

---

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Centellas Carmona, Núria; Rexachs del Rosario, Dolores Isabel, dir. Drons col · laboratius. 2021. (958 Enginyeria Informàtica)

---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/238442>

under the terms of the  license

# Drons col·laboratius

Núria Centellas Carmona

**Resum**— La robòtica col·laborativa és senzillament robots dissenyats per dur a terme treballs de col·laboració amb els humans. Els robots col·laboratius o cobots són cada cop més utilitzats a les indústries. La robòtica col·laborativa és un dels àmbits d'actualitat en aquests moments. Però també és un dels més interessants en més d'un sentit. Com es comuniquen dos drons autònoms que col·laboren per fer una tasca? Com són aquests missatges que s'envien? Que poden fer que no podrien fer sols? Aquestes són algunes de les preguntes que ens volem respondre en aquest projecte. En aquest treball es presenta un disseny i implementació de dos drons terrestres que es comuniquen per col·laborar entre ells per resoldre una tasca.

**Paraules clau**— Drons terrestres, robots, robòtica col·laborativa, cobots, robòtica de l'eixam, bluetooth, arduino

**Abstract**— Collaborative robotics is simply robots designed to perform collaborative work with humans. Collaborative robots or cobots are increasingly used in industries. Collaborative robotics is one of the current topics now. But it is also one of the most interesting in more ways than one. How do two autonomous drones that collaborate to perform a task communicate? How are these messages sent? What can they do that they could not do alone? These are some of the questions we want to answer in this project. This work presents a design and implementation of two ground drones that communicate to collaborate with each other to solve a task.

**Index Terms**— Land drone, robots, collaborative robotics, cobots, swarm robotics, bluetooth, arduino



## 1 INTRODUCCIÓ

La robòtica col·laborativa és senzillament robots dissenyats per dur a terme treballs de col·laboració amb els humans. Els robots col·laboratius o cobots són cada cop més utilitzats en les indústries.

Si volem que dos drons col·laborin, entrem en el camp de la robòtica d'eixam, en aquest camp es tracta molt en investigació. Aquí també hi podem considerar els espectacles de llums que es fan amb drons aeris[1]. Com es comuniquen dos drons autònoms que col·laboren per fer una tasca? Com són aquests missatges que s'envien? Que poden fer que no podrien fer sols?

La motivació per aquest projecte va venir en veure un vídeo en el qual diversos drons terrestres es comuniquen amb un dron aeri per poder obtenir més informació del terreny i saber com superar els obstacles [2].

Partint d'aquesta idea, el nostre objectiu en aquest projecte es presenta un disseny per a dron terrestre col·laboratiu que controlat per microprocessador amb diferents sensors que es pot comunicar a través de Bluetooth i que es comunicarà amb un altre dron per coordinar les tasques col·laboratives.

En el següent apartat en centrem en els conceptes teòrics, en les definicions. Que és la Robòtica Col·laborativa? Com la defineixen algunes organitzacions, ja siguin escoles i universitats. Que és la robòtica d'eixam?

En el tercer apartat, tractem tant la robòtica col·laborativa integrada en les indústries com a la robòtica d'eixam investigada sobretot en les universitats del món. També tractem els espectacles de drons que recorren a castells de focs o piromusicals, on els drons formen figures de llum i amb moviment al cel. Aquests espectacles tot i que fa uns anys que es veuen a diferents països han arribat a Catalunya gràcies a la nova normativa europea que va entrar en funcionament aquest 2021.

Seguidament entrem en quins són els objectius del projecte. Aquest apartat 4 explicarem quina meta volem assolir, quins límits tenim.

A l'apartat 5 ens centrem ja en el primer prototip. En aquest apartat hi trobarem el disseny del prototip, el protocol de comunicació, el firmware, la implementació del prototip i les proves realitzades amb ell. També explicarem una mica cada component elegit per aquest projecte.

Igual que en apartat 5, en l'apartat 6 trobem tota la informació relacionada amb el prototip 2. Les millores envers l'anterior prototip en cada una de les etapes i diferents proves. En l'apartat 7 analitzarem els resultats de les proves i demostracions dels drons un cop els dos finalitzats.

Finalment, les Conclusions del projecte amb les millores que es poden seguir fent al projecte. A l'apèndix 1 trobarem l'explicació de la metodologia i la planificació. L'apèndix 2, una d'explicació dels programes utilitzats, en l'apèndix 3, dels codis de les proves. L'apèndix 4 podeu accedir a les fotos i als vídeos, per cada vídeo explicació del que es pot veure.

- E-mail de contacte: [nuria.centellas@e-campus.uab.cat](mailto:nuria.centellas@e-campus.uab.cat)
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Dolores Isabel Rexachs del Rosario (departament d'arquitectura de Computadors i Sistemes Operatius (CAOS))
- Curs 2020/21

## 2 ROBÒTICA COL-LABORATIVA

Primer hem de mencionar que la robòtica és una ciència que compren moltes disciplines de la tecnologia, com la informàtica i la computació, i electrònica. El principal objectiu de la robòtica és la creació màquines capaces de fer o simular el comportament dels humans. Per tant la Robòtica és la ciència que estudia i dissenya els robots.

Amb aquest punt clar, tenim que la robòtica col laborativa és senzillament robots dissenyats per dur a terme treballs de col laboració amb els humans. Els robots col laboratius o cobots són cada cop més utilitzats en les indústries.

Segons ESNECA [3], l'escola de negocis, les característiques dels cobots són:

- Dissenyats amb sistemes senzills
- Programació de les seves funcions és regulable
- Fabricats amb materials lleugers
- Construïts a base de sensors per ser capaços de parar en cas que els sensors detectin moviments inusuals
- Permeten crear productes ajustats a les exigències de cada client

Segons una publicació de la universitat d'Alcalà [4], les característiques dels cobots són:

- Poder interactuar amb els humans en un mateix espai de treball
- La seva mida reduïda, facilitant l'adaptació al medi on se situen
- Son flexibles per permetre millor arribada a determinats llocs i amb això facilitar determinats treballs
- No requerir tècnics especialitzats pel seu muntatge i inici
- Optimitzar la productivitat
- Es pot reconfigurar per operar en diferents punts

Si parlem de col laboració entre robots, entrem en la robòtica d'eixam. La robòtica d'eixam investiga la coordinació de múltiples robots com un sistema. El disseny d'aquest sistema es basa en un grup de robots simples en la constant cooperació entre membres de l'eixam per aconseguir l'objectiu.

En aquest treball es presenta un disseny d'un dron terrestre col laboratiu que controlat per microprocessador amb diferents sensors que es pot comunicar a través de Bluetooth i que es comunicarà amb un altre dron per coordinar les tasques col laboratives.

## 3 ESTAT DE L'ART

Des del punt de vista de la Indústria, els robots col laboratius o cobots són robots dissenyats per realitzar feines de col laboració amb treballadors humans. La Federació Internacional de Robòtica els distingeix entre els

que compleixen o no la normativa ISO 10218-1/2, la qual especifica els requisits i patrons de disseny segur, mesures de protecció i informació d'ús [5]. Aquesta ISO és només per robots o drons industrials, de manera que la resta de drons es poden emmirallar en aquestes mesures, però no és obligatori que les compleixin [6][7][8].

La majoria d'aquests robots industrials es tracten de braços robòtics utilitzats en cadenes de muntatge de cotxes i o altres productes o en organització de magatzems. Però també hi ha d'altres, com per exemple el kiva dels centres de distribució d'Amazon [9]. Aquest dron terrestre desplaça les estanteries pel magatzem elevant-les i portant-les fins al treballador, evitant altres estanteries i kives. Dintre de la fàbrica o magatzem tenen un espai delimitat, on no poden accedir els humans, amb unes petites zones on poden interactuar amb els humans. Però no seran els únics, Amazon comença a utilitzar altres drons terrestres per traslladar més ràpidament els paquets pel magatzem, com són el cas de Xanthus i Pegasus, amb les seves semblances entre ells i kiva [10].

La robòtica d'eixam es tracta sobretot en universitats o en centres d'investigació com el seu camp d'estudi. Aquests centres generen un eixam de milers d'individus de la mida més petita possible, amb objectius diferents des d'evitar xocs entre ells a la col laboració per a la reproducció d'una imatge o figura [11][12]. Per tant es basa en un sistema en què el protocol de comunicació és essencial.

Però també hi ha robòtica d'eixam que amb una comunitat més petita de drons es dedica a investigar altres termes. Entre aquests trobem l'eixam miner en el qual estan col laborant la universitat de Nova Mèxic i la NASA, amb l'objectiu que serveixin per a la cerca de materials a altres planetes, satèl·lits o fins i tot asteroides[13]. En aquest cas, cada dron inspecciona per separat dels altres i si fa alguna troballa, ho comunica als seus companys. Alhora, en ser un sistema descentralitzat, si algun dels drons deixa de funcionar, no afectaria la resta del sistema.

Dintre de la robòtica d'eixam podem parlar dels espectacles de llums que es fan amb drons. Aquests espectacles s'han vist a països com la Xina amb més de cinc-cents drons, a Zuric amb cent cinquanta drons i des de l'inici d'aquest 2021 a Catalunya amb cinquanta drons [1]. Aquests espectacles que s'han pogut veure al nostre territori generen figures a 80 metres d'alçada i es pot veure des de 3 km de distància. Han estat possible iniciar amb aquests espectacles gràcies a la nova normativa europea [14] que ha entrat en aplicació progressiva. Aquesta normativa pretén estandarditzar les diferents normatives dels estats membres de la unió europea.

## 4 OBJETIUS

El nostre objectiu és la creació de dos drons terrestres que puguin col·laborar entre ells per fer una tasca.

Per tant, el nostres objectius específics són:

- Disseny i implementació dels drons
- Disseny i implementació d'un protocol de comunicació entre drons i o amb operador
- Disseny i implementació d'una aplicació de treball col·laboratiu

Aquests drons poden, per exemple, ordenar o apartar objectes que destorbin en el camí. Tant sigui, un moment per passar-se un objecte o constantment per moure un objecte junts. Que puguin treballar tant sigui, prenent ells decisions o que les decisions les pugui donar a través d'un tercer. Per això, se situaran en l'espai a través de marques col·locades a terra. Així que no només sabran on són, sinó que a més podran comunicar-lo a l'altre, i per tant, podran saber on són cadascun i quin és l'objectiu.

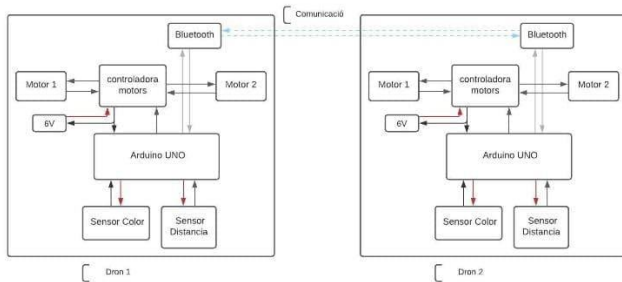


Figura 1: Diagrama de blocs del projecte

La idea és que els robots tinguin, en la seva majoria, les mateixes característiques, el mateix microcontrolador, els mateixos sensors, etc. de manera que puguem constituir un eixam. A continuació us mostrem el diagrama de blocs del projecte en la figura 1. La Metodologia i la planificació s'expliquen en l'apèndix 1.

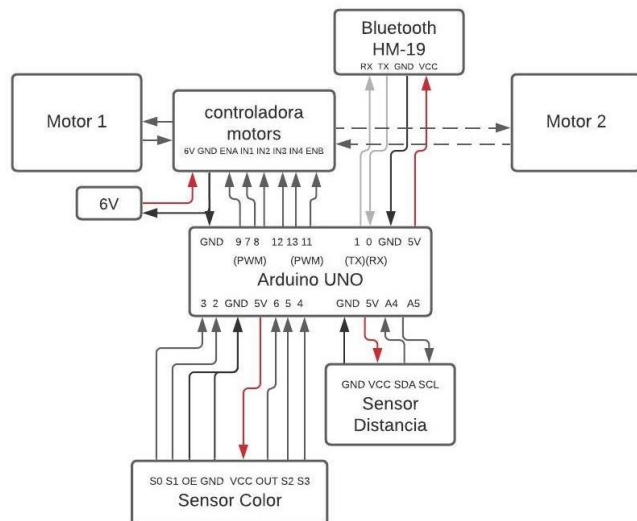


Figura 2: Diagrama de blocs

## 5 PRIMER PROTOTIP

### 5.1 Disseny

El prototip té una sèrie de sensors i actuadors a connectar al microcontrolador, com mostrem el diagrama de blocs, figura 2. El disseny de la plataforma on se situaran els components es construirà amb impressió en 3D. Durant l'etapa de disseny s'ha realitzat la selecció de components.

Aquests drons comptaran amb un Arduino UNO com a microcontrolador, un mòdul Bluetooth 5.0 (HM-19) com a mètode de comunicació entre ells. Pel que fa a sensors, tenim el TCS3200 per detecció de colors i el VL53L0X per mesurar les distàncies amb els obstacles. Per el funcionament dels motors fem servir la controladora L298N, connectada als PWM de l'arduino per ENA i ENB que són els que controlen els motors.

A continuació descriurem cada un dels components del hardware.

#### 5.1.1 Arduino UNO

Quan parlem de microcontroladors per prototipatge o robòtica, sobretot en àmbit no professional, Arduino és un dels microcontroladors més utilitzats. Això permet que hi hagi compatibilitat amb la majoria de components i una gran existència de llibreries que faciliten la creació de codi per aquest microcontrolador.

Arduino Uno és un microcontrolador basat en ATmega328P. Té 14 pins d'entrada/sortida digitals dels quals 6 són PWM, 6 pins analògics, un resonador ceràmic de 16 MHz, connexió USB, presa d'alimentació, encabassat ICSP i botó de reinici [15][16][17].

La modulació d'amplada de pols o PWM és una tècnica per obtenir resultats analògics amb mitjans digitals. El control digital s'utilitza per crear una ona quadrada, un senyal activat i desactivat. Aquest patró d'encesa i apagada pot simular tensions entre el Vcc complet de la placa (per exemple, 5 V a l'Uno) i apagat (0 volts) canviant la part del temps que passa el senyal en comparació amb el temps que passa el senyal. La durada de "puntual" s'anomena amplada de pols. Per obtenir valors analògics variables, canvieu o moduleu aquesta amplada de pols [18]. Els PWM es fan servir per modular els senyals d'entrada en motors i leds entre molts altres.

#### 5.1.2 Bluetooth

El Bluetooth és un protocol de comunicacions que serveix per transmetre de forma sense fils de dades i veu entre diferents dispositius que es troben a poca distància, dintre d'un radi de distància d'uns deu metres, generalment [19].

El Bluetooth va ser desenvolupat per substituir el cable, es basa en una tecnologia de salts de freqüència d'ample espectre. En els seus inicis retransmetia a una velocitat de 720 kbs increïble per la dècada dels noranta.

Després de dues dècades de millores els diferents Bluetooth han arribat fins als 50 Mbs, a més que el rang de connexió ha millorat molt igual que les distàncies que actualment poden assolir fins a 100 metres [20].

A inicis del 2017 va arribar Bluetooth 5.0, primer a mencionar que es manté el Low Energy, dissenyat per reduir el consum d'energia dels dispositius que es connecten a aquest mètode. Seguint amb les seves especificacions, la seva velocitat de transferència es de 2 Mbps i arriba fins a 240 metres, clar que a la realitat aquestes dades disten dependent de la distància i dels obstacles, no oblidem que es retransmeten per ones [21][22]. El Bluetooth 5 ha estat el protocol elegit per la comunicació entre els drons.

### 5.1.2 Sensor detector de Color

El sensor detector de color RGB és una matriu de 8x8 fotodíodes i convertidor de corrent a freqüència integrat. Cada fotodíode té un filtre per un color (Vermell, Verd, Blau o sense filtre). Els filtres de cada color es distribueixen uniformement per tota la matriu per eliminar el biaix d'ubicació entre els colors, tal com es pot veure en la següent figura 3[23].

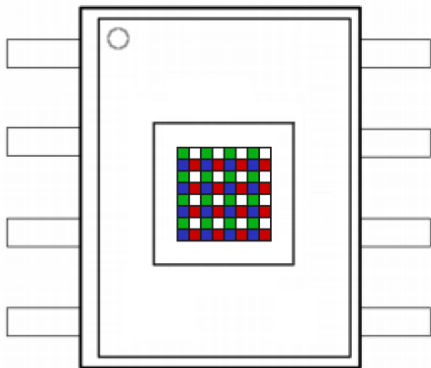


Figura 3: Disposició dels filtres de colors

Mitjançant un convertidor de corrent a freqüència les lectures dels fotodíodes es converteixen en una ona quadrada amb una freqüència directament proporcional a la intensitat de la llum.

El sensor pot detectar una gran varietat de colors en funció de la seva longitud d'ona. En triar els filtres que s'utilitzaran, només es podrà mesurar una determinada intensitat de llum de color. Per exemple, quan es tria el filtre vermell, només la llum vermella es pot passar, el blau i el verd no es mesuraran. Així només podem aconseguir-ho la intensitat de la llum vermella. De la mateixa manera, en triar altres filtres podem obtenir blau o intensitat de llum de color verd. Aquest sensor s'utilitzarà per detectar marques de colors posades a terra.

### 5.1. Sensor de medició de distancia per temps de Vol

El principi de funcionament dels sensors de vol és similar al dels sensors d'ultrasò, el sensor, que posseeix un emissor làser, cada cert temps emet un feix de llum. En

trobar-se amb un objecte la llum és reflectida, el sensor s'ocupa de mesurar el temps entre l'emissió i la detecció de la llum. Com la velocitat de la llum és un valor conegut, llavors es calcula la distància a l'objecte amb el temps de vol[24].

L'emissor del làser és de tipus VCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser) i és totalment invisible a l'ull humà, a més posseeix òptica amb filtres anti infraroig seleccionat per evitar obstacles. En els drons col laboratius es important disposar de sensor per evitar xocs.

### 5.1.3 Controladora i motors

Per poder fer un ús adequat dels motors fàcilment s'utilitzen controladores, aquestes gestionen els girs i la parada dels motors a través d'unes entrades que vénen des del microcontrolador.

La controladora més usada en temes de robòtica es denomina el pont H, o de doble pont H, en cas que serveixi per a dos motors. Es diu H per la forma en què es disposen quatre transistors amb el motor. Amb aquesta posició permeten controlar el gir del motor en un sentit o altre entre senyals de control simples utilitzats per controlar el moviment dels drons[25].

## 5.2 Implementació

### 5.2.1 Firmware

Un cop tenim el hardware per fer les proves necessitem definir el funcionament del prototip en implementar el firmware. El dron ha d'arribar a un punt en concret, i ho ha de fer de manera autònoma, esquivant obstacles i comunicant per Bluetooth al operador les posicions i girs. Aquest funcionament es pot veure en el diagrama de flux de la figura 4.

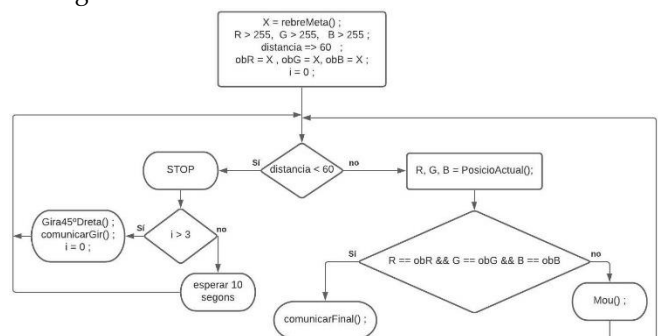


Figura 4: Diagrama de flux del prototip 1

Per fer el test de funcionament s'ha anat afegint a poc a poc cada un dels components. Aquest procediment ens ha servit comprovar el bon funcionament del protocol de Bluetooth i per calibrar cada un dels sensors. Per què necessitava calibratge? Per poder veure si el dron tenia temps a reaccionar al trobar un obstacle o si anava massa ràpid i no permet detectar les marques, etc.

### 5.2.2 Protocols de comunicació

Com hem mencionat abans, un dels nostres objectius és la creació d'un protocol de comunicació. En aquest prototip el protocol de comunicació de Bluetooth és tipus handshake, on per cada missatge enviat es valida amb una contestació tipus ACK, com es pot veure en la figura 5. En el següent prototip podrem veure el protocol.

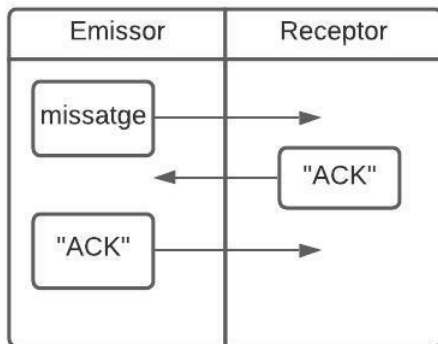


Figura 5: Diagrama de comunicació

El missatge s'envia informació de la posició. Recordem que en el prototip 1 com a convenció sempre girarem a la dreta per això no s'especifica el gir.

### 5.2.3 Disseny 3D

A part del microcontrolador i els components, el nostre prototip també té altres peces impreses amb la impressora 3D. Aquestes peces són originals o adaptades i modificades d'altres models[26][27].

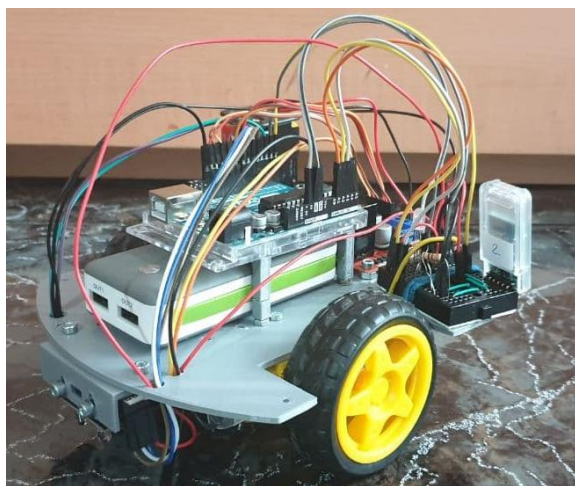


Figura 6: Prototip 1

En la figura 6 podreu veure com queda al final de l'etapa el prototip 1. Les fotos dels diferents estats pels quals ha passat el prototip els podreu veure en apèndix 4.

## 5.3 Proves

Una explicació dels codis està en l'apèndix 3 i els resultats de totes les proves estant a l'apèndix 4.

### 5.3.1 Autonom V1

Com hem mencionat en anterior apartat hem fet diverses proves amb menys sensors per fer el calibratge. La primera prova era la controladora i el sensor de distància. De manera que amb aquesta prova calibraven el sensor de distància i els motors.

Amb el sensor de distància podíem aconseguir que pares abans de trobar un obstacle? Era correcte la distància que donàvem de límit?

I amb els motors podíem comprovar si el girava massa? O si tenia temps a detectar el següent obstacle?

De manera les variables de distància i de temps de gir dels motors inicials a les finals s'han vist modificades a mesura que s'han anat modificant per obtenir el codi òptim. Després de fer-lo córrer diverses vegades, tenim un parell de coses a tenir en compte sobre el funcionament del prototip i de mirar d'arreglar de cara el segon prototip.

Tot i que el sensor de distància, està davant de tot, fins i tot sobresurt de la base, hi ha altres elements que a vegades sobresurt més, com el cable de l'alimentació de la placa que genera soroll, com si fos un objecte que obstruís el pas. Per aquest fet, la distància mínima per evitar el xoc de 2 cm, s'ha augmentat fins a 6 cm, tot i això algun cop fins i tot el cable quedava davant del sensor fent que gires com una baldufa perquè sempre detectava un obstacle davant.

Un altre tema a tenir en compte és que el sensor apunta en línia recta, de manera que si hi ha algun obstacle fora del seu camp de visió més proper no el detectarà i xocarà. Normalment aquest obstacle li impedia tirar endavant, de manera que el dron tard o d'hora es gira per impuls, llavors és quan detecta l'obstacle i gira per iniciativa pròpia.

### 5.3.2 Autonom V2

En la segona prova hem afegit el sensor de color. El seu calibratge en principi està fet de les proves de concepte, les quals estan explicades en informes anteriors.

Així i tot, la prova és per observar com reacciona en arribar a una marca. Comprovar que les detecti bé, que no les salti entre altres. En altres paraules, seria més comprovar que tot segueix funcionat després d'afegir codi. Ens hem seguit aquesta tàctica per detectar els errors abans possible i poder-los arreglar com més aviat millor.

En realitzar la prova ens adonem que no reacciona de manera esperada en arribar a la marca, primer en creiem que no té temps per detectar-la. De manera que hem afegit un led RGB en el prototip que amb la seva llum ens marcaria la marca per la qual passava.

Aquest fet ens ha fet adonar que el calibratge del sen-

sor no ens servia, ja que el vam fer a la llum natural i les proves les estàvem fent a una altra part per tant la il·luminació involucrada és diferent per tant els valors obtinguts canvien.

En tornar a fer el calibratge ens adonem que arribada una hora determinada els colors vermell, verd i blau acaben sent diferents tons d'un mateix color. Pel que decidim tornar a calibrar en un altre moment més llum i que es puguin identificar bé els colors.

En tornar a fer el calibratge del sensor per reprendre les proves, no només segueix passant per sobre les marques, sinó que no s'encén el led o fins i tot tarda una mica. Però arriba un moment que tot i no ser sobre cap marca el led està encès de color vermell tota l'estona. També hem intentat influir amb la llum del flaix del mòbil per ajudar en detectar, encara que també ens ha influït negativament en algun moment.

En altres paraules, com que aquest sensor l'afecta molt al canvi de llum, si acotem molt els valors, només en moments molt específics detectarà les marques, però per contrari si són massa grans els valors, llavors confondrà les marques. Això sense tenir en compte que cada cert temps s'hauria de calibrar o fer proves només en una franja de temps molt concreta.

Per tant, haurem de buscar un altre lloc per les proves o acotar-nos en unes franges concretes per poder fer les proves. Seguirem estudiant opcions per fer més viable el funcionament i ús del sensor.

### 5.3.3 Primer prototip

Després de les primeres proves de dron autònom, entrem en la prova final del prototip. En aquesta prova el prototip ja té el codi que descriu el comportament del diagrama de flux, mostrat en la figura 4.

Aquí sobretot, entra en joc la comunicació, quins problemes i impediments ens trobem relacionats amb el Bluetooth. Fins on arriba la comunicació? Hi ha impediments si no estant a la mateixa alçada o les antenes miren en sentits contraris? Per fer-ho, el receptor de la informació serà l'altre dron, on disposarà de moment el component Bluetooth i una pantalla lcd per mostrar la informació que rep.

Tot i haver-los connectat amb anterioritat, ens han donat problemes a l'inici perquè es connectessin. Un cop solucionat aquest inconvenient, la connexió ha funcionat millor que en la prova de concepte. En la prova de concepte va fer uns dos metres en línia recta sense obstacles i a la mateixa alçada. Aquesta vegada, amb el receptor més alçat que l'emissor, a fet fins als quatre metres lineals sense obstacles i aproximament uns divuit metres en diagonal (uns 4 d'alçada i un metre i mig d'amplada).

És cert que aquests resultats els hem obtingut mentre

calibràvem de nou el sensor de color, ja que quan l'hem posat en marxa, un cop calibrat, o es comunicava tota l'estona o es posava a girar.

## 5.4 Millores

Un cop fet el test i la validació del prototip, sabent els avantatges i inconvenients de cada una de les parts del dron, podem centrar-nos a millorar cada una d'elles per la següent etapa.

Primer de tot un estudi existiu del sensor de color. Podem controlar la llum per no haver de calibrar tan sovint? Podem trobar un altre mètode de calibratge? Podem trobar una altra zona millor per les proves? Col·locant el sensor d'una altra manera n'anirà millor? Entre altres coses conceptes a tenir en compte. Amb aquest estudi fet sabrem com procedir a les millores.

Un problema detectat és que el dron té una certa tendència a desviar-se cap a la dreta, la majoria de vegades. Creiem que és per la distribució del pes en la base del dron. Intenció és trobar una distribució de pes en la que no afecti el dron en la direcció en la qual corre. Amb aquesta distribució podria afectar a les col·locacions de l'alimentació del microprocessador i d'alimentació dels motors, també podria afectar el disseny de les peces 3D.

En disseny de peces 3D, segur que es veurà afectat el suport del sensor de distància, ja que no ens va quedar del tot com volíem i aprofitarem fer alguna altra modificació.

## 6 SEGON PROTOTIP

### 6.1 Disseny

En el segon prototip compta amb els mateixos components que el prototip 1. Recordem que a la primera fase muntàvem un prototip i l'altre dron era només el receptor de Bluetooth que mostrava els missatges rebuts a través d'una placa lcd. Ara per poder detectar que es comuniquen bé hem afegit tres leds, un de vermell, un de blau i un de verd.

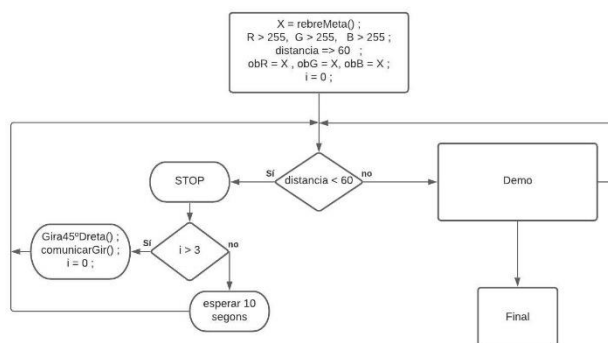


Figura 7: Diagrama de flux prototip 2 base

L'estudi de color que vam fer, es va comprovar que sense tornar a calibrar el sensor de color podíem controlar la quantitat de llum que li arriba el sensor afegint llum

amb una llanterna o treure'n amb el moviment de cortines, baixar el tendal o les persianes. Per tant, aquest estudi no va transcendir a generar canvis en el prototip. Tot i això per facilitar el tema del color, a partir d'ara només farem servir les marques dels colors RGB, es a dir el vermell, el verd i el blau.

En aquest prototip tenia com objectiu funcionament més avançat del que ja tenia. Però el funcionament base serà al mateix que el prototip 1, on el dron obté els valors del sensor de color i el valor del sensor de distància, si detecta un valor de distància petit esperarà 30 segons abans de girar, si no farà el funcionament que li pertoqui llavors. Per tant us mostrem el diagrama de flux base, a la figura 7.

Tot i que dintre d'alguns termes es pot controlar la llum, després de molts entrebancs amb la demostració que volíem fer, hem decidit obviar la informació que ens doni aquest sensor.

## 6.2 Implementació

### 6.2.1 Firmware

Partint del firmware resultant del final del prototip 1, hem modificat el codi resultant per crear el firmware necessari per a la realització de les demostracions pensades per comprovar la comunicació dels drons.

La intenció era poder fer una o més de les demostracions que teníem pensades. Però com hem mencionat abans derivat de molts entrebancs per tirar endavant amb elles, hem canviat d'estratègia i hem tret el sensor de color.

De manera que en aquests moments, la nostra intenció és que el dron màster comuniqui i esperi a l'altre. Tot i això, hem fet alguna prova abans sense la comunicació per assegurar de nou que tot segueix en ordre.

### 6.2.2 Protocols de comunicació

En aquest prototip el protocol de comunicació de Bluetooth és el següent, com podeu veure a la taula 1.

Taula 1: Protocol de comunicació pel prototip 2

Objectiu	Missatges
Enviar Marca	1- "M" 2- Valor equivalent a R 3- Valor equivalent a G 4- Valor equivalent a B
Enviar Objectiu	1- "O" 2- Valor equivalent a R 3- Valor equivalent a G 4- Valor equivalent a B
Enviar Gir Esquerra	1- "E"
Enviar Gir Dreta	1- "D"
Enviar Encreuament	1- "C"
Enviar Avançar	1- "A"

Enviar Retrocedir	1- "R"
Enviar Final	1- "F"
Enviar ACK	1- "ACK"

A diferència dels missatges implementats en el prototip anterior hem especificat els girs, les accions d'avançar i retrocedir i la finalització de creuar. L'especificació d'aquestes accions poden ser convenientes en funcions avançades, com per exemple la demostració de la corografia o en un circuit amb diverses cruïlles.

### 6.2.3 Disseny 3D

Pel que fa a les peces impreses amb la impressora 3D hem modificat la base, traient els forats del model original i allargant un centímetre més la peça per darrere. També hem modificat la peça creada per subjectar el sensor de distància.



Figura 8: Estructura prototip 2

Tret d'aquests canvis de les peces, la resta de canvi de l'estructura radica en el fet que aquest prototip té dos pisos, com es pot veure en la figura 8. En el primer es troba el sensor de distància amb la bateria i el porta piles, en canvi al segon trobem el microcontrolador, la controladora de motors i la placa de proves amb el Bluetooth i els leds. En el prototip anterior només teníem una peça que ens alçava el microcontrolador, ho podeu comprovar a la figura 6.

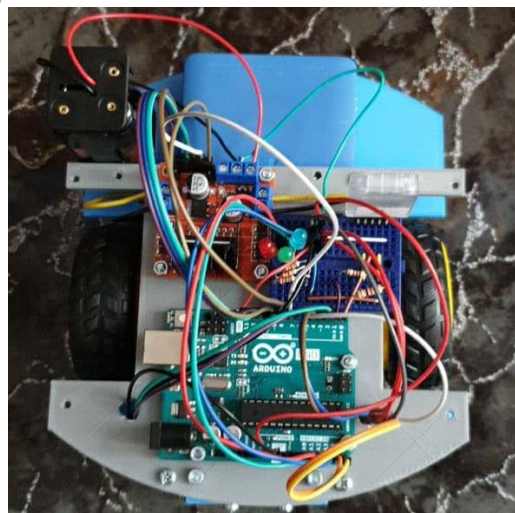


Figura 9: pis superior del prototip 2

Igual que en el prototip 1, les peces són originals o adaptades i modificades d'altres models[21][22].



En les figures 9 i 10 podreu veure com queda al final de l'etapa el prototip 2. Les fotos dels diferents estats pels quals ha passat el prototip els podreu veure en apèndix 4.

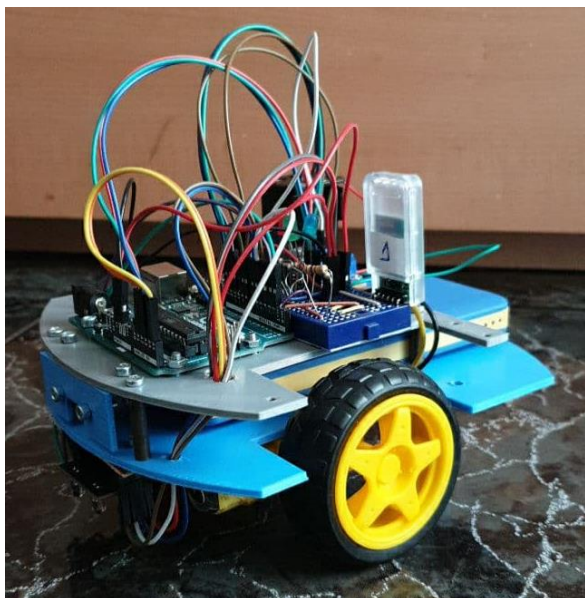


Figura 10: Prototip 2

## 6.3 Proves

### 6.3.1 Demostració 1. Encreuament

Amb aquesta demostració no només volem veure que es comuniquen, ho veurem reflectit amb els leds, sinó que a més poden col·laborar junts, i deixar-se pas un a l'altre.

En aquesta prova el dron màster té el codi que descriu el comportament del diagrama de flux, que pots trobar en l'apèndix 4. Mentre el prototip 2 té un codi similar, només té algunes modificacions, pel fet de ser el receptor, per tant espera que el prototip 1 es comuniqui amb ell.

Els resultats no han estat del tot satisfactoris pel que fa a la demostració. Els resultats en general han estat que els drons donaven voltes sobre si mateixos. El primer cop en trobar-nos això la nostra opinió va ser que teníem els motors en polaritat inversa, ja que en el nou dron no ho havíem comprovat, de pas vam fer les diferents proves de concepte de cada un dels components per saber que els sensors funcionaven correctament. Les proves de concepte van sortir totes bé per tant no era un problema dels sensors.

Ens vam disposar a tornar-ho a provar, canvis d'ubicació i de control d'il·luminació que com a mínim detectéssim els dos leds encesos. El màxim que hem aconseguit és que detecti la marca sobre la qual està i encengués la llum, només amb el dron connectat a l'ordinador mirant el monitor sèrie on es mostrava la comunicació que el dron enviava via Bluetooth.

Amb només un dron en funcionament, ens hem connectat amb ell via Bluetooth amb un dispositiu mòbil, i

hem rebut les dades que obtenia el sensor de color, com podeu veure en la figura 11, aquestes dades eren totes superiors a 255 el que indica que no estava detectant un color, és com si no hi hagués un objecte suficient a prop quan era així. I hem provat de contactar, així amb ell i no semblava reaccionar. Per tant, les possibilitats han estat dues. La primera que la llum del moment amb el tipus de terra, reflectissin o alguna cosa per l'estil, perquè el sensor o detectes bé, no sabem si per falta de llum o excés de llum, en cas de reflectir. Mentre que l'altra opció seria pel fet de no parar quiet li impossibilitava obtenir les dades. Així que hem canviat l'espai per fer més proves.

Amb el canvi d'ubicació de nou, hem obtingut resultats similars, en estar connectats a l'ordinador podies consultar els valors de RGB i de tant en tant el led de la marca s'encenia, però no es mostrava la marca de l'altre dron. Les mostres de gir només les feia quan detectava algun objecte a prop del sensor. Així i tot els desconnectaves de l'ordinador i no els podies ni connectar el mòbil, suposem que el Bluetooth està configurat només per connectar-se amb un cada cop, ni es veia que s'encenia cap led. Això si quan activaves l'alimentació dels motors, els drons iniciaven les voltes fins que no els paraves.



Figura 11: Captura de pantalla dels valors RGB quan el dron voltava

Comparant el codi del prototip 2 amb el codi amb el qual havíem comprovat que les polaritats dels motors seguessin correctes ens adonem que d'un codi a l'altre les polaritats són diferents. Així que fem el canvi a la polaritat que li toca.

Per altra banda, pensem que potser no se sincronitzen amb el Bluetooth i revisem el codi també en aquest sentit i fem algunes modificacions, però l'únic que aconseguim és que els dos drons es quedin parats que no es moguin, després de fer un parell de proves, amb el mòbil i amb l'ordinador arribem a la conclusió que un dels components Bluetooth s'havia espatllat.

Com que no és el resultat esperat i ens desvetlla més preguntes que solucions seguirem fent proves i revisant el codi a consciència per veure si trobem l'error.

### 6.3.2 AutonomV3 i AutonomV4

Ens veiem obligats a tirar enrere les proves per poder aconseguir que els drons es comuniquin i es moguin. Per això optem per prescindir del sensor de color i centrar-nos en la comunicació i l'autonomia dels drons, per tant partint del codi de proves autònom el modifiquem per afegir-li la connexió Bluetooth i d'aquest n'anomenem AutonomV3.

En intentar fer el test veiem que tot i canviar els components Bluetooth espatllats segueix sense moure, tot i que marca que s'hi han connectat, per tant tornem més endarrere per assegurar que no s'ha espatllat res que permeti el moviment del dron. Aquesta versió anomenem AutonomV4, tot i que seria un equivalent a l'autònom. Aquí ens vam adonar que un dels drons, justament el màster no es movia gens. En comprovar els voltatges de la controladora dels motors ens adonem que té el voltatge d'entrada esperat, 6V, però que no té voltatge de sortida als motors, per tant creiem que la controladora s'ha espatllat i la canviem. Però tot i això segueix fent-ho.

Després de revisar moltes coses, com les piles, el codi, la controladora, etc. Resulta que en fer l'actualització del prototip (en espatllar-se el Bluetooth vam aprofitar per canviar l'estructura del prototip) es va connectar malament el sensor de distància. Com que no inicialitza bé queda en bucle de sense fer res, per això no es movia. Amb això podem tornar a provar, a les proves de l'AutonomV3.

Tornant al codi d'autònomV3, ens trobem un altre cop amb el fet que no inicien la demostració per més que estant en principi estant connectats, havent-hi ja descartat altres problemes ens centrem en el codi de la comunicació. Intentem sincronitzar-los més, més detallistes en el codi, però tampoc funciona així que decidim centrar-nos en com era el codi del "dron esclau" quan la comunicació funcionava. La principal diferència és que abans només estava pendent d'escoltar i l'altre no ho és tant, per tant modifiquem el codi d'aquest dron (AutonomV3p2\_v2) per aconseguir centrar més el dron en l'escolta i quan obtinguis dades, actues en conseqüència.

Després de fer un parell de proves i de revisar el codi de nou diverses vegades, decidim comprovar de nou amb el mòbil que el funcionament del Bluetooth segueix fun-

cionant. Llavors ens adonem que segons sembla, el dron màster no es comunicava amb el dron esclau, ja que el podem connectar l'esclau amb el mòbil i comunicar-se, mentre que el dron màster no aconsegueix connectar el mòbil.

## 7 RESULTATS

Com hem mencionat en els apartats anteriors, les nostres proves i demostracions no han estat exactament les esperades. Aquests resultats han estat en part propiciats per dos components en concret.

Per un costat el sensor de color, un sensor molt sensible a la llum i al moviment, en el qual mai sabies ven bé si estava detectant o no el color, o si simplement no detectava bé el color per la llum de la zona. Tot i ser un sensor que s'ha demostrat que es pot influenciar, amb un augment de la llum per un o diversos lots o per la reducció d'aquesta per cortines o persianes, si no tens molt clar quin tipus de llum necessites (blanca o groga) i la quantitat és com una mica jugar a l'atzar.

Per l'altre tenim el Bluetooth, i no per ser una mala elecció de tipus de comunicació, sinó per una mala elecció de component. Després de tres mesos de proves amb els diferents prototips, podem dir que és l'únic component que ha deixat de funcionar diverses vegades. És cert que hem canviat diverses un parell de vegades la controladora dels motors, creient que era el problema, però en cap dels casos era culpa d'aquesta, mentre que els components Bluetooth s'han espatllat diverses vegades, en altres paraules no han durat més d'un mes en quasi cap cas.

## 8 CONCLUSIO

En conclusió, en aquest treball hem parlat de la robòtica col·laborativa i la robòtica d'eixam, tant des del punt de vista més teòric com l'actualitat en aquests camps de la robòtica. Des de la investigació en centres d'estudi mencionant els cobots de plantes de distribució fins als espectacles de llums amb centenars de drons.

Hem parlat dels objectius d'aquest projecte, en el qual ens proposàvem dissenyar i implementar drons terrestres que col·laboressin entre si per la realització d'alguna tasca. També constava el disseny i implementació del protocol de comunicació que utilitzarien els drons.

En l'explicació del primer prototip construït ens centrem en l'explicació disseny del dron, sobretot en els components elegits per aquests drons amb una explicació de cada un d'ells. En aquest prototip tenim un protocol de comunicació i un firmware senzill. Aquest primer dron ha sigut per cerciorar que tot funcionava i comprovar que es podia arreglar i canviar de cara al següent disseny. Per assegurar que tot anés bé, es van fer un seguit de proves perquè vam anar afegint un component d'un en un per assegurar que tot anava funcionant i que no hi havia problemes. Aquestes proves van servir per comprovar que el

sensor de color és molt sensible als canvis de llum i ens va demostrar que ens donaria feina.

Vam iniciar amb el segon prototip tenint present que havíem d'estudiar més a fons el sensor de color. I així ho vam fer, vam detectar que podíem controlar la llum per no haver de reduir la franja de temps d'ús o d'haver de calibrar constantment. En aquest prototip ens centrem sobretot en els canvis de l'estructura pel que fa al dron i en com és el nou protocol de comunicació. En aquest cas, teníem un parell de demostracions pensades, però ens trobem que necessitem ajornar-les per més endavant, ja que no sembla surten problemes de comunicació entre els drons. En aquest punt també obviem una mica el sensor de color en un intent d'obtenir una demostració dels drons on es comuniquen per col·laborar.

Tot i això, els resultats no són els esperats, però amb aquestes proves i validacions, obtenim un parell d'idees com a futures línies del treball.

La primera millora que es pot fer és canviar el component de Bluetooth, reflexionant ha estat el component que més dolent ha sortit, així que la primera cosa que faríem nosaltres és un canvi de component.

Una millora pot ser afegir un servo que mogui el sensor de distància, de manera que no només podrà detectar els obstacles que ara no detecta, sinó que a més podrà veure per on és millor gira per evitar amb més eficàcia l'obstacle.

També seria possible un canvi d'estructura de com està muntat el robot per afegir com una pala, idea que teníem contemplada pel projecte, però al final per diversos motius no vam desenvolupar.

Però com millora important seria un canvi de microcontrolador, amb més pins permetria millores significatives com afegir més sensors o més actuadors. Si es canviés per un amb més capacitat de memòria i de processament es podria canviar el sistema de colors per un lector QRs.

## AGRAÏMENTS

Aquest projecte ha estat possible gràcies a l'aportació de diverses persones, família i amics, les quals m'han escoltat i animat des de l'inici.

A la meua tutora, la Lola, que m'ha ajudat, guiat i aconsellat amb molta paciència, des de l'inici fins al final del projecte.

A l'Alex que sempre m'aconsella sobre la impressió 3D i dóna la seva opinió d'altres temes relacionats amb microcontroladors i components.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Espectacles de llum amb drons arriben a Catalunya [https://www.ccma.cat/324/els-drons-amb-llum-arriben-a-](https://www.ccma.cat/324/els-drons-amb-llum-arriben-a-catalunya-una-nova-manera-de-fer-espectacles-de-nit/noticia/3068936/)

- [catalunya-una-nova-manera-de-fer-espectacles-de-nit/noticia/3068936/](https://www.ccma.cat/324/els-drons-amb-llum-arriben-a-catalunya-una-nova-manera-de-fer-espectacles-de-nit/noticia/3068936/)
- [2] El vídeo que inspira la nostra proposta <https://www.youtube.com/watch?v=i3ernrkZ91E>
- [3] Robòtica col·laborativa segons ESNECA <https://www.esneca.com/blog/robotica-colaborativa-que-es/>
- [4] Robòtica col·laborativa segons la Universitat d'Alcalà <https://www.masterindustria40.com/que-es-robotica-colaborativa/>
- [5] Associació Espanyola de Robòtica i automatització <https://www.aer-automation.com/mercados-emergentes/robotica-colaborativa/>
- [6] Article que parla de la ISO <https://www.pilz.com/es-ES/company/news/articles/196225>
- [7] Normativa ISO 10218-1 <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049289>
- [8] Normativa ISO 10218-2 <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0048668>
- [9] Vídeo d'explicació del centre de distribució Amazon <https://www.youtube.com/watch?v=5pTvD5BCdTE>
- [10] Informació nous robots de amazon robòtics per els seus centres [https://www.techcrunch.com/2019/06/05/amazon-debuts-a-pair-of-new-warehouse-robots/?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2x1LmNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAAAMy5VbfDB56kLx dqikdB9\\_vx7IUxpP9aaDBLVaWlpfN0mRYVlQnFuBVodpOFq2sZp4v5kVoXNTLsegGVJ08YM4-9ow23jUz5U9yt-kkdk5LG\\_TbhE01dfU1kgVBJXtc32K53OntNBnEpDv1Nt-0C4wfczmzLoM0\\_HpjggALurD\\_Q](https://www.techcrunch.com/2019/06/05/amazon-debuts-a-pair-of-new-warehouse-robots/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2x1LmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAAMy5VbfDB56kLx dqikdB9_vx7IUxpP9aaDBLVaWlpfN0mRYVlQnFuBVodpOFq2sZp4v5kVoXNTLsegGVJ08YM4-9ow23jUz5U9yt-kkdk5LG_TbhE01dfU1kgVBJXtc32K53OntNBnEpDv1Nt-0C4wfczmzLoM0_HpjggALurD_Q)
- [11] Robòtica d'Eixam <https://www.hisour.com/es/swarm-robotics-43163/>
- [12] Robòtica d'Eixam <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/en-harvard-juegan-con-enjambres-de-robots-kilobots>
- [13] Robòtica d'Eixam al espai per la NASA <https://www.xataka.com/espacio/el-enjambre-de-robots-mineros-que-la-nasa-quiere-enviar-al-espacio>
- [14] Informació de la nova normativa europea de drons <https://www.oneair.es/nuevo-reglamento-europeo-drones/>
- [15] Informació sobre la placa <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [16] Esquema de la placa Arduino UNO [https://content.arduino.cc/assets/UNO-TH\\_Rev3e\\_sch.pdf](https://content.arduino.cc/assets/UNO-TH_Rev3e_sch.pdf)
- [17] Esquema de los pins de la placa Arduino UNO [https://content.arduino.cc/assets/Pinout-UNOrev3\\_latest.pdf](https://content.arduino.cc/assets/Pinout-UNOrev3_latest.pdf)
- [18] Que es els pins de PWM del microcontrolador ? <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM>
- [19] Que es el Bluetooth i per a que serveix ? <https://softwarelab.org/es/bluetooth/>
- [20] Bluetooth <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [21] Bluetooth 5.0, quines son les seves novetats ? <https://www.wikiversus.com/informatica/bluetooth-5-novedades-velocidad/>
- [22] Bluetooth 5.0 que es diferent i perquè importa ? <https://hardzone.es/tutoriales/rendimiento/bluetooth-5-0-caracteristicas-novedades/>
- [23] Datasheet de Detector de color TCS3200 <https://drive.google.com/file/d/1SoslaoSCEeDzTDx6l8xjfs6mh814gnG1/view?usp=sharing>
- [24] Datasheet de VL53L0X Sensor de mesura de distancia per temps de vol <https://drive.google.com/file/d/1XsjYjFknHtCtRRzjZ6LM76cYr2Mkw-P/view?usp=sharing>
- [25] Informació Controladora L298N <https://www.youtube.com/watch?v=63aitq3KtAl>
- [26] Peces 3D model 1 <https://www.thingiverse.com/thing:3366994>
- [27] Peces 3D model 2 <https://www.thingiverse.com/thing:739024>

## APÈNDIX

### A1. METODOLOGIA I PLANIFICACIÓ

#### Metodologia

La metodologia que utilitzarem en aquest projecte serà la de model espiral. Es tracta d'una metodologia que combina el model lineal o cascada amb el model interactiu o basat en prototips. S'utilitza en projectes on el cost a l'error és un gran risc així que la seva principal aportació és la consideració de la gestió de riscos.

Els models en espiral comencen sent petits, investigant els riscos que poden tolerar, per passar augmentar a poc a poc, basant-se en elements clau que construeixen les següents fases de l'espiral.

Consisteix a seguir els cicles creixents de les quatre fases cada un, que es realitzen seguint una forma en espiral. Cada cycle passa per les fases ben definides però amb la capacitat d'evolucionar la seva complexitat a cada cycle. Per tant es tracta d'un model evolutiu que augmentarà en el temps d'execució, així com el volum de codi i la complexitat de la gestió de riscos i la planificació, com es mostra en la figura A10.

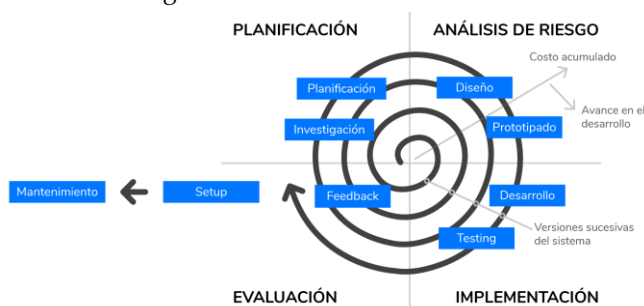


Figura A9: Metodologia en espiral

Les quatre fases són:

- Planificació.** Es determinen els objectius i la meta del cycle que comença, després d'una investigació. Amb cada interacció augmentarà de codi entregat i de funcionalitat coberta.
- Anàlisi de Riscos.** S'avalua tot allò que pot afectar el projecte segons l'estat en el qual es trobi i el seu grau d'avanç. Per això es dissenyen els prototips que poden ser vàlids en el cycle.
- Implementació.** Es desenvolupa i valida el software segons el punt acordat, el qual està íntimament relacionat i condicionat amb l'anàlisi de riscos anterior.
- Avaluació.** Abans de procedir a realitzar un altre cycle s'ha de prestar atenció a succeït en aquest cycle. Analitzar al detall si els riscos detectats anteriorment ja tenen solució. Bàsicament, aquesta fase servirà per determinar l'avanç del projecte i donar pistes de cap a on s'ha d'enfocar a la pròxima iteració.

Metodologia en espiral <https://aspgems.com/metodologia-de-desarrollo-de-software-iii-modelo-en-espiral/>

#### Planificació

Aquest projecte tindrà 5 etapes o cicles diferenciats. El primer cycle es tracta de la investigació prèvia i primeres proves de concepte. En aquesta trobem la recerca de l'estat de l'art, definició objectius, de conceptes teòrics relacionats.

Al segon cycle trobem tot el disseny, documentació i implementació relacionada amb un primer prototip bàsic. Aquest prototip ens servirà per comprovar la funcionalitat i qüestionar-nos si els materials o components utilitzats són els adequats pel nostre projecte.

En el tercer cycle, després de veure etapa de evaluació en la metodologia, ens centrem en el disseny, documentació i implementació d'un prototip més complex, el qual ja ha de tenir les funcionalitats.

Com a quart cycle tenim el test i validació de prototip complex. Comprovar que tot funciona correctament i com nosaltres volem i fins i tot fer unes últimes millores al sistema.

I finalment com a cinquè cycle tenim tota la gestió d'acabar i arreglar la documentació per tenir-la a punt per a l'entrega i la defensa del projecte. Aquesta documentació ha iniciat des del primer cycle i a cada cycle es va afegint la documentació pertinent, per tant en aquesta etapa és més dedicada organització de la informació.



Figura A10: Diagrama de Gantt

Aquesta informació es pot veure el diagrama de Gantt, figura A11, del projecte.

### A2. EINES USADES

Tots els diagrames han estat fets amb un programari online Lucidchart.

<https://app.lucidchart.com/documents#/dashboard>

Per altre banda, la modificació de arxius 3D i la creació de algun altre han estat amb el Blender.

<https://www.blender.org/download/>

Finalment de programari hem utilitzat per la creació de codi i passar la informació al microprocessador es el Arduino IDE.

<https://www.arduino.cc/en/software>

### A3. EXPLICACIÓ DELS CODIS

En aquest apèndix hi trobareu una explicació dels codis que s'han fet servir al llarg del projecte.

#### PROVES DE CONCEPTE

En aquest apartat us parlarem dels codis per assegurar el correcte funcionament dels diferents components que es faran servir en el prototip.

##### Bluetooth (send i recv)

En tots dos codis el setup() es configura el component amb nom, rol, mètode de treball i si notifica. En el loop() o escolta i mostra per pantalla el que rep o envia constantment un missatge. Els codis ha sorgit després d'investigar en el datasheet, fòrums d'internet entre altres.

##### Sensor de Color (receptorColor)

Primer de tot, definint les entrades i sortides del sensor i relacionant-les amb els pins. Amb això podem filtrar quin valor RGB volem llegir per obtenir el seu valor, i mostrar-lo per monitor sèrie. Aquest codi està obtingut del datasheet.

##### Sensor de Distància (LaserDistancia)

Aquest codi se serveix d'una llibreria del fabricant on pràcticament ho ha resolt tot, només podem veure com comprova el funcionament del serial per comunicar i el filtratge de la mesura amb la qual ens dona les dades. El codi està obtingut del datasheet.

##### Motors

Aquest codi controlem el sentit de gir dels motors, tenim dividit en cada acció de moviment que pot fer el dron, així si en muntar el dron les polaritats canviesin, fos més fàcil canviar-la. En el vídeo en el qual ens vem informar de la controladora feien servir un codi similar.

#### PROTOTIP 1

##### Autònom 1 (autonom)

Amb els codis de les proves anteriors, de distància i motors. En el qual el dron simplement ha d'esquivar obstacles girant a dreta quan s'acosti molt.

##### Autònom 2 (autonomV2)

Amb el codi d'autònom hi afegim el sensor de color, amb la intenció de dictar les marques de terra i en fer-ho encendre el led corresponent.

##### Prototip 1 (prototip 1 i recv2)

Partint d'autònom 2 hi afegim la comunicació Bluetooth, amb ella tenim en compte el protocol amb els missatges ACK. En entrar en joc el protocol hem de modificar el codi del "dron" esclau perquè esperi i envii els ACK.

#### PROTOTIP 2

##### Demostració 1

##### (prototip2demo1 i prototip2rdemo1)

Amb els dos drons construïts partint del prototip 1 i tenint en compte el diagrama de flux, el qual es troba en el següent apèndix. En el qual un dron ha de deixar passar a l'altre, depenen d'on estiguin situats per la marca de color.

##### Autònom 3 (autonomV3p1 i autonomV3p2)

En tenir problemes, decidim prescindir un parell de proves amb el sensor de color, per això el code de la Demostració 1 trèiem la part del sensor de color. Aquí la idea es que el dron esclau es mou quan el màster no es mou i al revés. L'autonomV3p2 té dues versions, per comprovar si la connexió millorava.

##### Autònom 4 (autonomV4p1 i autonomV4p2)

En treure la comunicació Bluetooth al codi d'autònom 3, obtenim una versió millorada del Autònom 1, amb dos fitxers diferents, ja que cada dron té polaritats diferents per moure.

### A4. RESULTATS DE LES PROVES

En aquest apèndix hi trobareu els links a les fotos dels prototips i alguns dels vídeos amb els resultats de les proves fetes. Despres hi ha una explicació de que podeu veure en cada vídeo i classificat per les proves que s'estaven fent en aquell moment.

Album de Fotografies Prototip 1  
[https://drive.google.com/drive/folders/1le5VI0x\\_cK8VNkFSj6eHaWtZRUTFaxXD?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1le5VI0x_cK8VNkFSj6eHaWtZRUTFaxXD?usp=sharing)

Album de Fotografies Prototip 2  
[https://drive.google.com/drive/folders/1VmWH99rixFj029T3-ZDfm7a\\_M\\_CdSQjp?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1VmWH99rixFj029T3-ZDfm7a_M_CdSQjp?usp=sharing)

Carpeta amb els vídeos de les diferents proves  
<https://drive.google.com/drive/folders/1AAYVfLd2ENXPci7IpkuMm-oLTCc-DE6?usp=sharing>

## PROTOTIP 1

### Autonom 1

- [1] El prototip es mou i es pot veure com algun cop xoca i a algun altre para just abans de xocar.
- [2] El prototip evita un parell de cops xocar un parell de cops fins que no pot evitar xocar amb la paret.
- [3] El prototip xoca amb els objectes i quan xoca gira i segueix recta endavant fins que torna a xocar.

### Autonom 2

- [1] El prototip està sobre una marca groga, a l'inici es mou endavant i es para. En tornar a encendre la bateria es posa a girar sense parar.
- [2] Podem veure com el prototip es desvia de la trajectòria, evitant les marques de terra i xocant amb algun que altre obstacle.
- [3] Podem veure com el dron a poc a poc avança, mitjanament recta, però ignora les marques i el led no s'encén. Fins i tot xoca i no gira.

### Finals Prototip 1

- [1] Podem veure el led s'encén en tancar al flaix de la càmera i en deixar de tancar es torna a apagar.
- [2] Podem veure com el receptor mostra per la pantalla "P 255 0 0", sinònim a estic al vermell i com el dron està sobre la marca vermella.
- [3] El receptor està iniciant i quan és connecta amb el receptor aquest li dona posicions com "P 456 516 393" que demostra que el sensor de color no detecta cap color i el dron no es mou.
- [4] Podem veure que en perdre la connexió amb el receptor el dron es va posar a donar voltes.

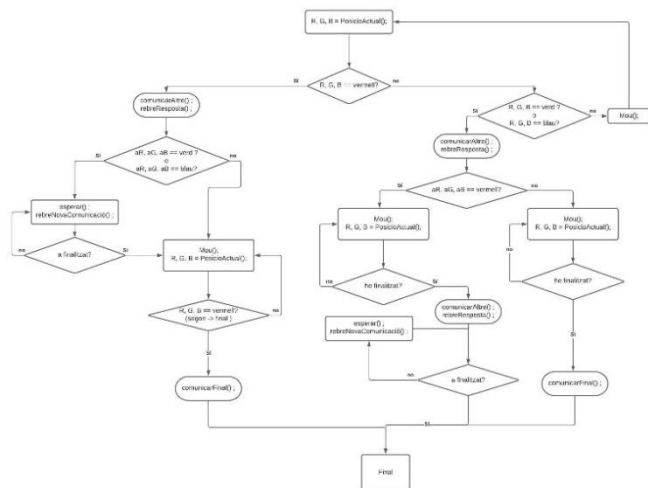
- [4] Els dos drons quiets cada un sobre una marca i com amb un lot intentem controlar la llum perquè es detecti la marca de color. El dron gris es posa a girar sobre si mateix i després d'una bona estona ho fa el dron blau.

### Autonom V3

- [1] Podem veure el drons amb el llum encès del Bluetooth, assegurant que estant connectats, davant d'unes caixes i no inicien.
- [2] En aquest, veiem com el dron màster (vermell) xoca contra les caixes i després gira, però en canvi el dron esclau no inicia.
- [3] Aquest vídeo podem veure la comunicació entre el dron esclau i un dispositiu mòbil.
- [4] Podem veure com el dron esclau es mou després de rebre el missatge de final a través del dispositiu. I com es pot veure al dispositiu els ACK.

## PROTOTIP 2

### Encreuament



- [1] Els dos drons quiets cada un sobre una marca i segons la llum del Bluetooth els dos estan connectats entre ells. El prototip 1 té el led vermell encès perquè està sobre aquella marca, però l'altre sobre la marca blava no hi ha encès el led. I cap dels dos té la informació d'on és l'altre.
- [2] Els dos drons quiets cada un sobre una marca i de cop i de volta els dos es posen a girar sobre si mateix.
- [3] Els dos drons quiets cada un sobre una marca i com amb un lot intentem controlar la llum perquè es detecti la marca de color. Finalment el dron blau es posa a girar sobre si mateix.