacions en les galgues internes.



Figura 4.1.5.1. Potenciòmetre de biela



Figura 4.1.5.2. Potenciòmetre de pedal



Figura 4.1.5.3. Potenciòmetre de caixa

4.1.6 Smartphone i Strava.

La implementació de funcionalitats en els smartphones ha fet possible que siguin capaços de tenir una utilitat més en el món del ciclisme amateur. La capacitat de disposar d'un GPS incorporat ha fet que sigui una opció molt utilitzada per reemplaçar als ciclocomputadors convencionals si no s'espera la màxima rigorositat.

Aplicacions mòbils com Strava, han proporcionat una plataforma on poder enregistrar d'una forma molt còmoda els entrenaments. Fent que sigui d'especial interès per a l'usuari conèixer la qualitat dels entrenaments i com a referència per progressar.



Figura 4.1.6.1. Strava

Conèixer les condicions meteorològiques en parts específiques d'una ruta pot ser molt interessant tant per ciclistes en grup com per ciclistes que afronten el camí individualment. Es pot ajustar l'estratègia de l'entrenament o la cursa i així perdre els mínims watts possibles.

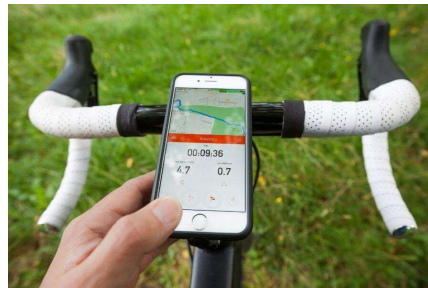


Figura 4.1.6.2. Smartphone amb Strava

A continuació es mostren tres APPs similars que intenten donar una solució a la manca d'enregistrament de factors externs que poden ser molt influents també i que anteriorment no es tenien en consideració.

4.1.7 APPs meteorològiques. [9] - [13]

Arran de la manca de la comptabilització de l'efecte de factors meteorològics, van sorgir algunes aplicacions que tracten de donar un valor aproximat que pugui ser equiparat a realitzar més esforç com podria ser fer una pujada a un pendent determinat. Llavors el que realitzen les apps és un canvi de variable, traspassen una variable que en si no es pot comparar en diferents entrenaments a una variable que si és interessant per entendre l'esforç extra que s'ha realitzat per contrarestar aquests factors meteorològics.

És així com tres desenvolupadors web i amants del ciclisme, creen tres aplicacions molt similars però cadascuna amb les seves característiques. Ben Norbury, crea l'aplicació MyWindSock. Ed Fryed, crea l'aplicació HeadWind. I Scott Ferguson, l'aplicació Klimat. Les tres, són aplicacions mòbil que s'enllacen amb el perfil de l'aplicació Strava amb la finalitat d'afegir informació sobre les condicions meteorològiques que s'han donat durant

l'entrenament: velocitat i sentit del vent, humitat, temperatura, pressió atmosfèrica... D'aquesta manera es pot reajustar l'esforç per vèncer aquestes forces que no s'haurien tingut en compte amb l'ús de només Strava, ja que en aquesta només es valora la velocitat de moviment sense tenir en compte que hi ha factors externs que alteren els esforços de l'atleta.



Figura 4.1.7.1. MyWindSock

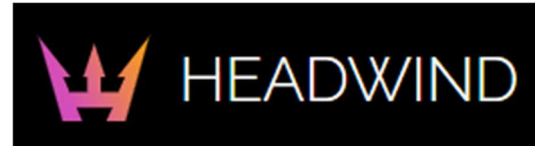


Figura 4.1.7.2. HeadWind



Figura 4.1.7.3. Klimat

Per a realitzar els càlculs de la importància de factors externs com la temperatura o el vent, les aplicacions obtenen les dades meteorològiques que han registrat les estacions meteorològiques més properes. Més concretament, les dades són proporcionades per entitats com l'Administració Nacional Oceànica i Atmosfèrica dels EEUU i dels Centres Nacionals de Predicció Ambiental, juntament amb l'Oficina Meteorològica del Regne Unit. Les dades que s'utilitzen són combinades amb les dades geogràfiques per ajustar amb els coeficients pertinents dels edificis, arbres i topografia que puguin influir.

Una de les funcions més interessants de les aplicacions és la quantitat d'informació en cada instant de l'activitat, la qual es pot reproduir i veure en cada instant dades com la inclinació de la carretera, velocitat i direcció del vent, penalització derivada pel vent, energia emprada... Tot recollit en un mapa del recorregut marcat en diferents colors per poder interpretar visualment aquests paràmetres influents.

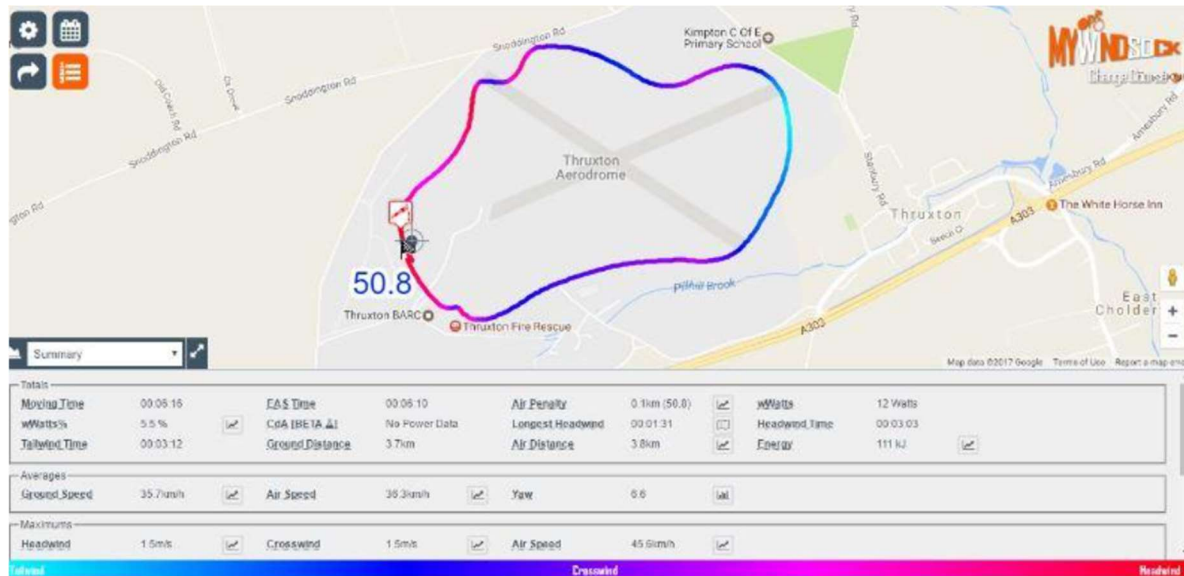


Figura 4.1.7.4. Exemple de ruta enregistrada a MyWindSock

El fet de conèixer la velocitat i direcció del vent, permet posar en context les condicions que s'han donat a l'entrenament i comparar l'activitat només amb d'altres que siguin en condicions similars i poder quantificar correctament els watts utilitzats en l'entrenament. També té la funcionalitat de notificar el moment de millors condicions meteorològiques per a realitzar una activitat d'una ruta determinada o compara la traçada d'entre diverses rutes i representa la dificultat segons les previsions meteorològiques de la zona.

4.4.8 Potenciòmetres PowerPod per VELOCOMP. [14] - [21]

Gairebé tots els potenciòmetres es basen en el mateix principi de funcionament, la deformació d'un element de la bicicleta generada pel ciclista mitjançant galgues de tensió. La implementació d'aquest principi és difícil, ja que cal dissenyar les peces amb molt coneixement de quines deformacions només seran a causa del pedaleig i no pas per irregularitats del terreny o el mateix pes del ciclista. Cal un desenvolupament molt acurat per garantir la bona i exclusiva interpretació d'aquestes deformacions.

Com a novetat en els últims anys, s'ha incorporat un nou concepte de dispositiu que calcula la potència que ha intervingut en l'activitat. El PowerPod és molt més complet que un potenciòmetre, però compta amb l'inconvenient de calcular els valors interessants i que aporten informació, a partir de paràmetres indirectes. Per tant, no és un potenciòmetre a l'ús

en el sentit de mesurar la potència, aquest dispositiu és capaç d'estimar la potència a partir de paràmetres. Això fa que sigui de vital importància tenir una molt bona precisió en la presa de dades. Per aquest motiu, és necessari un procés de calibratge abans del començament dels entrenaments; s'han de recórrer uns kilòmetres en terreny pla i a ritme constant. És per això que pot resultar un dispositiu poc fiable si no és calibrat correctament i de fet, encara que els resultats són satisfactoris podrien ser molt més acurats, sobretot presenta molt d'error quan entren en joc canvis de ritme o amb vent ratxat.



Figura 4.1.8.1. Potenciòmetre PowerPod

Malgrat aquests inconvenients, és un dispositiu força innovador, que entén la presa de potència des d'un punt de vista més complet i a més, té un preu força similar a altres potenciòmetres més convencionals tot i que és recomanable vincular algun altre sensor que reculli la cadència que s'empra. També compta amb un software que analitza i grafica dades molt interessants, en particular per un perfil d'usuari més avançat o professional.



Figura 4.1.8.2. Detall Potenciòmetre PowerPod

Fonaments del PowerPod

El PowerPod es basa en el principi de les forces oposades recollit en la Tercera Llei de Newton. Els potenciòmetres més tradicionals basen el mesurament en la deformació d'una galga situada en parts on es transmet la major part de la força exercida pel ciclista. Aquest tipus de potenciòmetres són denominats **DFPM** (*Direct Force Power Meters*). El PowerPod, a l'estar basat en el principi de forces oposades es categoritza com a **OFPM** (*Opposing Force Power Meters*).

El PowerPod mesura les forces causades per la inclinació del terreny, el vent, l'acceleració i el fregament. Les forces oposades, igualades per la força exercida pel ciclista, determinen la potència del ciclista. Per realitzar aquestes mesures el PowerPod compta amb els sensors següents:

- Acceleròmetre eix longitudinal
- Acceleròmetre eix vertical
- Acceleròmetre eix transversal
- Pressió aire frontal
- Pressió atmosfèrica
- Temperatura
- Altitud
- Inclinació
- Sensor de velocitat (requereix dispositiu extern)
- Sensor de cadència (opcional i recomanable)

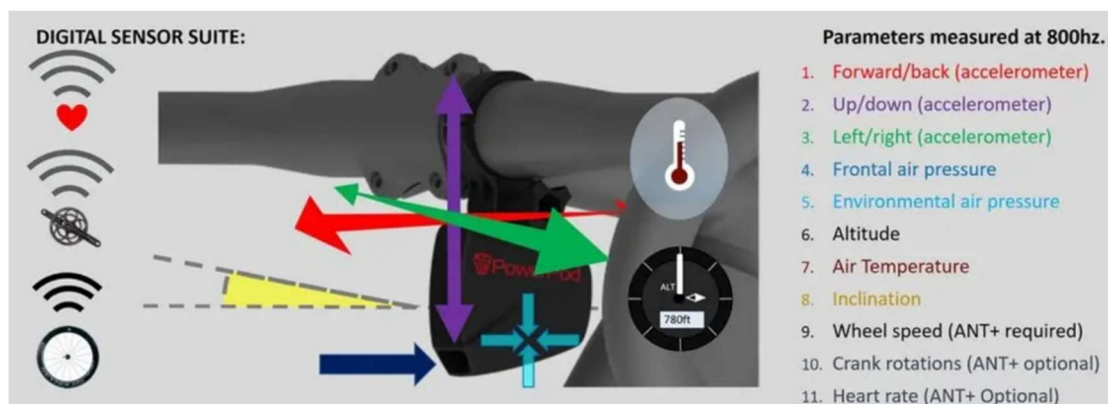


Figura 4.1.8.3. Sensors integrats al PowerPod

Deu sensors recullen dades 800 vegades per segon per poder realitzar càlculs i estimacions.

Calibratge

El calibratge és fonamental si es volen obtenir dades precises. El PowerPod incorpora quatre nivells de calibratge:

- Nivell 1: Calibratge dinàmic. El PowerPod es calibra automàticament durant els primers 10 minuts d'ús.
- Nivell 2: Isaac Tweak. El software propi és capaç de calibrar el PowerPod a partir de paràmetres de la bicicleta, ciclista i el terreny.
- Nivell 3: Out and back. Es calibra igual que el Nivell 2, però a més s'acaba de calibrar al cap de 5 minuts d'ús.
- Nivell 4: Vincular amb un DFPM.

PowerPod, estimador de potència

Una de les equivocacions inicials en conèixer el concepte que ofereix el PowerPod és denominar-lo potenciòmetre, ja que conceptualment aquest terme és destinat pels DFMP.

Un DFMP proporciona informació de la potència d'entrada (exercida pel ciclista), aquesta dada és la que es mostra com a potència de sortida, sense tenir en compte quanta potència s'aprofita i en quin factor es divideix per generar moviment. Coneixent en quines quantitats es reparteix la potència aplicada, es pot corregir aquells factors que no són executats el millor possible, com poden ser: l'aerodinàmica, la posició del ciclista, la tècnica de pedaleig... I veure en temps real com afecta corregir algun d'aquests factors i així aconseguir una millor eficiència.

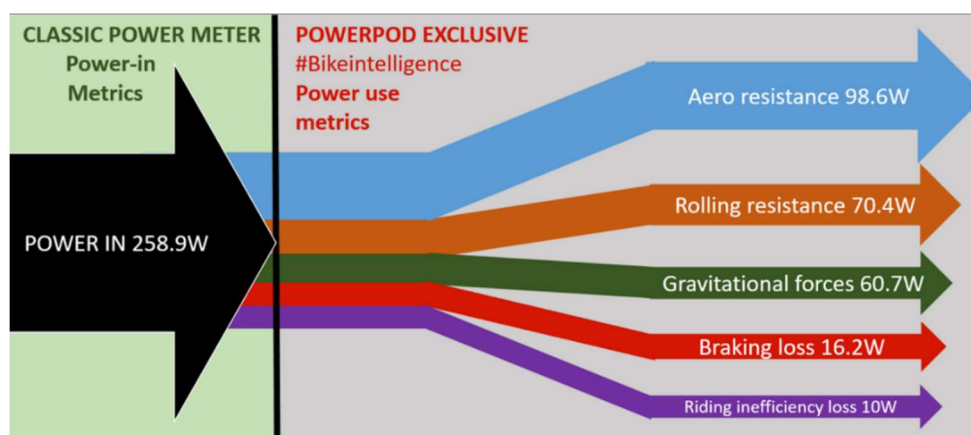


Figura 4.1.8.4. Distribució de la potència en diferents paràmetres

Com es pot veure en la imatge anterior, els potenciòmetres convencionals DFPM només extreuen la potència que s'està aplicant, en canvi, el PowerPod, al disposar de diferents sensors, tracta les dades i fragmenta la potència aplicada en els diversos paràmetres com: la resistència aerodinàmica, el fregament, les forces gravitatòries, pèrdues per frenada i ineficiència en el pedaleig. D'aquesta forma, és molt més fàcil saber on cal dedicar els esforços per millorar el rendiment de l'activitat.

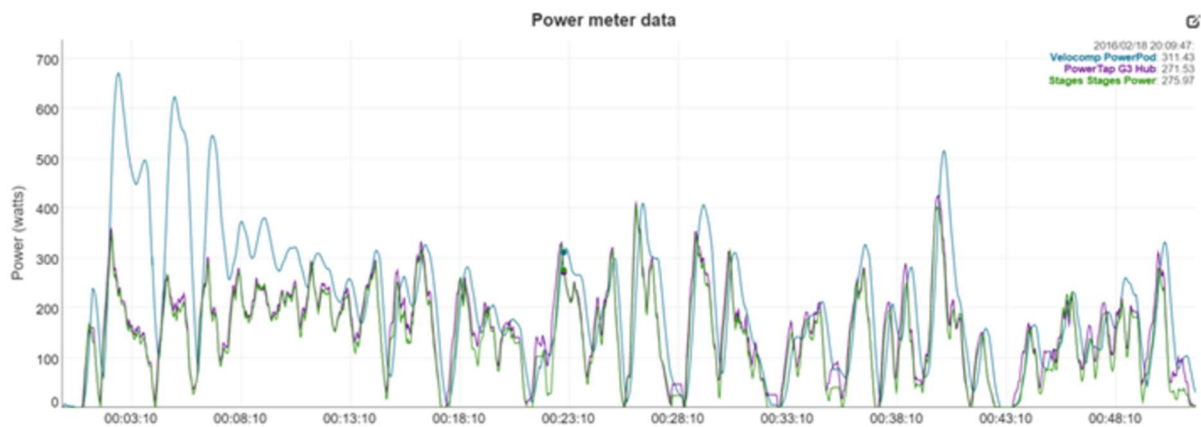


Figura 4.1.8.5. Potència recollida amb DFPM vs recollida amb PowerPod

En aquesta gràfica es compara la potència recollida utilitzant un potenciòmetre DFPM i la potència recollida pel PowerPod. Com es pot observar, durant els 10 primers minuts el PowerPod pateix una fase de calibratge que fa que aquest període sigui poc considerable en l'activitat total. Després d'haver-se calibrat recull d'una forma semblant les dades de l'activitat amb la diferència que és capaç de considerar el vent, inclinació del terreny... Per aquest motiu la corba del PowerPod es manté una mica per sobre de la del potenciòmetre convencional.

4.2.Fase 2. Marc conceptual.

4.2.1 Importància del vent en el ciclisme. [22] [23]

Des dels inicis del ciclisme, sempre s'ha considerat al vent com a un factor molt important en l'exercici d'aquest esport. Són ben sabuts els avantatges que pot tenir utilitzar el vent com a un aliat en carretera. Tots els ciclistes en són conscients i intenten minimitzar qualsevol pèrdua.

La col·locació dels atletes en carrera és sempre procurant aconseguir una distribució en escamot de forma triangular, de manera que, els ciclistes que es col·loquen en la punta de l'escamot han de fer un esforç molt més gran que la resta de corredors que es poden aprofitar el tall de l'aire que ha obert el ciclista davanter. És per això, que es fan relleus i rotacions sovint, per aconseguir un ritme en carrera força elevat, però sense que cap corredor es sacrifiqui més del compte. D'aquesta manera, es realitza un avanç molt més confortable per a tots, assolint terminar l'etapa havent estalviat energies que haurien perdut de més si cadascú d'ells l'hagués afrontat sol.

A més de la distribució entre els competidors, cadascun d'ells procura mantenir una postura tan aerodinàmica com sigui possible. La superfície frontal que crea la silueta del ciclista, és un factor estretament relacionat amb la resistència que s'oposarà a obrir-se pas en l'aire, ja que no hem d'oblidar que es tracta d'un fluid amb densitat. És per aquest fet que els ciclistes també tenen en consideració la seva postura al llarg de tota l'etapa, perquè saben que una petita diferència pot tenir una gran repercussió pel fet de recórrer tants kilòmetres.

En els últims temps, s'ha posat el focus en l'estudi de la relació aerodinàmica entre els integrants d'un escamot. La finalitat d'avançar en escamot es basa en l'evidència que el corredor que pedaleja al front assumeix una major part de la càrrega aerodinàmica donat que ha d'esforçar-se més que la resta que el segueix, que s'aprofiten de l'estela que crea el davanter. El que no s'esperava, és descobrir que els ciclistes de darrere també afavoreixen als davanters. La bossa d'aire creada pel primer ciclista resguarda a la resta, i la bossa creada pels ciclistes en altres posicions, s'uneixen a la del ciclista de davant creant unes bosses amb zones de baixa pressió que afavoreixen a la reducció de la càrrega dinàmica. En la *Figura 4.2.1.1.* es pot observar en vermell la pressió desfavorable i en blau la pressió favorable generades per l'escamot.

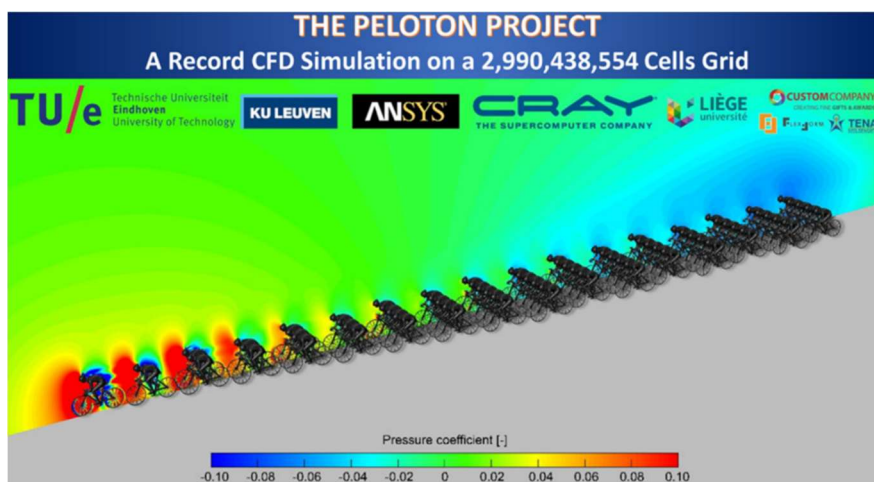


Figura 4.2.1.1. Bosses d'aire i coeficient de pressió

El descobriment d'aquest fenomen va motivar anar més enllà per conèixer quina és la millor posició de tot l'escamot per tenir els màxims beneficis de les bosses d'aire. Es va iniciar un estudi de les bosses d'aire i pressions intervinents en un escamot de quatre ciclistes. Els resultats van mostrar que els ubicats en la tercera i quarta posició tenen una reducció de l'esforç a aplicar d'entre el 50-54%. Significa que pel simple fet d'anar a roda i només tenir davant un parell de ciclistes es requereix la meitat de l'esforç per mantenir el ritme.

El següent pas va ser replicar l'experiment a un nombre de ciclistes en escamot molt més semblant a la realitat. Així és com un equip de la Universitat de Eindhoven va realitzar un experiment molt revelador. Van crear 121 motlles de ciclistes col·locant-los en escamot en un túnel de vent amb sensors per quantificar l'efecte d'anar a roda.

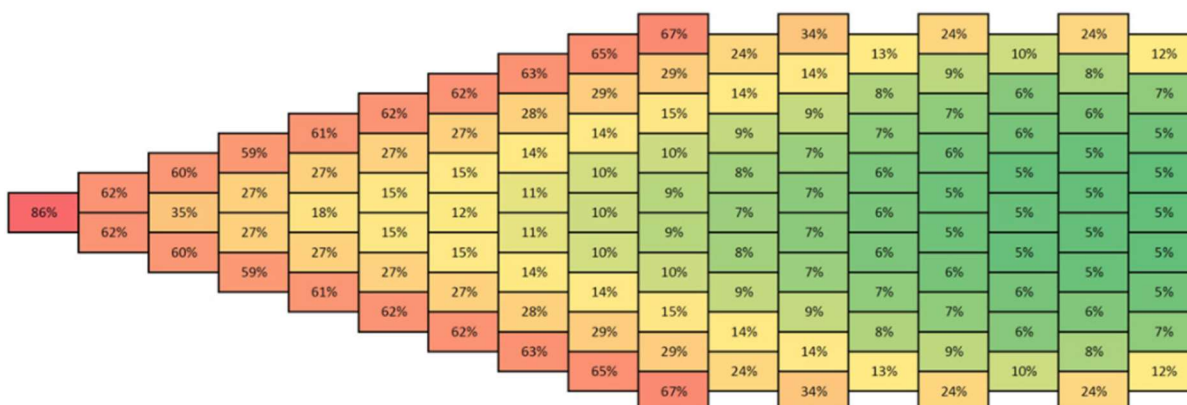


Figura 4.2.1.2. Mapa d'esforç segons la localització en l'escamot

A la *Figura 4.2.1.2.* s'indica el percentatge del volum d'esforç en comparació a un ciclista en solitari. Com es pot observar, el simple fet d'anar acompanyat fins i tot beneficia el front de l'escamot, ja que ha de desenvolupar menys esforç, el 86% del que hauria de realitzar si rodés sol a causa del benefici de l'efecte grupal i aerodinàmic de l'escamot. I si es para atenció a la part central més protegida del vent, els valors d'esforç són sorprenents. Es va obtenir que per pedalar a una velocitat de 54 km/h les posicions centrals només havien d'exercir només entre un 5-10% en comparació amb la potència que haurien de desenvolupar si ho fessin individualment. Els ciclistes situats en la part central i darrere de l'escamot, tenen una sensació d'estar pedalant a uns 12-17 km/h, quan en realitat circulen a 54 km/h. Són uns valors molt reveladors, ja que significa que els ciclistes de posicions més protegides han de realitzar només al voltant d'una desena part del que realitza el cap de l'escamot. Si s'extrapola a tots els kilòmetres que s'han de recórrer per cada etapa, s'obté com a resultat un esforç insignificant gràcies a minimitzar el factor del vent.

4.2.2 Pèrdues d'energia involucrades. [24] [25]

A continuació s'expliquen expressions per comprendre quins són els factors intervinents en qüestions energètiques. En el ciclisme hi ha tres grans factors que alteren l'avanç del ciclista en l'espai: la gravetat, les pèrdues mecàniques i les pèrdues aerodinàmiques.

- La gravetat és un element que pot ajudar o perjudicar el ciclista depenent de la inclinació de la carretera. Si es realitza una pujada anirà en contra, i pel contrari, si es realitza una baixada llavors se'n podrà beneficiar. És un factor directament relacionat amb el pes del ciclista i el de la bicicleta. Com més gran sigui el pes, més energia s'haurà d'utilitzar per generar el moviment. La constant de força gravitacional és igual a 9,8067 (m/s²). És necessari tenir en compte el grau percentual del pendent G , ja que com s'ha comentat, és un valor que farà variar la força resultant. Per finalitzar la conformació de l'expressió, s'haurà de multiplicar el valor pel valor del pes del conjunt ciclista-bicicleta, recollit en la variable W .

$$\text{Força gravetat} = g \times \sin\left(\arctan\left(\frac{G}{100}\right)\right) \times W$$

- Les pèrdues mecàniques es produeixen pel fregament entre les rodes i la carretera i pel moviment de totes les parts mecàniques. Varia segons la superfície de contacte amb la carretera, ja sigui per la forma del pneumàtic o la pressió a la qual estigui i per l'estat de les peces i la seva lubricació. Normalment, aquestes pèrdues solen representar fins al 10% la potència que s'ha d'aplicar, però per al seu càlcul més precís s'utilitza la Equació 4.2.2.2. on la **Crr** recull el valor de resistència al fregament de les rodes i el seu estat així com les imperfeccions de la carretera.

$$\text{Força rodament} = g \times \cos\left(\arctan\left(\frac{G}{100}\right)\right) \times W \times Crr$$

Equació 4.2.2.2. Força rodament

- Les pèrdues aerodinàmiques són les que es produeixen per obrir-se pas a través de l'aire. La roba, la posició del ciclista i altres elements poden alterar la superfície de contacte (m²) amb l'aire i fer que aquest factor sigui més o menys influent. Com més alta sigui la velocitat *V*, més quantitat d'aire s'ha d'obrir en menys temps, el que significa, més pèrdues aerodinàmiques. A més, la superfície que afronta aquesta obertura d'aire també influeix, per a una postura i superfície habituals en ciclistes, el coeficient de fregament aerodinàmic **Cd** sol ser de 0,9. La densitat de l'aire **ro** és d'aproximadament 1,28 Kg/m³. Llavors l'equació que expressa la força necessària per travessar l'aire és:

$$\text{Força aerodinàmica} = \frac{1}{2} \times Cd \times ro \times \text{superfície contacte} \times \text{velocitat}^2$$

Equació 4.2.2.3. Força aerodinàmica

Així doncs, la força total necessària per avançar és la suma de les forces:

$$\text{Força resistiva} = \text{Força gravetat} + \text{Força rodament} + \text{Força aerodinàmica}$$

Equació 4.2.2.4. Força resistiva

També es coneix que la potència exercida a les rodes és igual al producte entre la força resistiva i la velocitat que es desenvolupa:

$$Potència roda = Força resistiva \times velocitat$$

Equació 4.2.2.5. Potència roda

S'ha de considerar que la potència aplicada pel ciclista no és aprofitada completament per generar moviment a causa de les pèrdues mecàniques de la cadena, marxes i mecanismes de transmissió. Llavors, si es combinen les expressions anteriors i es consideren les pèrdues mecàniques, s'obté l'expressió:

$$Potència roda = \left(1 - \frac{pèrdues(\%)}{100}\right) \times Potència ciclista$$

Equació 4.2.2.6. Potència roda composta

Aïllant la Potència ciclista per conèixer aquesta s'obté:

$$Potència ciclista = \left(1 - \frac{pèrdues(\%)}{100}\right)^{-1} \times Potència roda$$

Equació 4.2.2.7. Potència ciclista

Recuperant totes les expressions anteriors i enllaçant-les amb aquesta última queda:

$$Potència ciclista = \left(1 - \frac{pèrdues(\%)}{100}\right)^{-1} \times (Força gravetat + Força rodament + Força aerodinàmica) \times velocitat$$

Equació 4.2.2.8. Potència ciclista composta

D'aquesta expressió final se'n pot extreure que la velocitat és un factor molt influent en la potència que desenvolupa el ciclista. De fet, la potència que s'ha d'exercir és proporcional al cub de la seva velocitat. Aquest fet significa que per incrementar en un 25% més de velocitat, caldrà prop del doble de potència que anteriorment.

Es pot concloure que hi ha una gran dificultat per generar potència suficient per incrementar mínimament la velocitat. És per això, que és un factor important que en les grans curses s'aprofiti la potència exercida pel ciclista i que el màxim possible d'aquesta sigui transformada en velocitat, tot procurant mantenir-la refugiant-se en l'escamot.

Parant atenció a la resta de variables, aquestes no són tan rellevants com la velocitat, però és important no obviar-les. Les pèrdues depenen de la lubricació i l'estat de les transmissions, per tant, serà una tasca a tractar en la preparació de la bicicleta, el que significa que no és variable durant l'activitat. El pes del conjunt del ciclista i la bicicleta també és un factor a minimitzar prèviament a l'activitat. L'estat de les rodes i el seu comportament depenen també de la preparació i posada a punt anterior a l'activitat. El pendent G és canviant durant l'activitat, tanmateix, no depèn de cap millora ni preparació, ja que és definida pel relleu. La superfície de contacte i el coeficient aerodinàmic Cd estan estretament lligats i sent cert que pot ser un factor diferencial, el seu rang de millora no és tan ampli. La variable ρ detalla la densitat de l'aire que, com en les variables anteriors, pren un paper menys important que la velocitat i no pot ser millorable perquè depèn de factors externs.

$$\begin{aligned}
 \text{Potència ciclista} &= \left(1 - \frac{\text{pèrdues}(\%)}{100}\right)^{-1} \times \\
 &\left[\left(g \times W \left[\sin\left(\arctan\left(\frac{G}{100}\right)\right) + Crr \times \cos\left(\arctan\left(\frac{G}{100}\right)\right) \right] + \left(1/2 \times Cd \times \rho \times \text{superfície contacte} \times \text{velocitat}^2\right) \right) \right] \\
 &\times \text{velocitat}
 \end{aligned}$$

Equació 4.2.9. Potència ciclista composta final

Tal com es pot veure, les variables tenen menys repercussió en el factor de la potència que ha d'exercir el ciclista, però és interessant controlar també el màxim possible aquests valors, per intentar minimitzar la potència aplicada i així aconseguir la major velocitat possible.

Recuperant l'*Equació 4.2.2.8.* i simplificant les pèrdues i el sumatori de totes les forces resistives, s'obté l'expressió general que relaciona la força aplicada a la velocitat en què es realitza aquesta:

$$\text{Potència ciclista} = \text{Forces resistives} \times \text{velocitat}$$

Equació 4.2.10. Potència ciclista simplificat

Com es pot analitzar en l'*Equació 4.2.2.11.*, per maximitzar el valor de la velocitat, és convenient que el valor de la Potència ciclista sigui el més gran possible i que les Forces resistives prenguin el valor més baix possible:

$$\uparrow \text{velocitat} = \frac{\uparrow \text{Potència ciclista}}{\downarrow \text{Forces resistives}}$$

Equació 4.2.2.11. Velocitat maximitzada

A la Taula 4.2.2.1 es recull la importància de cada variable respecte la potència exercida pel ciclista:

Variable	Grau repercussió en la Potència ciclista	Variabilitat durant l'activitat	Controlable / millorable
Velocitat (<i>V</i>)	ALT	SI	SI
Pendent (<i>G</i>)	ALT	SI	NO
Pèrdues rodament (<i>Crr</i>)	ALT	NO	SI
Coef. aerodinàmic (<i>Cd</i>)	MIG	SI	SI
Pèrdues mecàniques (<i>pèrdues%</i>)	BAIX	NO	SI
Pes ciclista-bicicleta (<i>W</i>)	BAIX	NO	SI
Superfície contacte aire	BAIX	SI	SI
Densitat aire (<i>ρ</i>)	BAIX	NO	NO

Taula 4.2.2.1: Comparativa de variables influents en la potència exercida pel ciclista

Es divideixen les que tenen un grau de repercussió alt respecte la potència, aquestes són les variables objectiu. També depèn de si permeten ser variades durant l'activitat, ja que si no es poden variar en cursa, es tracta de preparació prèvia, llavors aquestes no són d'interès. Per finalitzar, és important conèixer si està en la mà del ciclista o del preparador que pugui millorar aquesta variable. Si es fixen com a objectiu les variables que tenen una repercussió més alta, les pèrdues per rodament són inevitables i com a molt es pot preparar un neumàtic amb bones condicions i la pressió adequada. El pendent no és controlable i encara que és molt influent en la potència que ha d'exercir el ciclista, no es poden aplicar accions que facin que minimitzi o augmenti el seu comportament. I com a variable més rellevant es troba la velocitat, que tal com s'ha citat anteriorment, és una variable que influeix molt directament en la potència i que convé controlar-la. Així doncs, els ciclistes són conscients que la velocitat és una variable que han de mantenir el màxim possible per no dependre tant de la potència que han d'aplicar ells mateixos i la forma d'aconseguir-ho és l'avanç en escamot. Mantenir la

velocitat gràcies a factors externs com el d'anar a roda, faran disminuir les forces resistives i la potència que haurà d'aplicar el ciclista no serà tan gran i, per tant, tindrà menys fatiga.

$$\uparrow \text{velocitat} = \frac{= \text{Potència ciclista}}{\downarrow \text{Forces resistives}}$$

Equació 4.2.2.12. Velocitat augmentada externament

4.2.3 Ultrasons i aplicacions. [26] - [30]

Els ultrasons són una sèrie d'ones a una freqüència per sobre de la capacitat auditiva dels humans. Les ones audibles pels humans és del rang entre 20 Hz i 20 KHz. Els ultrasons engloben freqüències més altes, dels 20 KHz a freqüències de magnituds del voltant de MHz, tot i que el màxim rendiment per a les aplicacions en les quals es solen usar s'obté als 40 KHz.



Figura 4.2.3.1. Escala d'ultrasons

Els ultrasons són un efecte físic natural que pot ser provocat i aprofitat en diverses aplicacions. El descobridor d'aquestes ones va ser el biòleg italià Lazzaro Spallanzani però el desenvolupador i investigador dels ultrasons va ser Christian Doppler amb l'*Efecte Doppler* que explica el canvi de freqüència aparent d'una ona produïda pel moviment de la font emissora d'aquesta respecte a l'observador.

Un transductor és un dispositiu que transforma l'efecte d'una causa física, com la pressió, la temperatura, dilatació, humitat... En un altre tipus de senyal, normalment elèctric. En el cas dels transductors d'ultrasò, l'energia ultrasònica arriba i/o es genera al transductor, que conté cristalls piezoelèctrics. Tenen la capacitat de transformar l'energia elèctrica en so i viceversa, de manera que el transductor pot actuar tant com emissor i receptor d'ultrasons. El so no es transmet només per l'aire, sinó per qualsevol altre material, gas, líquid o sòlid, però no es pot

propagar en el buit. La velocitat amb què es propaga depèn del material que serveix com a mitjà de transport. Qualsevol alteració en les propietats del material, com la seva temperatura, densitat... fa variar la velocitat de propagació.

El mesurament basat en ultrasons és una part clau de les aplicacions que s'ocupen del mesurament de distància d'objectes sense contacte i la detecció d'objectes. Són més populars en comparació amb altres dispositius de mesurament de distància de pocs metres pel fet que tenen avantatges de baix cost, fàcil implementació, i la capacitat de no alterar-se per intensitats de llum i al material de la majoria dels objectes. Per aquesta raó, els sensors ultrasònics són àmpliament utilitzats en necessitats de mesurament de distància.

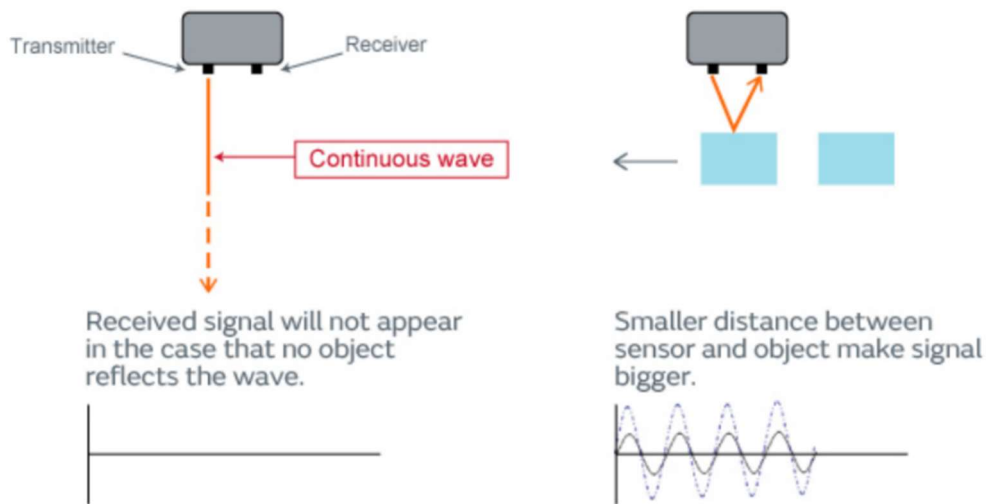


Figura 4.2.3.2. Detecció d'objectes mitjançant ultrasons

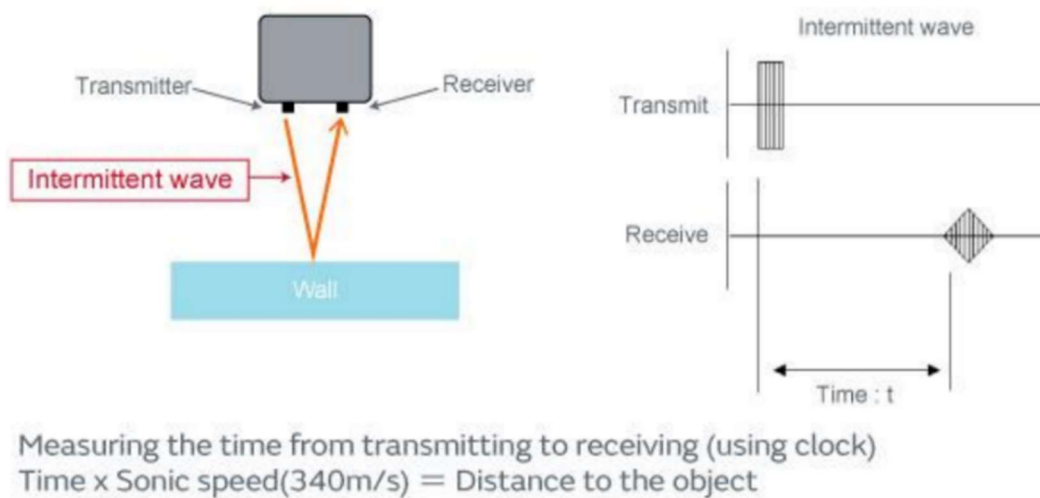


Figura 4.2.3.3. Mesura de distàncies mitjançant ultrasons

El seu funcionament es fomenta bàsicament als mateixos principis que els materials piezoelèctrics, convertint l'energia mecànica en elèctrica i viceversa. L'efecte piezoelèctric és sensible a la direcció. La tensió produeix una polaritat definida al voltatge i la compressió produeix una oposada. Així doncs, si al transductor piezoelèctric d'un sensor ultrasònic, se li aplica als extrems (elèctrodes) un voltatge, el vidre es deforma patint canvis en les seves dimensions, fet que ocasiona un canvi de pressió al medi que l'envolta (en aquest cas l'aire). L'efecte és reversible, en ser sotmès el vidre a un canvi de pressió aquest es deforma i apareixen càrregues elèctriques als seus extrems, on es crea una diferència de potencial. Per això aquest tipus de transductor pot funcionar com a emissor o receptor ultrasònic.

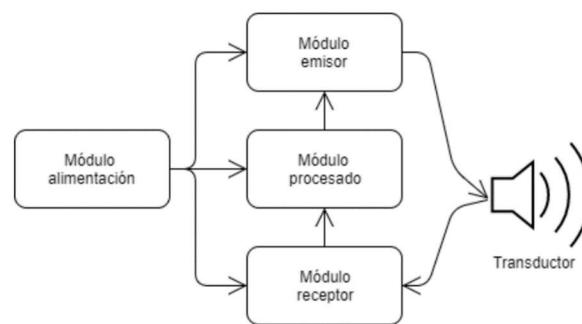


Figura 4.2.3.4. Exemple sistema emissor-receptor mesurador de distància

Gràcies a la investigació d'aquest efecte físic han pogut aprofitar-se propietats dels ultrasons per a la seva utilització en processos o en la creació de dispositius que els integren.

Aplicacions

A partir del primer generador ultrasònic utilitzant un piezoelèctric, van sorgir invencions com el sonar, com a mecanisme a la indústria per trobar defectes en elements o com a Cabalímetre ultrasònic (mesurador de flux ultrasònic).

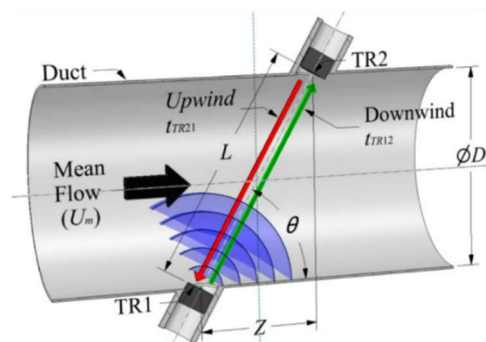


Figura 4.2.3.5. Cabalímetre ultrasònic d'un sol camí en un conducte circular

Els mesuradors de flux ultrasònics utilitzen ones sonores per determinar la velocitat d'un fluid que flueix per una canonada. En condicions sense flux, les freqüències d'una ona ultrasònica transmesa a una canonada i els seus reflexos al fluid són les mateixes. En condicions de flux, la freqüència de l'ona reflectida és diferent a causa de l'efecte Doppler. Quan el fluid es mou més ràpidament, el canvi de freqüència augmenta linealment. El transmissor processa els senyals de l'ona transmesa i els reflexos per determinar el cabal.

4.2.4 Sensor ultrasònic en la meteorologia [31] - [33]

En estacions meteorològiques, o fins i tot en instal·lacions domòtiques de particulars, és cada cop més habitual trobar sensors ultrasònics realitzant la funció de sensors de velocitat i direcció del vent en substitució dels anemòmetres convencionals d'hèlixs o copa i penell. Aquests nous sensors eòlics es basen en els ultrasons i la velocitat a la qual es desplacen pel medi per així determinar la velocitat del vent. Combinant varis parells emissor-receptor és possible conèixer també en quin sentit.

Respecte als sensors eòlics convencionals tenen a favor que no es poden trencar, aturar o desgastar pel fet que no té parts mòbils, per tant, pot suportar condicions meteorològiques més extremes.

Principi de funcionament: emissor-receptor

Com s'ha comentat anteriorment, el sistema utilitza un conjunt emissor-receptor per la lectura de la velocitat del vent. El principi de funcionament és emetre un ultrasò i fer que viatgi una distància coneguda cap a un receptor. Coneixent la distància i la velocitat de propagació de l'ultrasò generat, serà possible saber quin temps teòric hauria de tardar l'ultrasò a viatjar de l'emissor al receptor. Aquí és on entra el factor del vent. Si el vent circula en sentit a favor de l'ultrasò (de l'emissor al receptor, *Figura 4.2.4.1.*) gràcies al vent, aquest ultrasò arribarà abans del temps teòric.

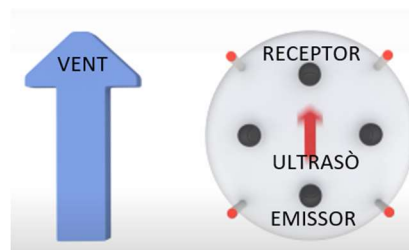


Figura 4.2.4.1. Vent en sentit a favor de l'ultrasò

Si, per contra, el vent va en contra de l'ultrasò emès (del receptor a l'emissor, *Figura 4.2.4.2.*) el vent frenarà la propagació d'aquest i hi haurà un retard en l'arribada en comparació del temps teòric.

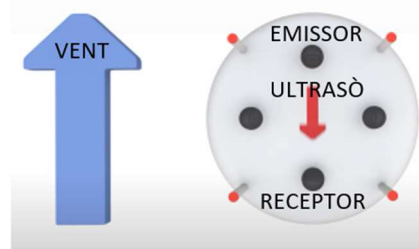


Figura 4.2.4.2. Vent en sentit en contra de l'ultrasò

Aquesta tecnologia pot ser molt precisa i s'utilitza per a la transferència de custòdia (és a dir, la comptabilitat precisa d'un fluid costós) de líquids de gas natural i petroli. Suporta altes pressions i temperatures extremes, es pot utilitzar subjectat a l'exterior d'una canonada sense la necessitat que estigui en contacte amb l'interior, és de baix manteniment i altament fiable. Els desavantatges poden incloure l'alt cost, la sensibilitat a les vibracions del procés, els problemes amb el canvi del diàmetre de la canonada a causa de l'acumulació i les unitats de subjecció tenen menys precisió.

4.3.Fase 3. Disseny de la solució proposada.

4.3.1. Selecció de l'alternativa òptima.

Per la selecció de l'alternativa òptima s'ha realitzat un estudi valoratiu dels punts forts i febles que caracteritzen cada alternativa de les destacades anteriorment. Les alternatives més destacables són les aplicacions meteorològiques que es vinculen amb Strava i el dispositiu PowerPod.

Seguidament, es recullen els punts forts i febles de les APPS amb Strava:

PUNTS FORTS	PUNTS FEBLES
Accessibilitat/Preu: molt probable que l'usuari disposi d'un smartphone i pugui utilitzar les APPS de forma ràpida només portant-lo a sobre durant l'activitat. No cal un desemborsament extra si se'n disposa d'un, només si es vol obtenir la versió Premium de les APPS.	Recomanable l'ús de dispositius de suport: per al seu bon funcionament és molt recomanable complementar el seu ús amb altres sensors de pedaleig que aportin més variables d'interès.
Portabilitat: es pot muntar i desmuntar fàcilment en diferents bicicletes.	Precisió: es depèn de la precisió del GPS i de l'acceleròmetre, únics sensors que utilitza.
Calibratge: no cal un calibratge pel seu funcionament, des de l'inici de l'activitat ja es recullen dades vàlides.	Paràmetres de referència: es basa principalment en la força resistiva del vent, però no té en consideració des de quin angle s'exerceix aquesta resistència aerodinàmica.
Anàlisi de dades: els software de les APPS són molt potents. Són capaços d'enllaçar variables bàsiques per obtenir compostes que també poden resultar d'interès. A més, mostren amb gràfiques els resultats de l'activitat.	Sensors: No disposa de molts sensors, fet que obliga a realitzar excessives aproximacions. Es considera el factor del vent, temperatura ambiental... Però provinents de fonts externes al conjunt ciclista-bicicleta.
Resultats: els resultats són força bons per la poca inversió que suposa. Es té una millor aproximació de l'activitat realitzada degut a la possibilitat de quantificar l'efecte del vent. Una bona solució pel sector amateur.	Resultats: els resultats no deixen de ser una aproximació. Es té en compte l'efecte del vent però, el fet de no executar la lectura de dades en la mateixa localització que el ciclista, fa que siguin poc reals. Una solució insuficient pel sector professional.

Taula 4.3.1.1: Punts forts i febles de les APPS Meteorològiques

A continuació, es mostren els punts forts i febles que presenta el PowerPod:

PUNTS FORTS	PUNTS FEBLES
Preu: relativament econòmic per tota la informació que ofereix. Per aconseguir una informació similar a partir de dispositius per separat, el desemborsament seria major.	Requereix dispositius de suport: per al seu bon funcionament és molt recomanable complementar el seu ús amb altres sensors de pedaleig o GPS
Portabilitat: es pot muntar i desmuntar fàcilment en diferents bicicletes.	Disseny: poc discret en comparació amb altres potenciòmetres convencionals que ni tan sols són visibles.
Calibratge: el calibratge d'un DFPM és poc pràctic i porta més temps que en aquest OFPM, que és calibrat per l'usuari en cada sortida, mantenint el nivell de precisió.	Paràmetres de referència: es basa principalment en la força del vent, però no té en consideració des de quin angle s'exerceix aquesta resistència aerodinàmica, fet que condiciona la interpretació del vent.
Sensors: disposa d'una gran quantitat de sensors que, conjuntament, ofereixen una lectura de l'activitat més precisa i amb paràmetres amb més matisos dels que proporcionen altres dispositius. Considerant un factor tan important com és el vent.	Precisió: tot i tenir un comportament molt similar als DFPM (marge d'error del 2%), no és un sistema aïllat a factors externs com les vibracions, els canvis ratxats de vent o la temperatura ambient, i per això pot ser massa sensible o depenent de les condicions en les quals s'utilitzi.
Autonomia: disposa d'una bateria que assegura el seu ús unes 20h.	Temps de calibratge: no proporciona dades fiables fins que no passa el temps de calibratge a cada inici de l'activitat d'entre 5 i 10 minuts.

Taula 4.3.1.2: Punts forts i febles del PowerPod

Després d'aprofundir en les solucions actuals, analitzant el seu funcionament i descobrint els seus punts forts i febles, s'ha ideat una proposta que aporta certs beneficis respecte d'altres dispositius.

La proposta adoptada té en consideració els punts següents:

1. El sistema ha de recollir les dades en la localització exacta on es realitza l'activitat. El/la ciclista ha de portar el sistema a sobre per garantir que les dades que es recullen són exactament les condicions que ha experimentat durant l'activitat. Amb

aquesta condició es millora l'alternativa de l'ús d'aplicacions mòbil, que aproximen dades de les estacions meteorològiques més properes, però que poden ser dades molt diferents de les que realment ha experimentat el/la ciclista.

2. Millorar la precisió i evitar errors de presa de dades utilitzant un sistema ultrasònic que aïlli el sistema de vibracions i factors externs o que com a mínim es minimitzi la seva repercussió, degut a que un dispositiu similar com el PowerPod, pateix aquestes pertorbacions.
3. La variable de referència principal és el vent, tenint en compte la incidència directa d'aquest amb previsió de contemplar també la seva direcció en projectes següents, la qual cosa si que permeten els sistemes ultrasònics.

4.3.2. Especificacions tècniques

En aquest apartat es tractaran els principals objectius i les seves respectives especificacions tècniques per a cada un d'ells que s'aspiren assolir en aquest projecte. La principal finalitat que es vol cobrir és proporcionar als ciclistes, un dispositiu de mesurament en forma de potenciòmetre el qual realment tingui en compte factors ambientals, essent el vent el més destacable.

El principal objectiu d'aquest projecte és dissenyar conceptualment un potenciòmetre que, mitjançant els ultrasons, es pugui conèixer la velocitat i direcció del vent per fer-ne ús en les activitats del ciclisme. Per assolir aquest objectiu es valoren els següents objectius i les seves respectives especificacions per l'òptim funcionament. S'escullen les especificacions que més afavoreixin a l'usuari amb la finalitat de presentar un producte competitiu en el mercat actual aportant al consumidor les mateixes prestacions i millorant elements clau:

Objectius principals

Objectiu 1: Determinar la viabilitat d'ús dels ultrasons en aquesta aplicació

Especificació 1: Tamany reduït i eficaç en la correcta lectura d'ultrasons

- El principal objectiu i més important del projecte és arribar a la conclusió de si és viable la migració de tecnologia utilitzada a partir dels ultrasons en la mesura de fluids per crear un sistema emissor-receptor d'ultrasons que permeti la recollida d'informació de velocitat i sentit del vent. Per complir-ho, el sistema ha de ser prou petit com per no destorbar al ciclista en termes de volum, pes i subministrament energètic ja que, és també un factor a tenir en compte i molt determinant. La distància

emissor-receptor ha de ser suficient per tenir una bona lectura de dades donat que una distància massa propera podria no captar bé el pas del vent i una distància molt llunyana pot recollir informació amb poca precisió de mesura.

Objectius secundaris

Objectiu 2: Recol·lecció de dades que aportin informació més rellevant

Especificació 2.1 Dispositiu amb múltiples sensors integrats

Especificació 2.2 Sensors amb una precisió suficient per a la seva funcionalitat

Especificació 2.3 Determinar velocitat i sentit del vent

- No es pot menysprear la importància del bon enllaç de les dades que poden recollir diversos sensors per realitzar uns càlculs i aproximacions molt més precises i que aportin nous punts d'informació que arribin a un grau de coneixement més profund de l'activitat que s'ha realitzat. Un millor anàlisi de les activitats permet un major control i eficiència del ciclista aconseguint millors resultats. Per tant, els sensors han de mesurar i tenir una precisió correcta per a la tasca a realitzar. Partint d'aquesta condició, es determinarà si la incorporació de múltiples sensors milloren significativament la capacitat de recollir informació.

Objectiu 3: Explorar si el rendiment és més estable que alternatives actuals

Especificació 3.1: Ultrasons per mesurar el vent

Especificació 3.2: Sistema que minimitzi vibracions

- Sistema de recol·lecció de dades: Les alternatives actuals tenen uns rendiments força elevats, però tenen aquests resultats en les mesures a les quals estan dedicades, el conflicte és causat per l'omissió d'un factor tan determinant com és el vent. Existeix el potenciòmetre PowerPod que utilitza un anemòmetre intern per determinar la velocitat. Té un funcionament correcte, però usuaris han reportat inexactituds degut a que és un sistema que es pot veure fàcilment alterat per les irregularitats i vibracions provocades per la carretera o la bicicleta que provoquen l'anemòmetre s'alteri. Amb la implementació dels ultrasons s'evita tenir un sistema sensible a vibracions que a més pot ser interessant desenvolupar algun mètode de subjecció que les atenuï encara més.

4.3.3. Estat de l'art.

A l'hora de seleccionar l'alternativa òptima s'ha valorat què pot diferenciar i aportar una solució més completa i disruptiva així com cobrir les mancances de l'alternativa més avançada al mercat, el PowerPod.

Arran d'això, s'ha seleccionat les característiques més diferencials i atractives pels usuaris. Seran els objectius tècnics sobre els quals es treballarà i s'investigarà per intentar arribar a una solució viable o en el seu defecte, determinar quins són els factors que poden permetre la seva viabilitat. L'alternativa a desenvolupar haurà de tenir en compte:

1. Utilització dels ultrasons per la captació del vent com a factor principal per desenvolupar el potenciòmetre.
2. Integració de diversos sensors per complementar informació, aportar noves dades d'interès i amb un major grau de precisió.

Concepte general de la proposta adoptada:

El prototip ideat consisteix en la utilització de la placa electrònica de programació Arduino UNO per gestionar les dades que recullen dos sensors ultrasònics HC-SR04 encarats inversament entre si. Per a la subjecció d'aquests, s'ha dissenyat una estructura que assegura el correcte posicionament entre ells, donat que és un factor molt important per garantir el correcte funcionament dels mòduls ultrasònics. El parell de sensors es col·loquen de forma invertida, de manera que el transmissor d'un sensor, es troba encarat directament amb el receptor del sensor contrari.

Un cop el prototip està muntat, s'ha programat l'Arduino amb la finalitat d'elaborar un codi que tingui en compte aquests condicionants físics. A continuació, s'experimenta el temps real de propagació entre l'emissió de l'ultrasò i la recepció d'aquest. Aleshores, es compara aquest temps real emprat amb el temps teòric calculat segons la velocitat de l'ultrasò i la distància que recorre. Tot seguit es calibra l'expressió utilitzada per obtenir un resultat el màxim de semblant possible. Finalitzat aquest punt es tindrà el sistema calibrat i a punt per realitzar mesures incorporant la variable vent al sistema. Com a font generadora de vent s'utilitza un assecador. Per conèixer la velocitat de vent que genera, amb l'ajut d'un anemòmetre, es pren la velocitat del vent i es compara amb la que mesura el prototip. Amb l'experimentació i

comparació de diverses velocitats de vent, és possible concloure si el prototip realitza les mesures correctament.

El prototip ideat té el propòsit d'iniciar una primera versió que pot continuar desenvolupant-se en projectes següents. A l'apartat de línies futures d'aquesta memòria es pot trobar una sèrie d'implementacions que es poden realitzar si es desitja continuar amb el desenvolupament del projecte.

4.3.4. Viabilitat tècnica.

Per implementar un sistema de mesurament del vent a partir dels ultrasons, és necessari disposar d'una comunicació emissor-receptor que tradueixi el retard o avanç d'una ona ultrasonora i que sabent la distància a la que es troben i la velocitat a la qual hauria d'haver viatjat aquesta ona es pot conèixer la velocitat del vent. Amb la combinació de varis conjunts emissor-receptor es pot determinar el sentit del vent. Aquesta informació permet saber amb quina magnitud ha incidit el vent i des de quin angle ho ha fet.

Aleshores, el prototip a dissenyar ha de ser de dimensions contingudes i lleuger perquè sigui fàcilment portable per qualsevol ciclista, sense que el pes afecti significativament el rendiment de l'activitat. El dispositiu ha de suposar per l'usuari, un element que pugui portar fàcilment mentre pedaleja i que li proporcioni informació rellevant en tot moment, més veraç que les que proporciona un ciclocomputador actual i també un anàlisi més profund posteriorment. Una solució que comptabilitzi l'esforç que han de realitzar els ciclistes a causa del vent. El que pretén proporcionar el dispositiu de mesurament del vent és una solució a un problema com és la dificultat que té conèixer la incidència que ha tingut el vent durant una activitat de ciclisme.

4.3.4.1. Electrònica de la proposta adoptada

El sistema ultrasònic està compost per la placa programable Arduino UNO, encarregada de la gestió i recollida d'informació dels sensors ultrasònics i dels càlculs necessaris per transformar el factor físic a un valor interpretable pel sistema i que transformi com a resultat la velocitat del vent. La seva programació es realitza a través del programa Arduino IDE el qual es programa en llenguatge C++.

S'ha optat per la utilització d'un circuit senzill on els mòduls ultrasònics HC-SR04 són de disseny integrat, ja que els mateixos integren un circuit d'acondicionament del senyal. Així s'aconsegueix reduir el temps i complexitat d'haver de tractar el senyal a partir d'un circuit d'acondicionament triggerat o altres transformacions... Que no són viables en el temps d'execució del projecte.

Per la connexió entre placa i mòduls ultrasònics s'utilitzen "jumpers" en diferents configuracions de mascle i femella.

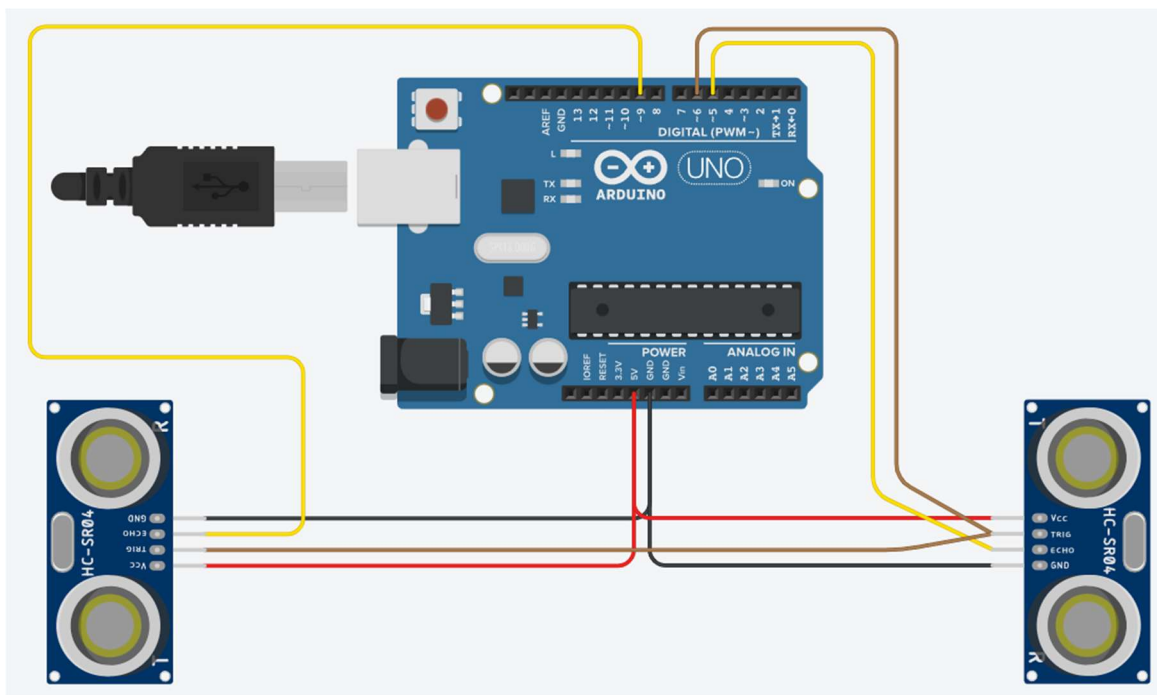


Figura 4.3.4.1.1. Circuit ultrasònic dissenyat amb TinkerCAD

Degut a la importància de mantenir una posició i orientació dels sensors ultrasònics per obtenir unes lectures acurades, s'ha decidit implementar uns suports que mantinguin una posició totalment confrontada dels sensors i que alhora garanteixin una posició fixa i sense vibracions durant l'experimentació amb el vent.

4.3.4.2. Mecànica de la proposta adoptada

El sistema ultrasònic està col·locat en una estructura que el sosté i que, alhora, garanteix que es trobi correctament posicionat en tot moment.

El disseny del cos estructural del prototip s'ha realitzat amb Autodesk Inventor. S'ha utilitzat una impressora 3D, concretament la Ender 3 PRO, per imprimir en filament PLA. És una solució ràpida que no requereix motlles i que permet aconseguir uns resultats satisfactoris per la realització del prototip.

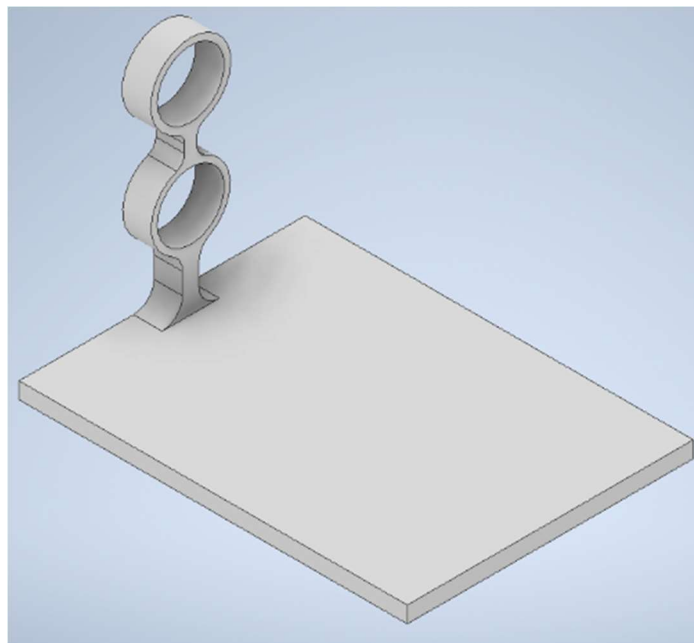


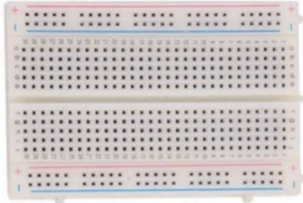






Figura 4.3.4.2.1. Suport dissenyat amb Autodesk Inventor

4.3.4.3. Selecció de materials i components

Component	Quantitat	Descripció
<p>Arduino UNO</p> 	1	Placa electrònica de programació embedded opensource. Utilitza el microcontrolador Atmega328P basat en arquitectura AVR. A partir de la seva programació en C++, es poden controlar les entrades i sortides (perifèrics) per realitzar càlculs amb les dades que gestiona i així aportar funcionalitats a demanda d'una forma molt ràpida, ideal per prototips.
<p>HC-SR04</p> 	2	Sensors ultrasònics amb transmissor i receptor. Ideat especialment per mesurar distàncies des de 2 cm a 450 cm. Voltatge alimentació: 5 V. Corrent de treball: 15 mA. Precisió: ± 3 mm. Angle d'obertura: 15°. Temps d'espera entre lectures: 20 ~ 50 ms. Quatre PINs: Alimentació a 5V, GND, Trigger (emissió ultrasò) i Echo (recepció ultrasò).
<p>Protoboard</p> 	1	Protoboard de 400 punts. És un element ideal en prototips per realitzar connexions ràpides sense necessitat de soldar els components que componen el circuit
<p>Jumpers</p> 	120	Cables per realitzar connexions ràpides, varis colors i llargàries. Connectors: Mascle-Mascle, Femella-Femella, Femella-Mascle.
<p>Filament PLA 1,75mm</p> 	1	El filament PLA és el material extrudit per les impressores 3D. S'escalfa el material i es s'acumula per capes que, quan s'asseca el material, queden adherides formant el sòlid desitjat. El filament s'ha utilitzat per crear els suports dels mòduls ultrasònics.

<p>Anemòmetre digital</p> 	1	Anemòmetre digital de la marca Neoteck model NTK060. Mesura la velocitat i temperatura del vent en diferents unitats. Rang: 0 – 30 m/s (0 – 90 km/h). Resolució: 0,1 m/s. Precisió: $\pm 5\%$. Rang de treball: -10 a 45 °C. S'utilitzarà per contrastar la velocitat real del vent amb la mesurada pel prototip.
<p>Font generadora de vent</p> 	1	Com a font generadora de vent per realitzar l'experiment, s'utilitza l'assecador Parlux Advance Light. S'ha escollit aquesta opció per la gran potència de generació de vent i la concentració d'aquest gràcies al capçal. Té una capacitat de generar vent fins a uns 55 km/h.

Taula 4.3.4.3.1. Components i materials del prototip

4.3.4.4. Normatives i reglamentacions

Donat el propòsit de crear un prototip, no és directament aplicable cap normativa ni reglamentació, ja que el dispositiu és únicament per ús experimental propi i tots els components compleixen les normatives de *Conformitat Europea* (CE) i de la *Comissió Federal de Comunicacions* (FCC). Aquestes homologacions garanteixen una qualitat i característiques dels elements utilitzats i, per tant, ja incorporen uns estàndards de seguretat pel seu ús, pel fet que cap d'ells ha sigut modificat per la realització del prototip.

En el cas de desenvolupar-se una versió final i s'aspiri a ser comercialitzada, caldria incorporar també les homologacions *CE* i *FCC* del dispositiu ideat. Per tal de certificar que tots els elements no alteren el seu funcionament a l'estar formant part del mateix dispositiu. A més, complir amb la directiva **2011/65/UE** (antiga *RoHS* per les seves sigles provinents de l'anglès "*Restriction of Hazardous Substances*"). Garantint que no es superen les quantitats d'alguns materials perjudicials en aparells elèctrics i electrònics. [34]

Serà d'interès tenir en compte la norma **IEC 60204-1** referent als requisits generals respecte a la seguretat de les màquines i els equips elèctrics [35]. També la norma **IEC 60721-2-1** que fa la classificació de les condicions ambientals a la naturalesa, temperatura i humitat. [36]

Certificar el producte a través un organisme acreditat, s'entén com a un laboratori acreditat amb la norma **ISO/IEC 17025:2005** referent als requisits generals per la competència dels laboratoris d'assaig i de calibració. [37]

Basat en els dispositius actuals i les seves característiques, molt previsiblement el dispositiu final comptés amb algun tipus de connexió *wireless*. Serà imprescindible treballar amb els estàndards recollits en el grup **IEEE 802.15** que permet que dispositius portàtils puguin comunicar-se i interoperar. [38]

4.3.5. Viabilitat mediambiental.

El projecte pretén aportar com a resultat un estudi de l'efecte del vent en el ciclisme i un prototip que mesuri la velocitat del vent a partir dels ultrasons, per tant, les tasques durant la realització del projecte no han sigut significatives en termes mediambientals. Tot i que es poden tenir en compte accions futures que sí que poden estar lligades al medi ambient i que, en conseqüència, cal tractar-les amb responsabilitat.

Cap element del prototip és altament perillós pel medi ambient, però en el cas de realitzar-se més prototips seria molt beneficiós l'aprofitament de parts o components de prototips anteriors. En el cas de desestimar-se l'ús d'algun prototip, peça o component, és imprescindible rebutjar-ho pertinentment prioritant sempre el seu reciclatge.

Cal remarcar que si finalment el resultat de projectes futurs desencadenen en un dispositiu comercial, els beneficis mediambientals es traduirien en la reducció de dispositius que són utilitzats pels ciclistes, evitant així la multiplicat de dispositius per dur a terme tasques i funcionalitats semblants. Normalment, els ciclistes combinen diversos dispositius per complementar la informació enregistrada i així comptabilitzar tots els factors intervinents. Si després de realitzar més prototips, s'aconseguís un dispositiu més precís que els actuals, es podria prescindir d'emprar diversos dispositius per usar-ne només un que aconseguís millor rendiment que la combinació de tots ells. Aquest fet reduiria la quantitat de dispositius i, per

tant, també la necessitat de què cada dispositiu incorpori components que realment podrien ser compartits per tot el dispositiu.

Per exemple, actualment cada dispositiu requereix d'una bateria. Altrament, desenvolupant un únic dispositiu capaç de posseir totes les funcionalitats només requeriria una bateria. És cert que aquesta bateria hauria de ser de més capacitat, però tots els processos i materials associats a la seva fabricació i conformació es redueixen. Succeeix el mateix amb altres components del circuit o cablejat del dispositiu. O fins i tot, reduint components comuns a un de sol. Com podria ser el component que capacita al dispositiu de la connexió amb el telèfon intel·ligent ja sigui Wifi, Bluetooth... En lloc de tenir diversos dispositius, on cada un d'ells hauria de disposar d'un component que executi aquesta tasca.

4.3.6. Viabilitat econòmica.

L'apartat Viabilitat econòmica es recull al document Estudi econòmic. A continuació es mostra el resum i conclusions que es poden trobar en més detall al document adjunt:

Pressupost final

Total Capítol I	16.567,50 €
Total Capítol II	201,05 €
Total Capítol III	230,95 €
<hr/>	
TOTAL	16.999,50 €
IVA 21 %	3.569,89 €
<hr/>	
TOTAL PRESSUPOST	20.569,39 €

L'elaboració del present projecte genera les despeses indicades, sumant un total de vint mil cinc-cents seixanta-nou euros amb trenta-nou cèntims.

Viabilitat

L'índex de cost-benefici supera el 100%, llavors és econòmicament viable. Transcorreguts els primers tres anys s'hauran generat 1.361.073,66€ de benefici.

4.4.Fase 4. Desenvolupament del prototip.

4.4.1. Desenvolupament electrònic.

Abans d'introduir el desenvolupament electrònic del prototip és important entendre el funcionament dels sensors HC-SR04. Estan dissenyats especialment per a la detecció d'objectes i mesurament de distàncies, però s'utilitzaran per emetre i rebre ultrasons i a través del desfasament per acció del vent, determinar la velocitat d'aquest.

Els HC-SR04 funcionen amb una alimentació a 5V, un PIN d'Input anomenat Trigger, un PIN d'Output anomenat Echo i el GND. Primerament, l'Arduino proporciona un pols de 5V d'almenys 10 microsegons al PIN Trigger del sensor. En aquest punt, s'ha rebut el senyal d'activació, que correspon a l'emissió d'un tren de 8 polsos per l'emissor. El tren de polsos viatja per l'aire. Mentre el receptor "espera" la recepció dels 8 polsos. Si no hi ha cap objecte, el tren de polsos no es reflectirà a cap superfície, per tant, no arribarà al receptor (Echo PIN). Si no es rep el senyal després de 38 ms, el receptor retorna a estat LOW. Altrament, si l'ultrasò s'ha reflectit en una superfície, retornarà cap al sensor i el receptor captarà el tren de 8 polsos. Coneixent la velocitat del so (343 m/s en condicions normals) i el temps des de l'emissió fins a la recepció de l'ultrasò, es pot extreure la distància a la qual es troba l'objecte. Tenint en compte que el temps s'ha de dividir entre 2 perquè engloba el temps d'anada i el de tornada.

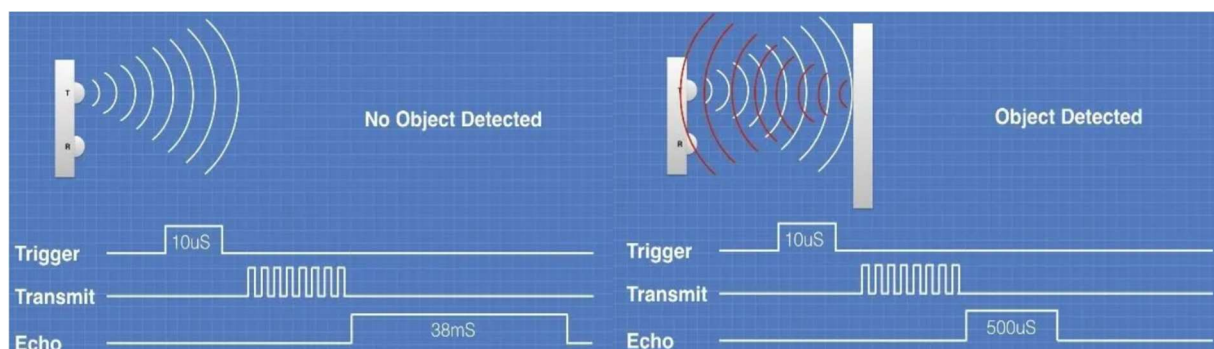


Figura 4.4.1.1. Diagrama de polsos del HC-SR04

El prototip consta de dos sensors ultrasònics HC-SR04 enfrontats. El que es pretén amb aquesta disposició és l'enviament de l'ultrasò d'un sensor i "l'espera" per part del receptor del sensor contrari. S'ha configurat d'aquesta manera perquè si es col·loqués una superfície davant d'un sensor, i se li apliquéssim vent des de la part posterior, el vent afavoriria la

transmissió de l'ultrasò cap a la superfície, però en reflectir-se, el vent aniria en contra de l'ultrasò i en conseqüència seria "frenat". Resultant impossible conèixer quin ha estat l'efecte del vent en aquest ultrasò, ja que hauria afavorit i dificultat la seva propagació. És per aquest motiu que es requereix d'un sistema on l'ultrasò només sigui d'anada i per fer-ho possible es requereix d'un segon mòdul ultrasònic.

Les connexions del circuit són les següents:

L'Arduino s'alimenta d'un port USB de l'ordinador en què es realitzi el visionat de les dades. Aquest, ahora alimenta amb la sortida de 5V als dos sensors. Tots tres elements van connectats a massa (GND). Els dos sensors comparteixen el mateix PIN (6) de TRIGGER perquè el circuit integrat en el mòdul ultrasònic requereix del senyal d'activació per mantenir-se a l'espera de l'ultrasò. El pin Echo del receptor del sensor 1 va connectat al PIN 5 i el pin Echo receptor del sensor 2 al PIN 9.

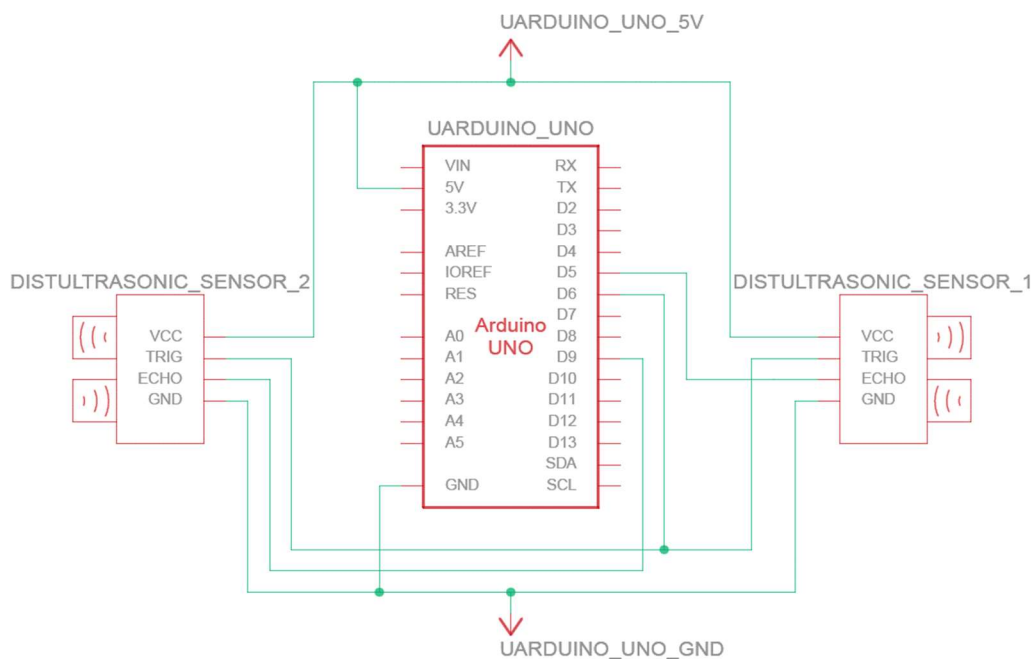


Figura 4.4.1.2. Esquemàtic del circuit electrònic dissenyat amb TinkerCAD

Amb la utilització dels sensors HC-SR04, s'ha aprofitat per doblar les lectures i així millorar la sensibilitat. Mesurant la velocitat del vent a favor i a la contra i prenent el valor absolut d'aquests, s'aconsegueix tenir dos mesuraments en lloc d'un. Després es realitza la mitjana dels valors per tenir només un valor de velocitat. Per dur a terme el muntatge real, s'ha utilitzat una Protoboard per facilitar el connexionat.

4.4.2. Desenvolupament mecànic.

La necessitat de tenir els mòduls ultrasònics enfrontats entre si d'una forma precisa i sense vibracions, s'ha resolt amb la creació d'uns suports. Aquests suports garanteixen una subjecció totalment perpendicular a la seva base, i per això es poden enfrontar emissor-receptor del sensor contrari amb la certesa que es troben paral·lels entre ells, fet rellevant per a la millor transmissió de l'ultrasò, ja que la major intensitat de l'ultrasò es troba en l'eix del cilindre emissor. A més, l'àmplia base fa que el suport sigui estable i subjectable a un banc de tests per evitar que es mogui a causa de l'aplicació de vent durant l'experiment.

El disseny del suport es compon per dos cilindres buits de diàmetre interior igual al diàmetre exterior dels cilindres emissor i receptor. D'aquesta manera, es poden introduir els cilindres en les obertures, subjectant així el mòdul ultrasònic. És important destacar que la disposició del sensor a uns centímetres de la base, facilita la realització de l'experiment per poder aplicar el corrent d'aire d'una forma més còmode i homogènia al voltant dels sensors i que la possibilitat de variar la distància entre els sensors, facilita els diferents escenaris plantejats en l'experiment.

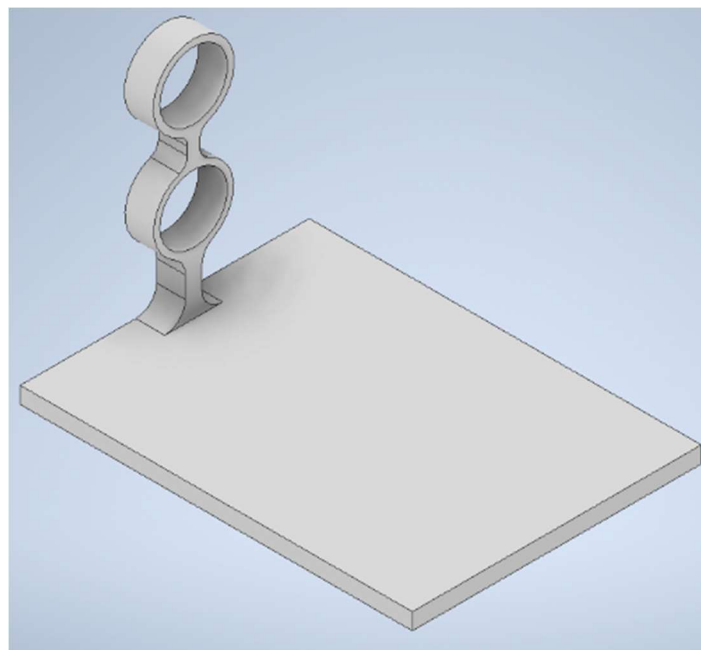


Figura 4.4.2.1. Estructura del prototip dissenyat amb Inventor

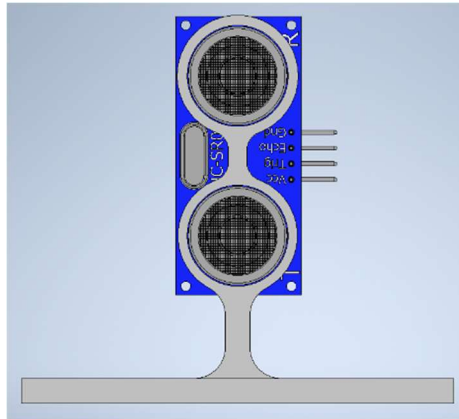


Figura 4.4.2.2. Vista frontal del suport amb el mòdul HC-SR04

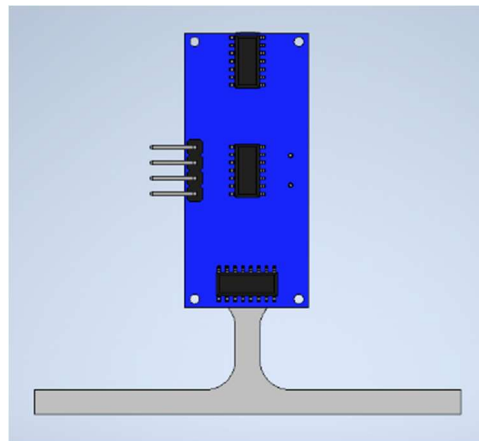


Figura 4.4.2.3. Vista posterior del suport amb el mòdul HC-SR04

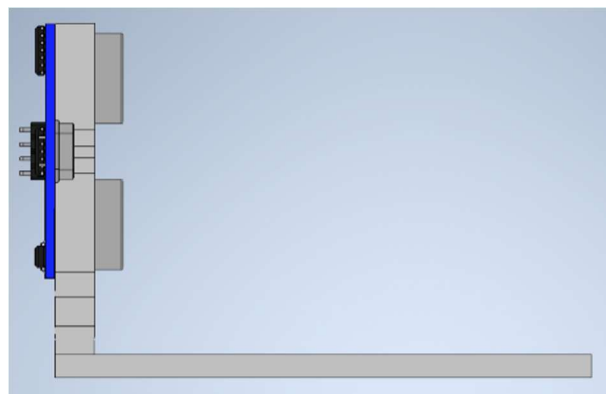


Figura 4.4.2.4. Vista lateral del suport amb el mòdul HC-SR04

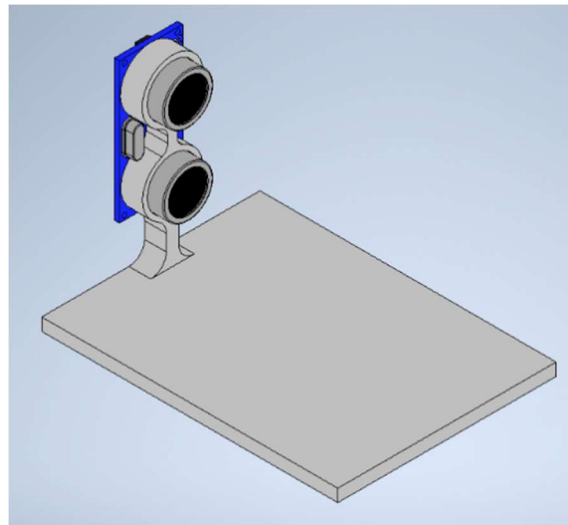


Figura 4.4.2.5. Vista isomètrica del suport amb el mòdul HC-SR04

Un cop finalitzat el disseny dels sensors amb el programa Autodesk Inventor, s'ha procedit a la seva impressió en filament PLA amb la utilització d'una impressora 3D.

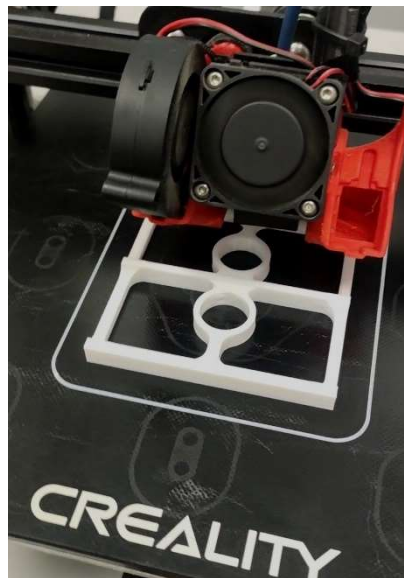


Figura 4.4.2.6. Procés d'impressió en 3D realitzat amb la Ender 3 PRO

Als annexos es troben els plànols dels suports ultrasònics, així com versions prèvies al disseny final.

4.4.3. Programació.

La programació del codi ha estat en l'entorn opensource de desenvolupament integrat, *Arduino IDE*. És una aplicació multiplataforma programable en C i C++, a més de comptar amb llibreries de programació per executar tasques específiques d'una forma més senzilla.

El funcionament del prototip, format principalment per l'Arduino UNO i els dos mòduls ultrasònics HC-SR04, consisteix en la recollida contínua de dades. En iniciar-se el programa, es comencen a prendre mesures del temps que tarda l'ultrasò a viatjar des de l'emissor al receptor. Aquests valors seran semblants, donat que els mòduls es troben separats a una distància que s'ha de mantenir sempre després de l'inici del programa. Les primeres 25 mesures serveixen pel calibratge del dispositiu. En aquest moment no es pot aplicar cap font de vent, donat que pretenen realitzar mesuraments en condicions normals. Un cop s'han obtingut les 25 primeres mesures, es calcula la mitjana d'entre totes elles per obtenir el temps estàndard que triguen els ultrasons a recórrer la distància a la qual es troben els sensors. Finalitzada l'etapa de calibratge, apareix un missatge indicant que el calibratge s'ha completat i, a les mesures que es prenguin en endavant, se li restarà el temps estàndard en condicions normals (sense vent). D'aquesta forma es determina el retard o avanç que ha provocat el vent en la propagació dels ultrasons. Contínuament, es mostren els resultats pel Monitor Serial d'*Arduino IDE*.

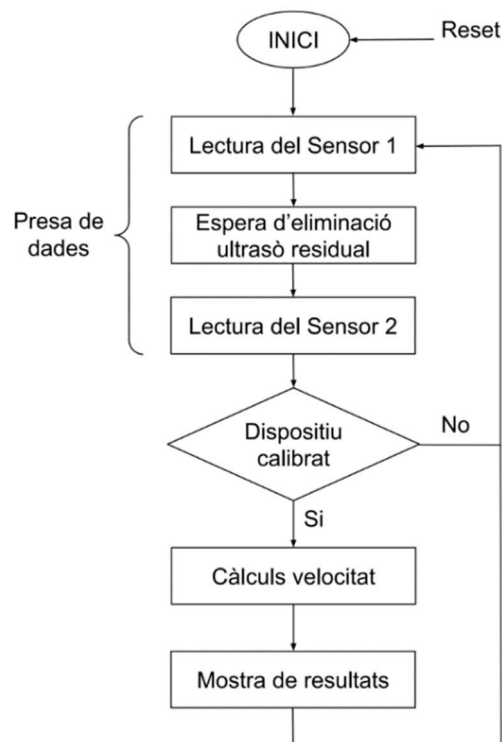


Figura 4.4.3.1. Diagrama de Blocs del funcionament del programa

Als annexos s'adjunta el codi usat per programar l'Arduino i poder realitzar l'experiment. Recordar que la programació s'ha realitzar amb l'objectiu de ser funcional per l'experiment. Per arribar a ser "conceptualment" funcional, s'ha d'incorporar un dispositiu que faci la lectura de velocitat a partir de les revolucions per minut de la roda d'una bicicleta. Amb el valor de la velocitat a la qual es mou la bicicleta, els valors obtinguts pel dispositiu ultrasònic serien de velocitat composta entre la velocitat a la qual es mou la bicicleta i el vent. Per obtenir únicament la velocitat del vent s'hauria de realitzar la resta dels valors de cada dispositiu. D'aquesta manera s'aconsegueix la velocitat del vent tot i estar en moviment sobre la bicicleta. Tal com es cita en l'annex de *Línies futures*, una de les continuacions del projecte seria provar el prototip sobre la bicicleta en moviment i per a aquest escenari cal una modificació del codi elaborat.

Havent fet èmfasi en aquest aclariment, a la *Figura 4.4.3.2.* es mostren les dades de sortida del Monitor Serial d'Arduino IDE.

```

Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 1
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 2
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 3
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 4
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 5
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 6
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1159.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 7
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 8
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 9
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1159.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 10
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 11
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 12
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 13
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1147.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 14
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 15
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 16
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1147.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 17
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 18
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 19
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 20
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 21
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 22
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 23
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 0.00000 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 0.00000 cm Vel.vent: 0.0000000000000000 m/s ===== 0.0000000000000000 km/h 24
Calibratge complet!
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 0.3473815917968750 m/s ===== 1.2505737543106079 km/h 26
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1171.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 1.5343627929687500 m/s ===== 5.5237059593200683 km/h 26
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1167.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 0.3473815917968750 m/s ===== 1.2505737543106079 km/h 26
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 0.2406005859375000 m/s ===== 0.8661621093750000 km/h 26
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 0.2406005859375000 m/s ===== 0.8661621093750000 km/h 26
Temps1: 1135.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 0.2406005859375000 m/s ===== 0.8661621093750000 km/h 26
Temps1: 1139.00 us Distàncial: 38.97440 cm Temps2: 1163.00 us Distància2: 39.90187 cm Vel.vent: 0.3623657226562500 m/s ===== 1.3045165538787841 km/h 26

```

Figura 4.4.3.2. Mostra del Monitor Serial

El número de l'última columna indica la iteració del programa. En arribar a 25, el dispositiu ja està calibrat i mostra el missatge "Calibratge complet!". Les 25 primeres iteracions es pren el valor de *Temps 1* i *Temps 2* que són els TOF de cada sensor respectivament. Com s'observa, són valors força pròxims i sovint es repeteixen. En arribar a 25 iteracions, es realitza la mitjana de tots els valors de *Temps 1* i *Temps 2* i es calcula la distància a què es troben els sensors segons els temps que ha captat cada sensor. La *Distància 1* i *Distància 2* sempre seran

valors molt pròxims, ja que estan mesurant la mateixa distància, però cada sensor té la seva petita tolerància de funcionament. Arribat a la iteració 26, el número d'iteració es manté. Llavors es procedeix a calcular el valor de la velocitat del vent en m/s i km/h amb els temps *Temps 1* i *Temps 2* que es continuen mesurant aplicant la resta als valors obtinguts del calibratge. En aquesta mostra no s'aplica vent, tanmateix, sí que es mostren petits valors de velocitat. Aquest comportament és inevitable degut a la tolerància i sensibilitat dels mòduls HC-SR04. Als comentaris del codi es tracta aquest aspecte.

4.5.Fase 5. Experimentació i resultats.

4.5.1. Procediment de l'experiment.

L'experiment per la validació del prototip consisteix a aplicar diferents velocitats de vent i comparar aquests valors esperats amb els valors que mesura l'anemòmetre ultrasònic dissenyat. Repetir l'aplicació de les mateixes velocitats de vent per a una distància diferent de separació dels sensors ultrasònics.

Els valors de velocitat de vent escollits per realitzar l'experiment van dels 5 km/h, amb un augment esglaonat de 10 km/h, fins als 55 km/h. El motiu dels valors d'aquest rang és pel motiu que és molt difícil pedalejar a una velocitat inferior a 5 km/h, per tant, no és d'interès la mesura de valors inferiors. Els 55 km/h són definits per la limitació de l'assegador a l'hora de generar el vent. Tot i que ja es cobreix un rang suficient per experimentar el comportament del prototip, en experiments futurs caldrà arribar a velocitats de fins a 90 km/h per fet que els ciclistes poden arribar a aquests valors en descensos prolongats i és d'interès poder tenir un rang de treball que cobreixi tot el rang de velocitat a la qual poden arribar els ciclistes. Els valors de separació entre els mòduls aniran des dels 25 cm als 150 cm. Aquest rang ha sigut escollit per la primera prova amb el prototip fallit, aquest comptava amb una separació entre els sensors de 8,5 cm. En experimentar la insuficiència de separació per tenir mesures acceptables, es va escollir partir des dels 25 cm fins a valors més alts. Per poder determinar si la distància entre els sensors realment condiciona el seu funcionament.

Els passos per a la realització de l'experiment són els següents:

1. Col·locar els mòduls enfrontats entre si, tan alineats com sigui possible a una distància de 25 cm de separació. Mantenir l'espai i voltants que ocupa el prototip lliure d'objectes o que interposin el canal de transmissió de l'ultrasò.
2. Connectar la placa Arduino a un ordinador amb el programa Arduino IDE instal·lat.
3. Carregar el codi a l'Arduino i obrir el Monitor Serial del programa per poder visualitzar les dades que es van recollint.
4. Esperar fins que el sistema ultrasònic estigui calibrat. En aquest procés és molt important no situar-se a prop del sistema ni realitzar moviments per evitar corrents d'aire, ja que el que es pretén és aconseguir un reconeixement de l'ambient en condicions normals (sense vent).

5. Un cop calibrat, es pot endollar l'assecador i amb l'ajut de l'anemòmetre digital, determinar la distància a la qual s'ha de situar l'assecador darrere del sensor 2 per tenir una lectura de velocitat de vent de 5 km/h a 20 cm per davant del sensor 2. Els 20 cm de separació són definits a través de la investigació empírica a quina distància el vent passa rodejant el mòdul ultrasònic 2 i torna a tancar-se l'estela de vent.
6. Un cop es conegui la distància de separació de l'assecador es retira l'anemòmetre digital de la trajectòria de l'ultrasò i es procedeix a realitzar la lectura.
7. Aplicar el flux de vent i esperar uns 5 segons perquè el sistema s'equilibri i comenci a donar el valor de velocitat de vent que és capaç de mesurar.
8. Anotar el valor de la velocitat del vent que apareix al Monitor Serial per poder analitzar posteriorment els resultats.
9. Incrementar la velocitat de vent a generar amb l'assecador en 10 km/h.
10. Realitzar els passos 5-9 fins a arribar a la generació de vent de 55 km/h amb l'assecador.
11. Incrementar la distància de separació entre els mòduls ultrasònics en 25 cm.
12. Realitzar els passos 5-11 fins a finalitzar realitzant la mesura de 55 km/h de vent a una distància de 150 cm entre els mòduls.

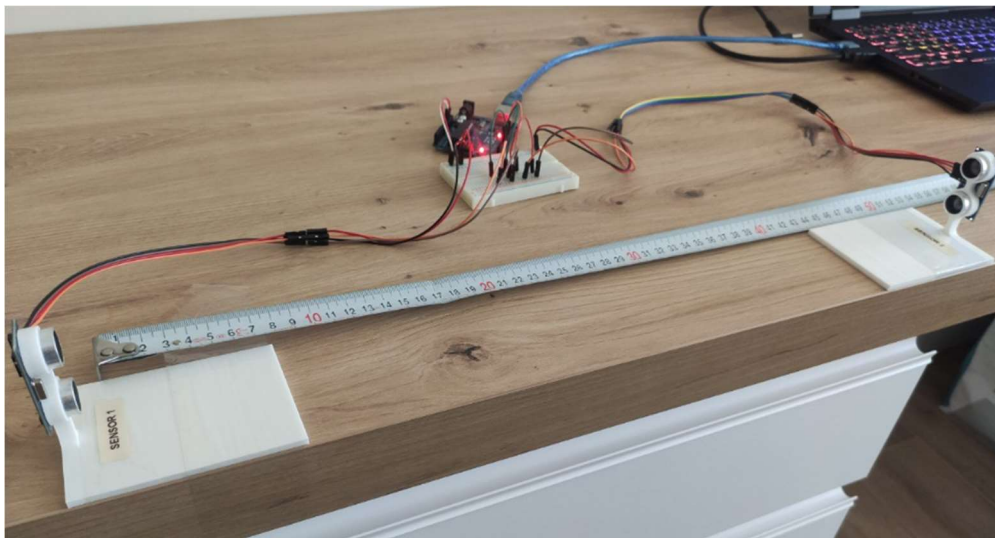


Figura 4.5.1.1. Realització de l'experiment, configuració a 50 cm

4.5.2. Anàlisi de resultats.

Després d'haver anotat tots els valors de velocitat de vent a mesurar (6 velocitats de vent x 6 distàncies de separació = 36 valors anotats), es procedeix a elaborar gràfiques amb els valors obtinguts per poder comparar amb les velocitats de vent aplicades i les que realment s'han obtingut amb el prototip.

Es representen els valors experimentals amb Microsoft Excel, es confeccionen 6 gràfiques de la mateixa estructura però per a les diferents distàncies experimentades. En les gràfiques elaborades apareix en el títol la distància entre mòduls que s'està experimentant, en l'eix de les ordenades la velocitat en km/h i en l'eix de les abscisses els mesuraments.

Mesurament	Velocitat associada
1	5 km/h
2	15 km/h
3	25 km/h
4	35 km/h
5	45 km/h
6	55 km/h

Taula 4.5.2.1. Velocitat de vent associada a cada mesurament

A la part inferior de cada gràfica es mostren els valors representats. En color violeta es representa la recta ideal dels valors esperats de velocitat. Aquesta recta és la que s'obtindria si els mesuraments del prototip i les condicions fossin perfectes. En color magenta es representen els valors obtinguts. A aquesta corba de funcionament se li ha afegit també la seva línia de tendència i l'equació i coeficient de correlació que la defineixen. Sabent que la correlació dels valors esperats és perfecte i igual a 1 (ja que l'increment de velocitat és sempre el mateix valor, 10 km/h). D'aquesta manera es pot comparar fàcilment si la línia de tendència guarda la mateixa proporcionalitat en les mesures.

A continuació es mostren les 6 gràfiques de cada distància experimentada i les velocitats obtingudes en cada una d'elles:

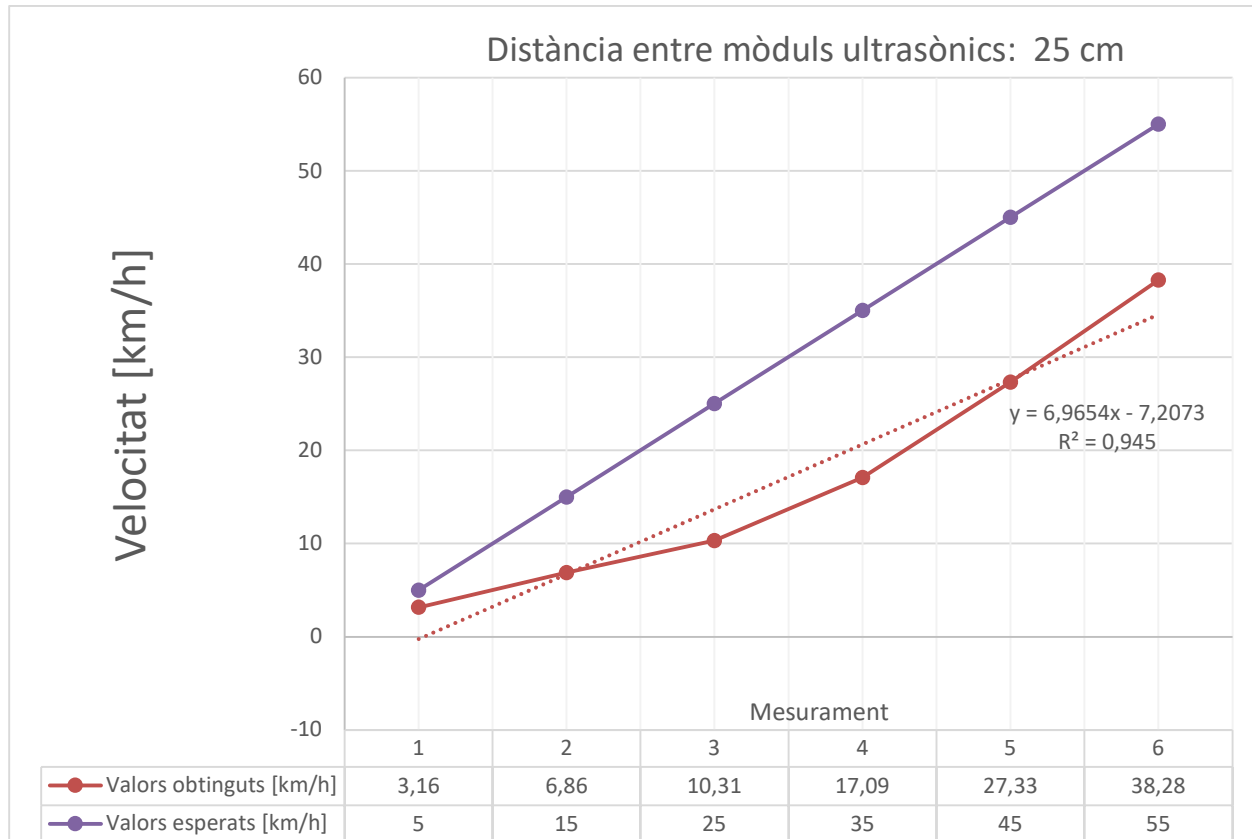


Figura 4.5.2.1. Gràfica de comportament del prototip a 25 cm

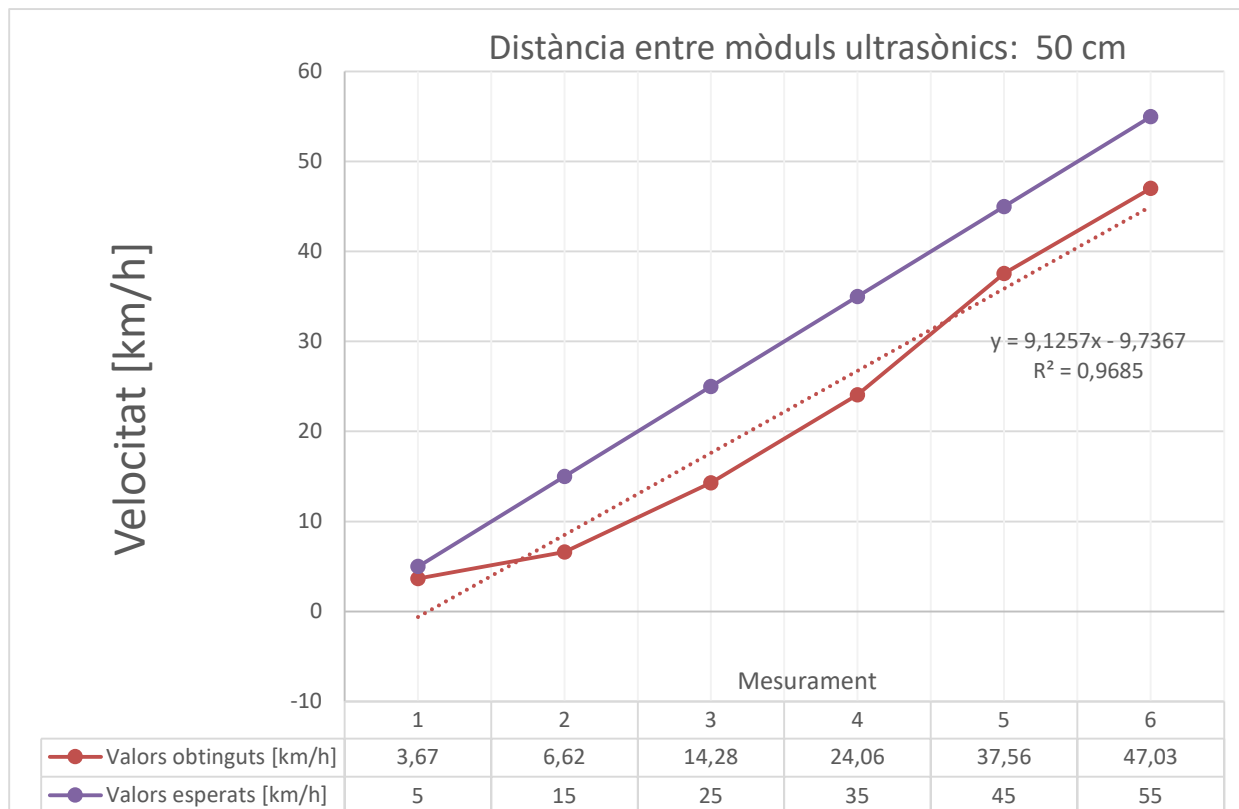


Figura 4.5.2.2. Gràfica de comportament del prototip a 50 cm

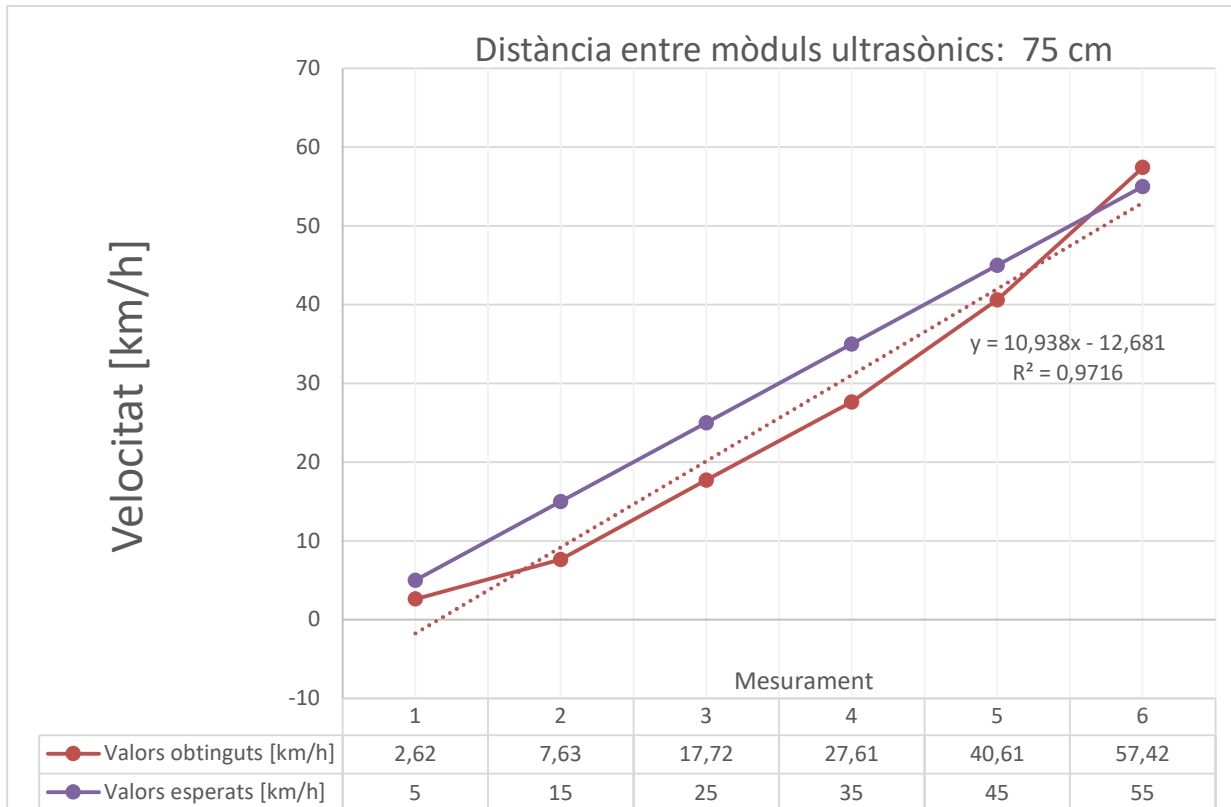


Figura 4.5.2.3. Gràfica de comportament del prototip a 75 cm

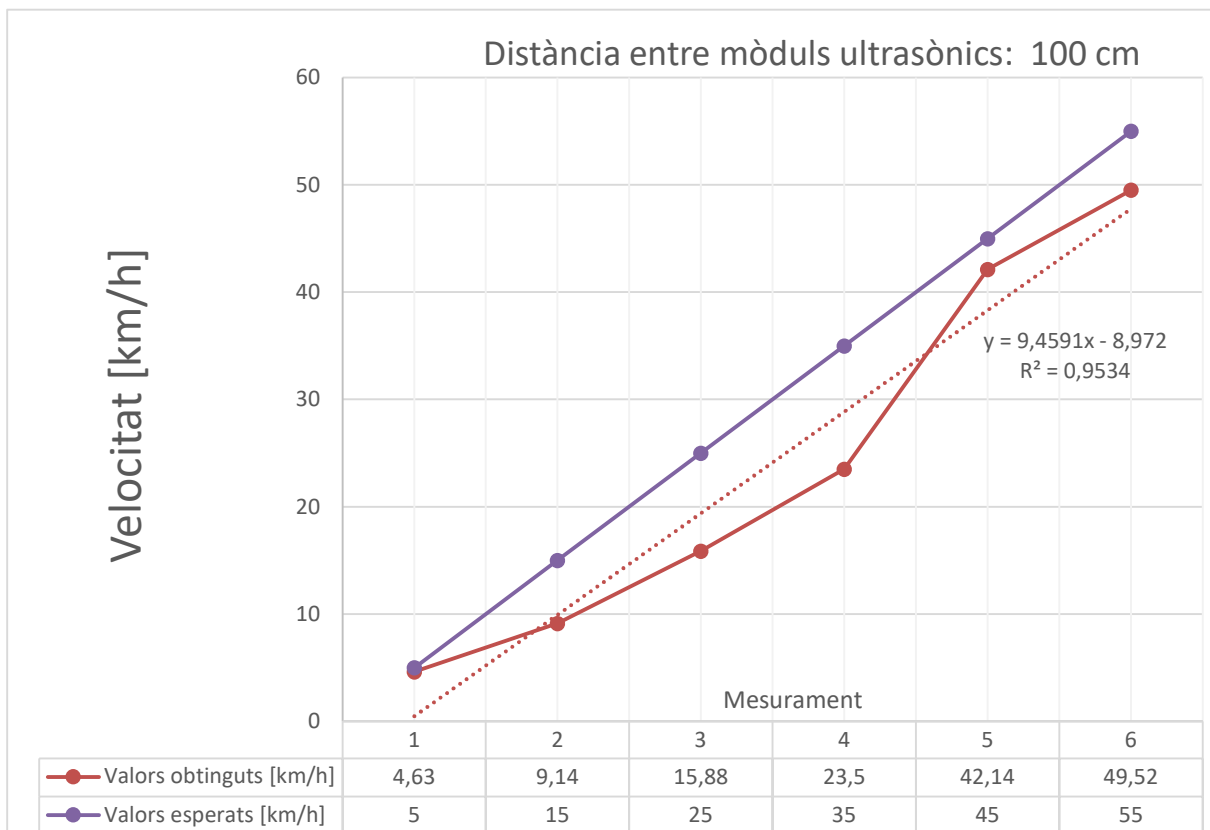


Figura 4.5.2.4. Gràfica de comportament del prototip a 100 cm

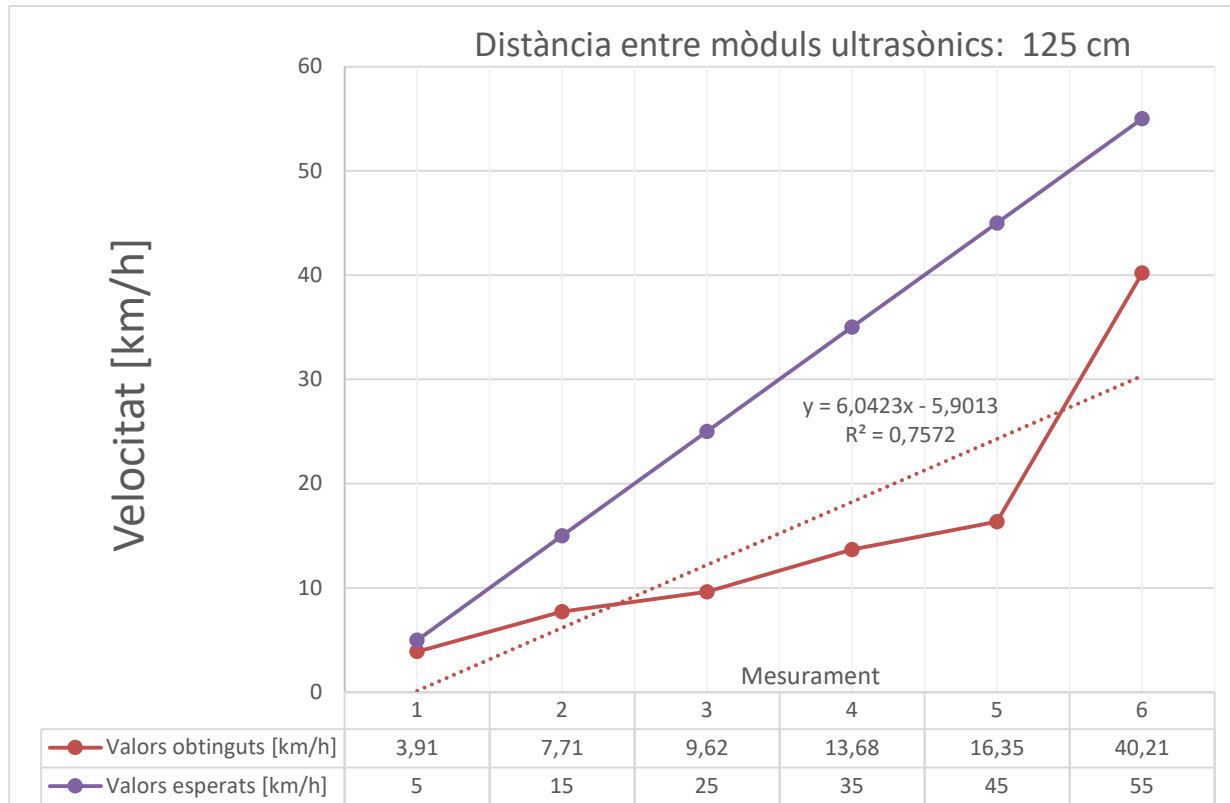


Figura 4.5.2.5. Gràfica de comportament del prototip a 125 cm

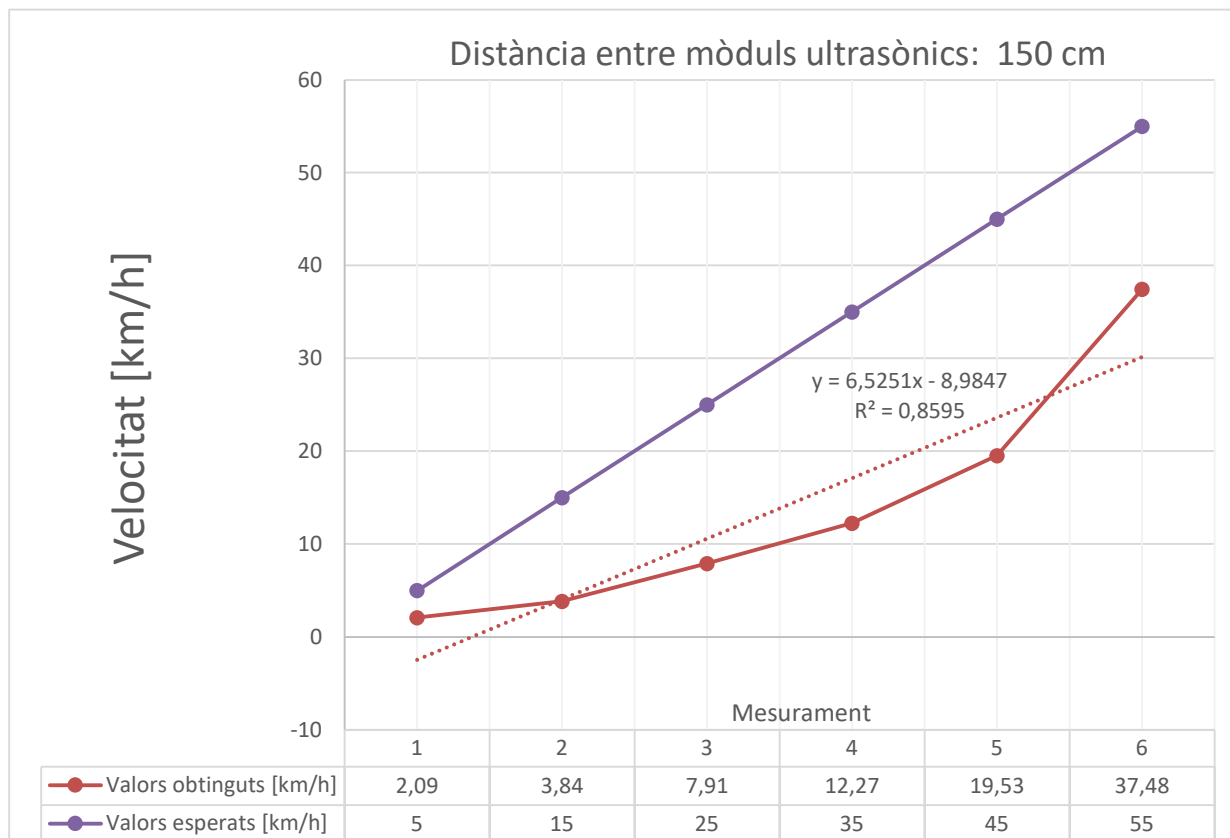


Figura 4.5.2.6. Gràfica de comportament del prototip a 150 cm

Les **observacions i conclusions** extretes després d'analitzar i comparar els diferents comportaments segons la distància de separació dels sensors són:

1. En totes les configuracions, la corba de mesuraments es troba per sota de la recta de valors esperats. Això indica que hi ha algun factor que influeix a que els sensors prenguin valors inferiors a les velocitats de vent que s'estan aplicant. Pot ser que sigui derivat a la difusió del vent i el flux turbulent que es crea. Una solució seria implementar una peça amb forma d'embut o tovera per concentrar el vent en el centre del sensor i així aconseguir unes menors pèrdues i un flux més laminar.
2. La configuració que dona millors resultats pel que fa a l'equilibri i estabilitat és la de 75 cm de distància entre mòduls, el seu coeficient de correlació és de 0,9716 el que significa que es mantenen força les proporcionalitats en les mesures, per tant, un funcionament equilibrat. Seguit per la configuració a 50 cm i 100 cm. El fet de comptar amb coeficients de correlació tan pròxims a 1 resulta positiu per la raó que es pot aproximar la recta de tendència a la recta ideal a través de calibratges i addicionant constants als càlculs del programa.
3. Sobretot en les configuracions 125 cm i 150 cm s'observa una mala capacitat per mesurar velocitats, es pot veure en el seu coeficient de correlació i separació de la recta ideal. Però s'aprecien millors mesuraments a la velocitat de 55 km/h. Pot ser degut a la falta de repercussió del vent en l'efecte dels ultrasons. Molt previsiblement aquestes configuracions tinguin millor precisió de mesurament (per tant, millor rendiment) a velocitats superiors que no s'han pogut experimentar. Aquest comportament denota una insuficiència de lectura en els sensors a una distància massa elevada, la qual cosa tampoc és rellevant, ja que es pretén aconseguir un dispositiu compacte. També es pot extreure que en la configuració de 25 cm ni tan sols s'aconsegueix un millor resultat en l'aplicació dels 55 km/h. Es deu a la poca distància que hi ha entre els sensors, l'efecte del vent no crea un desfasament de temps en el viatge de l'ultrasò com per tenir una bona lectura. Llavors, la configuració de 25 cm hauria de ser plantejada per aplicacions on hi hagi velocitats de vent molt superiors i d'aquesta manera pugui influir en el desfasament de temps de l'ultrasò.
4. Amb una separació de 75 cm i 100 cm s'obtenen els millors resultats referent a l'error que es comet en les mesures, ja que l'àrea entre la recta i la corba són menors

a altres configuracions. A mesura que es separen els sensors, l'àrea entre recta i corba augmenten. I en el cas contrari, les configuracions on s'apropen els sensors, les de 50 cm i 25 cm, també s'incrementa l'àrea compresa entre recta i corba. Aquest fet es deu al fenomen de la separació insuficient com per tenir un desfament apreciable o a les turbulències, comentat en el punts 1 i 3.

5. Tenir un bon coeficient de correlació no indica un bon funcionament, simplement indica un funcionament equilibrat i estable a diferents velocitats. Per saber si presenta un bon funcionament s'ha d'observar l'àrea que queda entre la corba i la recta ideal. Aquesta àrea explica l'error de mesurament que es comet.

Per tenir una representació de l'error de mesurament i poder comparar els errors en totes les configuracions, s'ha realitzat el càlcul de l'error comès en totes les mesures respecte als valors esperats. A continuació es mostra la gràfica d'Error de mesurament de totes les configuracions, en l'eix de les ordenades el percentatge d'error en % i en l'eix de les abscisses els mesuraments:

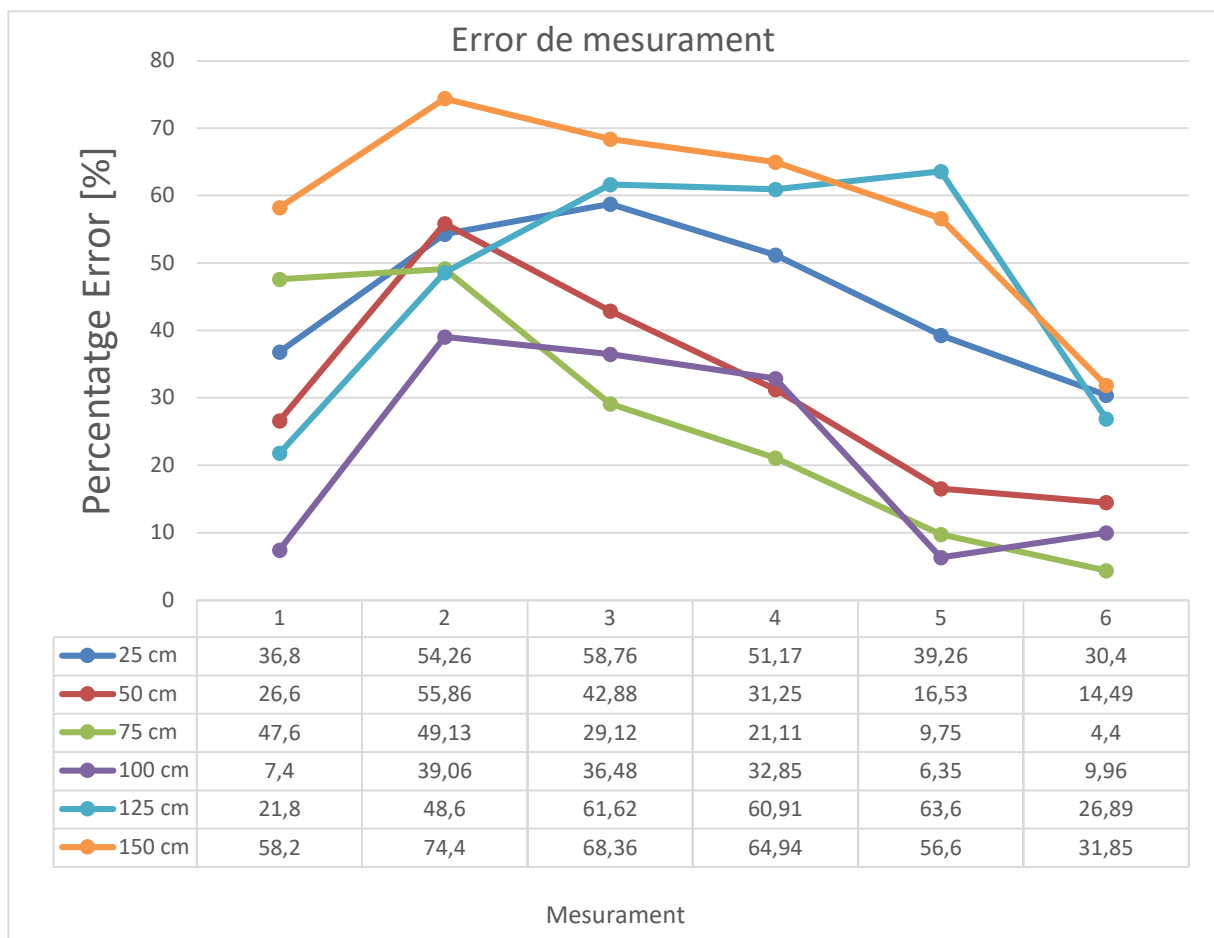


Figura 4.5.2.7. Gràfica comparativa d'error a diferents distàncies

Si es calcula la mitjana de tots els percentatges d'error per a cada configuració de distància, s'obtenen els valors següents:

Distància sensors	Error global
25 cm	45,108 %
50 cm	31,268 %
75 cm	26,852 %
100 cm	22,016 %
125 cm	47,236 %
150 cm	59,058 %

Taula 4.5.2.2. Error global associat a cada distància

De la gràfica i taula anteriors es poden extreure les **lectures i conclusions** següents:

1. Sobre la *Taula 4.5.1.2.* es pot extreure que la configuració de distància amb menys error és la de 100 cm amb un 22,016% (també demostrable per ser la menor àrea sota la seva corba), seguit de la distància de 75 cm amb 26,852%. Tal com es comenta en els punts anteriors, el valor del coeficient de regressió no implica tenir un menor error sinó unes dades més equilibrades i proporcionals. El coeficient de regressió dels 100 cm és inferior al dels 75 cm, però amb l'error succeeix al contrari. Aquest fet també es pot atribuir al baix error de mesura que es té a la velocitat de 5 km/h, un valor molt petit el qual una petita variació de mesura pot variar molt en error. Aleshores, els 75 cm seria la millor configuració tant en equilibri i proporcionalitat de dades i en error comès.
2. Es poden veure clarament 2 grups. El grup de les configuracions amb més i menys distància (25 cm, 125 cm i 150 cm) i el grup amb les configuracions amb distàncies més centrades (50 cm, 75 cm i 100 cm). El primer grup mostra un error més gran en gairebé totes les velocitats de vent respecte del segon grup. És la mateixa conclusió que es pot extreure de la *Taula 4.5.2.2.*, l'error en 25 cm és alt i va decreixent a mesura que s'allunyen els sensors fins que a partir del 100 cm, la separació dels sensors llavors es transforma en creixent. Es reafirma el comentat anteriorment, és contraproductiu una distància massa propera entre els sensors a causa de la poca efectivitat del vent per generar el desfasament de temps en l'ultrasò. I també és contraproductiu allunyar massa els sensors per les turbulències que es creen en el flux d'aire.

Així doncs, com a **conclusions finals** de l'experimentació es pot afirmar que:

1. L'experiment ha complert amb la seva comesa de validar o no el funcionament del prototip. Els valors obtinguts han servit per comprendre el funcionament del sistema mostrant el seu grau de precisió, punts forts i punts febles.
2. No es té el mateix comportament en totes les configuracions de distància. Llavors, aquest factor és determinant pel seu funcionament. Cal tenir en compte aquest factor en experimentacions futures.
3. Les millors configuracions són les de 75 cm i 100 cm, així doncs, amb aquest prototip es pot concloure que no és viable incorporar-lo directament en una bicicleta. S'ha de realitzar un procés de redisseny de components, estructural i de programació amb la finalitat d'aconseguir unes dimensions més raonables, el màxim de separació hauria de ser entorn els 15 cm. Aquestes dimensions serien viables per incorporar al manillar o quadre de la bicicleta.
4. No s'obtenen uns valors de mesurament acceptables. Els errors de mesura són excessivament elevats tenint en compte quina és la finalitat de l'aplicació d'aquest anemòmetre ultrasònic i la precisió que es demanda. Per contextualitzar, el dispositiu PowerPod té un error de mesura del 2% i en aquest experiment s'ha aconseguit un 22,016% en el millor dels casos.
5. Considerant que els sensors HC-SR04 han estat dissenyats per mesurar distàncies, tenen un comportament força acceptable en termes de coeficient de correlació obtinguts. Per tant, es podria arribar a millorar molt el comportament de mesurament si es calibrés i afegissin constants per reajustar les equacions del codi.
6. El sistema mesura d'una forma molt inestable. Després del calibratge, tot i no aplicar cap font de vent, es mostren valors de velocitat d'entre 1-5 km/h. Aplicant una font d'aire el sistema és capaç de detectar la variació d'una velocitat de vent a una altra, però sovint es mostren valors atípics. S'hauria de minimitzar aquest aspecte.

5. Patents i propietat intel·lectual.

5.1. Patents.

L'empresa Velocomp LLP , creadora del potenciòmetre PowerPod, posseeix una patent a Justia Patents [39]. La patent registrada és la següent:

Títol: *“Aparell per mesurar la força total en oposició a un vehicle en moviment i el mètode de funcionament.”*

Número de publicació: 20070068273, 17 de juny de 2008 per Glen B. Cunningham.

Resum: “Es descriu un aparell que comprèn un conjunt de sensors per mesurar la pressió estàtica i dinàmica instantània i la velocitat i l'acceleració d'un vehicle, com ara una bicicleta. Un microprocessador rep dades dels sensors i calcula la potència consumida pel conductor o una altra font d'energia en trobar el total de totes les forces que incideixen sobre el vehicle i el conductor, i després multiplicat per la velocitat del vehicle terrestre. En algunes realitzacions, la precisió es millora mitjançant tècniques de calibratge, entrada de dades per part de l'usuari o compensació de temperatura de certs factors. Es poden presentar a l'usuari altres dades, com ara la velocitat del vent, la distància recorreguda, l'altitud o el grau de la superfície. En una realització, les dades s'emmagatzemen per a una anàlisi posterior.”

Aquesta patent és la d'un producte especialment dissenyat pel seu ús en el ciclisme. En la seva descripció no s'especifica cap tecnologia ultrasònica per realitzar els mesuraments que es citen. Per tant, per definició, la patent no contempla un prototip com l'ideat.

Per altra banda, si que existeixen patents que recullen la idea d'un dispositiu descrit com a anemòmetre que mesura la velocitat i direcció del vent a partir d'ultrasons [40]-[42]. Aquest concepte és el mateix que s'utilitza en aplicacions com en meteorologia, ja esmentat en el projecte. Totes elles no especifiquen que el dispositiu pot ser muntat en un objecte mòbil i que a partir de la velocitat del vent en contra, es calculi la velocitat del mòbil. En conseqüència, tampoc contemplaria un prototip com l'ideat.

També hi ha patents que podrien entrar en conflicte amb el prototip ideat, però les patents resten pendents d'aprovació. [43]

Finalment, no s'ha trobat cap patent en vigor que pugui contemplar o descriure el prototip ideat. Seria convenient realitzar un estudi més extens per professionals del sector, però a priori, el concepte podria resultar viable si es compleixen uns estàndards de qualitat en el seu propòsit.

5.2. Propietat intel·lectual del projecte.

L'autor del present projecte l'ha classificat segons *Creative Commons* com a projecte amb llicència **CC BY-NC-SA** (Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual). [44]

Creative Commons Attribution-NonComercial-ShareAlike 4.0 International Public License



6. Perspectiva de gènere.

El projecte desenvolupat tracta sobre l'estudi del vent en el ciclisme i la creació d'un prototip pel mesurament d'aquest. Es tracta d'un estudi on no s'ha utilitzat variables físiques dels ciclistes. Aleshores, es pot afirmar que el projecte, com a fase inicial, no s'ha hagut de tenir en compte cap aspecte extern que faci referència als usuaris. Només es pretén el mesurament de la velocitat del vent. Per a fases futures, caldrà tenir en compte aspectes físics dels usuaris potencials. Acotar paràmetres rellevants com: el pes, l'alçada, la superfície frontal o la postura mentre es pedaleja... Gràcies a aquestes acotacions es podrà determinar si és un producte neutre en termes de perspectiva de gènere, així com l'edat d'ús o qualsevol altre factor que pugui influir en la seva utilització. En tot cas, sempre es pretindrà la igualtat entre tots els usuaris, garantint la mateixa funcionalitat i practicitat.

Tota la redacció del projecte entén com al col·lectiu “ciclistes” tant a esportistes masculins com femenins.

7. Impacte mediambiental.

Tal com s'ha comentat en l'apartat de Viabilitat Mediambiental, el projecte no ha resultat d'un gran impacte mediambiental. La quantitat d'elements utilitzats en el prototip no és elevada i tots garanteixen el compliment de requisits per l'obtenció del Certificat Europeu (CE).

El consum energètic de l'ordinador i l'espai de treball on s'ha dut a terme el projecte és força baix. No s'han dut a terme activitats que puguin perjudicar quantitativament el medi ambient.

Respecte al consum dels components que formen el prototip també és irrellevant. La placa de programació Arduino UNO té un consum de 46mA i cada sensor HC-SR04 en té un de 15mA amb una alimentació de 5V. És convenient comentar que el consum elèctric durant la fase d'experimentació tampoc ha sigut molt elevat, però que ha servit com a precedent per posar el focus en el sistema amb què es genera el vent. En aquest cas el consum energètic d'un assecador no és molt elevat si es contextualitza, però en futurs experiments, s'ha d'analitzar consum o possibles efectes sobre la utilització d'un túnel de vent o altres sistemes per a la generació del vent.

La impressió 3D mitjançant PLA és una bona opció per la baixa quantitat d'energia requerida en comparació amb altres alternatives. El prototip inicial fallit ha de rebutjar-se en el contenidor orgànic, ja que el PLA és àcid polilàctic (extret del midó del blat de moro) i, per tant, és compostable. No s'ha de rebutjar reciclant-lo en el contenidor groc, pel fet que dificulta el reciclatge del PET (Polietilè Tereftalat). Veure la norma "*Determinació de la biodegradabilitat aeròbica final de materials plàstics en condicions de compostatge controlades*" **UNE-EN ISO 14855-2:2019**. [45]

La utilització de programes i la mateixa elaboració de la memòria i documents suplementaris, ha tingut un baix impacte, ja que s'ha utilitzat un ecosistema virtual que estalvia la generació de documents impresos a paper. A més, són eines que es poden amortitzar molt millor en futurs projectes.

8. Conclusions.

A la fase de cerca d'informació s'ha demostrat la importància i l'impacte que té el vent en el ciclisme a través d'antecedents i equacions que així ho confirmen. S'ha explicat una sèrie de dispositius que tracten la recollida de dades per extreure informació a partir d'aquestes, però alhora la mancança del mesurament de factors tan importants, com és el vent, que no han estat el factor objectiu tot i representar un paper crític.

La realització d'un estudi dels punts forts i febles de les propostes actuals ha permès la ideació d'un concepte nou en el sector de la bicicleta consistint en la importació de la tecnologia ultrasònica que s'utilitza en altres camps que possibilita una nova forma de mesurament de dades en el ciclisme.

Després de comprovar la viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental, s'ha procedit al seu prototipatge per sotmetre'l a un experiment i extreure'n conclusions.

Respecte als objectius del projecte:

1. No s'ha pogut determinar la viabilitat d'ús dels ultrasons per mesurar la velocitat de la bicicleta però sí per mesurar la velocitat del vent en un dispositiu estàtic. Els resultats han mostrat que és una aplicació inviable amb el prototip proposat, però hi ha factors que argumenten una possible viabilitat si es milloren alguns aspectes. Respecte al subministrament energètic, amb el prototip proposat s'ha observat que no es requereix molta energia per poder-lo alimentar, ja que els components funcionen amb una alimentació de 5 V i pocs mA, però caldria valorar aquest aspecte en els prototips futurs.

2. El temps disposat ha sigut insuficient per incorporar més sensors al prototip, no obstant, cal explicar que s'han pogut considerar alguns factors sense la necessitat d'afegir més sensors. Gràcies a la fase de calibratge, ja es tenen en compte aquests factors ambientals. Per tant, en l'experimentació realitzada hi ha un estalvi del sensor de temperatura i d'humitat donat que en la fase de calibratge ja són factors que no influeixen, però en un dispositiu muntat a la bicicleta sí que és beneficiós incorporar-los. En el cas de la temperatura, a 0 °C la velocitat del so és de 331 m/s i a 20°C és de 343 m/s, només hi ha un augment del 4% en un increment de 20 °C. Aleshores, no és un factor molt influent, però convé tenir-lo en compte per aconseguir la màxima precisió possible donat que els resultats no han sigut satisfactoris. S'ha assolit

determinar la velocitat del vent amb molt poca precisió (error del 22,016%), però a causa del temps i de la complexitat d'afegir i coordinar més sensors, no ha estat possible arribar a determinar la direcció del vent. Seria molt interessant assolir aquest objectiu en futures versions pel gran salt quantitatiu i qualitatiu dels mesuraments, ja que aquest concepte no està present en cap alternativa física.

Amb l'experiment s'ha comprovat que el funcionament de l'Arduino és suficient per gestionar les dades, pel fet que treballa a 9600 bauds que són aproximadament 1,042 segons entre valors de sortida del Monitor Serial. El microcontrolador de l'Arduino ha donat un rendiment òptim perquè són lectures progressives que es repeteixen en el temps. No és una aplicació en la qual la resposta en temps real sigui crítica.

Contextualitzant el preu dels sensors i els resultats obtinguts, és molt probable que amb una inversió d'uns sensors ultrasònics amb millors prestacions (preferiblement dissenyats per a aquest tipus d'aplicacions) s'aconsegueixin uns resultats molt millors. El marge pressupostari per a la inversió calculat a l'estudi econòmic és d'un màxim de 150 €. Considerant que el parell de sensors emprat ha suposat un cost d'uns 4 €, es disposa d'un ampli marge per seleccionar uns sensors millors i que s'adeqüin al propòsit de l'aplicació del dispositiu assolint uns errors de mesurament similars als de la competència (2%). Per assolir resultats més satisfactoris i propers als objectius, és imprescindible invertir en uns sensors ultrasònics de millors prestacions.

Com a conclusió final es pot afirmar que l'error de mesurament experimentat no correspon a la base teòrica del funcionament ni d'execució del prototip plantejat sinó al pressupost destinat per a la seva realització. Els sensors ultrasònics són capaços de prendre mesures de velocitat molt més elevades de les que s'han experimentat, però la precisió i estabilitat no són suficients per a aquesta aplicació.

9. Referències.

- [1] My Wind Sock, *My Wind Sock APP webpage*,
[<https://mywindsock.com/>]
- [2] Ciclismo y Rendimiento, *Guía para empezar a entrenar con potenciómetro*,
[<https://www.ciclismoyrendimiento.com/guia-para-empezar-a-entrenar-con-potenciometro/>]
- [3] RFEC Real Federación Española de Ciclismo, *Las claves del entrenamiento por vatios*,
[https://rfec.com/es/smartweb/universo_ciclista/articulo/rfec/36-Las-claves-del-entrenamiento-por-vatios]
- [4] Wikipedia, *Ciclocomputador*,
[<https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclocomputador>]
- [5] Bike Exchange, *Todo lo que Necesitas Saber Sobre los Ciclocomputadores*,
[<https://www.bikeexchange.com.co/blog/guia-definitiva-ciclocomputadores>]
- [6] Merkabici, *¿Merece la pena Comprar un ciclocomputador?*,
[<https://merkabici.es/blog/merece-la-pena-comprar-un-ciclocomputador/>]
- [7] Ciclismo Epico, *Los mejores sensores de Ciclismo para Garmin y otras marcas de ciclocomputadores*,
[<https://ciclismoepico.com/ciclocomputadores-gps/sensores/>]
- [8] BikeAnalytics, *Los mejores potenciómetros para ciclismo y MTB*,
[<https://bikeanalytics.com/potenciometro-ciclismo/>]

- [9] Road.cc, *Cycling App of the week: myWindsock*,
[<https://road.cc/content/tech-news/221571-cycling-app-week-mywindsock>]
- [10] HeadWind APP, *HeadWind APP webpage*,
[<https://headwindapp.com/>]
- [11] Klimat APP, *Klimat APP webpage*,
[<https://klimat.app/>]
- [12] Planeta Triatlon, *¡Por fin! Una aplicación para Strava que tiene en cuenta el viento en contra*,
[<https://www.planetatriatlon.com/fin-una-aplicacion-strava-cuenta-viento/>]
- [13] Road.cc, *Free Headwind app provides visualisation of wind conditions and ride difficulty rating*,
[<https://road.cc/content/tech-news/free-headwind-app-provides-visualisation-wind-conditions-273403>]
- [14] YouTube, *Velocomp PowerPod introduction*,
[<https://www.youtube.com/watch?v=jY-HDNaALyA>]
- [15] YouTube, *AeroPod overview TT*,
[https://www.youtube.com/watch?v=BI_w7MZOagk]
- [16] Velocomp, *Velocomp webpage*,
[<https://velocomp.com/>]
- [17] ForoCarreteros, *Potenciómetro PowerPod*,
[<http://www.forocarreteros.com/foro/Tema-Potenci%C3%B3metro-Powerpod>]

- [18] Ciclismo a fondo, *Prueba: Medidor de potencia PowerPod*,
[https://www.ciclismoafondo.es/material/pruebas-material-ciclismo/prueba-medidor-de-potencia-powerpod_41318_102.html]
- [19] Bike Analytics, *PowerPod V3: los sensores en el manillar*,
[https://bikeanalytics.com/potenciometro-ciclismo/#PowerPod_V3_los_sensores_en_el_manillar]
- [20] Ofertas Ciclismo, *PowerPod es el medidor de potencia del futuro*,
[<https://ofertasciclismo.es/medidor-potencia-powerpod/>]
- [21] DC Rainmaker, *PowerPod in depth review*,
[<https://www.dcrainmaker.com/2016/03/powerpod-depth-review.html>]
- [22] Xataka, *Ciclismo a 54 km/h sin pedalear: la ciencia que explica las propiedades aerodinámicas del pelotón*,
[<https://www.xataka.com/investigacion/ciclismo-54-km-h-pedalear-ciencia-que-explica-propiedades-aerodinamicas-peloton-1>]
- [23] Wikipedia, *Pelotón (ciclismo)*,
[[https://es.wikipedia.org/wiki/Pelot%C3%B3n_\(ciclismo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Pelot%C3%B3n_(ciclismo))]
- [24] Steve Gribble, *The computational cyclist*,
[https://www.gribble.org/cycling/power_v_speed.html]
- [25] Forum Sport, *Cómo medir el efecto de ir a rueda en bici*,
[<https://blogs.forumsport.com/ciclismo/como-medir-el-efecto-de-ir-a-rueda-en-bici/>]
- [26] Trabajo fin de Grado de Beatriz Gómez González, *Desarrollo de un sistema de medición de distancias por ultrasonidos de largo alcance*,
[http://castor.det.uvigo.es:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/99/TFG_Beatriz_Gomez_Gonzalez.pdf?sequence=1&isAllowed=y]

[27] Andrew B. Raine, Nauman Aslam, Christopher P. Underwood, and Sean Danaher, *Development of an Ultrasonic Airflow Measurement Device for Ducted air*,

[<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4481905/>]

[28] Universal Flow Monitors, *Ultrasonic Flowmeter Technology*,

[<https://www.flowmeters.com/ultrasonic-technology>]

[29] Wikipedia, *Efecto Doppler*,

[https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler]

[30] Wikipedia, *Ultrasonido*,

[<https://es.wikipedia.org/wiki/Ultrasonido>]

[31] SensoVant, *WindSonic Medidor de viento ultrasónico*,

[<https://www.sensovant.com/productos/meteorologia/viento/sensores-ultrasonicos-2d/articulo/sensor-eolico-ultrasonico-windsonic.html>]

[32] SensoVant, *WindSonic Medidor de viento ultrasónico*,

[<https://www.sensovant.com/productos/meteorologia/viento/sensores-ultrasonicos-2d/articulo/sensor-eolico-ultrasonico-windsonic.html>]

[33] YouTube, *WindSonic Ultrasonic Anemometers*,

[https://www.youtube.com/watch?v=ZipwADWU_zI&t=2s]

[34] BOE, *Restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos*,

[<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2011-81307>]

[35] Wikipedia, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines*,

[https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_60204]

- [36] IEC, *Environmental conditions appearing in nature - Temperature and humidity*,
[<https://webstore.iec.ch/publication/3031>]
- [37] UNE, *Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*,
[<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0033865>]
- [38] Wikipedia, *IEEE 802.15*,
[https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15]
- [39] Justia Patents, *Patents assigned to Velocomp LLP*,
[<https://patents.justia.com/assignee/velocomp-llp>]
- [40] Google Patents, *Vehicle-mounted speed measuring device*,
[<https://patents.google.com/patent/CN103207392A/en>]
- [41] Google Patents, *Ultrasonic anemometer*,
[<https://patents.google.com/patent/US4890488A/en>]
- [42] Google Patents, *Ultrasonic anemometer*,
[<https://patents.google.com/patent/US3693433A>]
- [43] Google Patents, *Wind direction and wind speed detection Device for vehicle*,
[<https://patents.google.com/patent/JP2014224719A/en>]
- [44] Creative Commons, *Quant a les Llicències*,
[<https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>]
- [45] UNE, *Determinación de la biodegradabilidad aeróbica de materiales plásticos*,
[<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0061970>]

