E-WAY

Disseny i Construcció d'un Segway

ELOI QUINTANA FERRER
2n Batxillerat A

Quim Farrés

Institut Pla de l'Estany
10 d'octubre de 2017

AGRAÏMENTS

Seguint la tradició dels treballs de recerca que estableix que les primeres línies per llegir han de ser les últimes en ser escrites, vull donar les gràcies a les següents persones:

Al meu tutor Quim Farrés: Per estar al meu costat durant tot el llarg procés del treball, per estar a disposició qualsevol hora per qualsevol problema que hi hagués, i sobretot per ajudar-me a resoldre'l.

Al meu pare Santi Quintana: Per ajudar-me a la resolució de la part pràctica i per recolzar-me durant el projecte.

Al meu tiet Martí Quintana: Pel temps que ha dedicat a realitzar les peces d'alumini, i per facilitar-me el contacte amb una empresa que disposa d'un torn.

A l'empresa Guives Girona: Pel suport que m'ha donat en fabricar-me les peces d'alumini.

Finalment voldria agrair a totes les persones que m'envolten que m'han recolzat en els moments més complicats, i que m'han donat confiança per seguir endavant.

COS TEÒRIC

PRÒLEG 5

1. EL SEGWAY
   1.1. Què és? Conceptes 9
   1.2. Història 9
   1.3. Normativa 10
   1.4. Funcionament 12
      1.4.1. Principi de funcionament 13
      1.4.2. PID (Proporcional, Integral i Derivatiu) 14
      1.4.3. Parts d'un Segway 16
      1.4.4. Disseny 20
2. PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ DE L'E-WAY
   2.1. Anàlisis i comparativa del hardware 21
      2.1.1. Rasperry Pi 23
      2.1.2. Arduino 24
      2.1.3. Lego Mindstorms 25
      2.1.4. Síntesi 26
   2.2. Disseny del programa 26
      2.2.1. Definició 26
      2.2.2. Bases de la programació 27
      2.2.3. Programa final 28
         2.2.3.1. Estructura 28
         2.2.3.2. Seguretat 29
         2.2.3.3. Llibreries 30
         2.2.3.4. Codi de programació 31

COS PRÀCTIC

3. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA A RESOLDRE
   3.1. Definició 33
4. DISSENY I CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP A ESCALA
   4.1. Proposta de solució 35
   4.2. Pressupost 35
   4.3. Disseny 36
   4.4. Esquema elèctric de connexions 37
   4.5. Fases de construcció 38
   4.6. Síntesi 39

5. DISSENY I CONSTRUCCIÓ DEL E-WAY
5.1. Plantejament 41
5.2. Pressupost i materials 41
5.3. Disseny 44
5.4. Esquema elèctric de connexions 44
5.5. Fases de construcció 47
5.6. Fase de proves i resultat 53
5.7. Taula de comparació 55
6. SÍNTESI I CONCLUSIONS
6.1. Síntesi 56
6.2. Conclusions 57
6.3. Pla de futur 58

BIBLIOGRAFIA 59

APÈNDIX:

A. FUNCIONS BÀSIQUES D'ARDUINO 62
B. DISSENY PECES D'ALUMINI 63

PRÒLEG

Aquest capítol exposa la justificació, la motivació i els objectius d'aquest treball, juntament amb la metodologia utilitzada.

JUSTIFICACIÓ I MOTIVACIÓ

Des de ben petit que m'ha fascinat el món de la tecnologia. Quan cursava 2n d'ESO, per nadal els meus pares em van regalar un val per anar a fer activitats a l'aire lliure. Una d'aquestes activitats era fer una excursió en un vehicle personal anomenat "Segway". Per mi, en aquell moment, el "Segway" era com un vehicle del futur. No em podia creure que amb només dos rodes es podia aguantar estabilitzat. En aquell moment la teoria que vaig formular era que funcionava amb contrapesos en el seu interior, i que estaven en constant moviment per tal que el Segway s'aguantés. A partir d'aquí, durant els següents anys fins avui dia, hi he anat varies vagades més, el problema és el seu elevat cost, tant de compra com de lloguer.

Així que durant l'estiu de l'any 2014 vam estar parlant amb els amics sobre treballs de recerca, jo tenia molt clar que volia fer un "Segway", jo ho veia possible ja que des de 1r d'ESO que vaig a classes de programació, m'encanta dissenyar i crear coses. Veia, i actualment veig, que aquest projecte està dins dels àmbits que a mi m'agraden.

Ara fa un any va començar el projecte al qual vaig anomenar E-Way on la "E" prové de futur sostenible i de l'inicial del meu nom, i "Way" prové de l'anglès on significa camí . Podria definir-ho com "el camí del futur". A partir d'aquí vaig començar a buscar informació sobre el "Segway", i si, realment tenia a l'abast tots els medis per poder-lo dissenyar i crear. Amb aquesta informació vaig poder presentar la proposta del treball al meu tutor, així mateix vaig començar a

investigar profundament sobre el Segway i vaig iniciar un *blog*[1] per el treball diari que realitzava, on més endavant l'explico amb més detalls.

A mesura que anava avançant el treball i començava el procés de fabricació del prototip, veia que havia comés varis errors. En aquest punt vaig investigar com podia corregir aquests errors, i aplicar aquestes correccions al disseny final. En aquest moment em trobava amb problemes per poder aconseguir l'eix de les rodes, i vaig contactar amb el meu tiet on em va posar en contacte amb dues empreses per fabricar els diversos components d'alumini que els dos havíem dissenyat.

Un cop finalitzat el projecte, veig que en un futur podria derivar a moltes branques:

- En seguretat: Un vehicle capaç de agilitzar les feines dels cossos de seguretat.
- En les persones discapacitades: Un vehicle capaç de facilitar el transport de les persones amb una malaltia que els hi dificulti o sigui nul el moviment.
- En vehicles sostenibles per el medi ambient: Un vehicle sostenible capaç de contribuir en el medi ambient, en una ciutat sostenible i substituir vehicles que provoquin gasos contaminants. Aquesta branca el vehicle ja l'ha complert.

Al final del treball podem trobar un total de dos apèndixs:

A l'Apèndix A, hi trobem la base fonamental de programació amb l'Arduino. En els diferents requadres podem observar diferents parts de la base de programació (estructura bàsica, biblioteques, variables, funcions...).

A l'Apèndix B, podrem trobar tots els plànols de les peces d'alumini fabricades únicament per aquest projecte.

OBJECTIUS

- Aconseguir construir el vehicle final que anomenaré "E-Way" i que funcioni correctament. Per mi és l'objectiu principal d'aquest projecte.
- Construir el vehicle sense sobrepassar el seu valor de mercat.
- Conèixer el funcionament d'un Segway

[1] **Blog**: Diari interactiu personal.

- Cercar la informació necessària per a la construcció i programació a Internet i a llibres especialitzats.
- Aprendre a utilitzar i programar diferents plaques electròniques.
- Adquirir coneixements per a la reutilització de components vells per la construcció del E-Way, utilitzant el mètode DIY.
- Cercar i escollir components òptims en relació qualitat/preu en diferents botigues per a la realització del projecte.
- Aconseguir que el vehicle sigui el màxim d'eficient pel medi ambient.

HIPÒTESIS

Les dues hipòtesis del meu treball són les següents:

- El prototip desenvolupat amb els seus diferents components electrònics i mecànics s'estabilitza amb només dues rodes.
- L'E-Way també s'estabilitza, però només quan una persona està al damunt, i quan el conductor s'inclina l'E-Way es mou en direcció a la inclinació del conductor.

PLANIFICACIÓ DE LA RECERCA

1. Buscar informació sobre el "Segway" en general, a diferents fonts d'informació, tals com pàgines web, biblioteques..
2. Recerca d'informació sobre plaques electròniques que es poden utilitzar per realitzar el projecte.
3. Disseny i Programació del programa per el prototip i l'E-Way.
4. Recerca de peces necessàries per realitzar el prototip.
5. Disseny i construcció del prototip.
6. Programació del prototip.
7. Resolució dels problemes i síntesis del prototip.
8. Preparació del projecte E-Way.
9. Disseny del projecte
10. Recerca de peces reutilitzades per casa i a continuació recerca de peces en diferents planes web per adquirir-les el més barat possible.
11. Procés de muntatge del vehicle.
12. Posada en funcionament de l'E-Way.
13. Treure el resultat i la conclusió final, tenint en compte els coneixements adquirits en el procés de fabricació, els objectius i la hipòtesis.

METODOLOGIA

Figura 1 – Enllaç a la pàgina web www.eloiquintana.com

Durant el procés de construcció del E-Way i del prototip inicial, utilitzaré un mètode molt conegut per internet anomenat DIY (Do It Yourself), traduït seria "fes-ho tu mateix". Consisteix en reutilitzar materials que ja disposes per casa, i crear varis elements tu mateix sense haver-los d'adquirir, això disminueix enormement el cost del vehicle.
M'he centrat en utilitzar aquesta metodologia perquè el propi vehicle surti amb una relació qualitat/preu molt econòmic comparat amb vehicles similars.
Tot i així, gran part de les peces no podré crear-les jo mateix, ja que són molt delicades i no disposo de eines per a realitzar-les. En casos així no tindré cap més opció que adquirir el producte a la botiga més econòmica del mercat.

També per realitzar un complet seguiment del treball, he creat la meva pròpia pàgina web on es podrà visualitzar el treball diari que he realitzat amb moltes més fotos i amb més detall per aprofundir sobre qualsevol tema del que es tracti en aquest treball. A través del codi QR de la part superior pot accedir directament al la meva pàgina web.

1 CAPÍTOL

EL SEGWAY

Aquest capítol exposa tot el contingut sobre el Segway inclòs les seves característiques i el seu funcionament.

1.1 QUE ÉS? CONCEPTES

Figura 2 - Segway i2

El Segway és un vehicle de transport eficient de dues rodes autoequilibrat mitjançant diferents dispositius electrònics. El Segway es controla mitjançant un aparell anomenat acceleròmetre que calcula l'angle en el qual està actualment el Segway i activa o desactiva els motors perquè el centre de gravetat sempre estigui controlat. Mitjançant l'angle del cos de la persona que el condueix, es pot controlar la velocitat, i amb el manillar es pot controlar la direcció del vehicle. Actualment existeixen diversos tipus d'aquests vehicles, per una part hi ha vehicles urbans que estan dissenyats per recórrer carrers, i per altra banda hi ha els vehicles preparats per muntanya, en el qual aquests són molt més robustos per poder afrontar gairebé qualsevol impediment que ofereixi el sòl.

1.2 HISTÒRIA

Dean Kamen el creador del famós Segway, passejava pel carrer quan va veure un jove amb cadira de rodes intentant pujar la vorera, i va veure com ho va aconseguir gràcies a l'autoequilibri que va fer amb les dues rodes grans.

El jove inventor, juntament amb el seu equip van començar a desenvolupar un vehicle semblant al Segway actual, anomenat IBOT.

Aquest és va desenvolupar a mitjans del 1990 a la Universitat de Plymouth, el propi creador anys després va obrir l'empresa Segway Inc. amb un nou dispositiu, el Segway PT, ja que veia molt de futur en aquets vehicles.

El Segway que coneixem avui dia, no es va presentar fins l'any 2001 al mercat. Aquell temps és va donar a conèixer com el transport del futur, però no va ser així, ja que el seu elevat cost de venta (més de 90.000€) i la seva poca autonomia, va provocar que les seves ventes al mercat fossin molt inferiors a les previstes. Aquí va ser quan el Segway va entrar en crisis. Poc temps després el van haver de retirar del mercat per altres problemes relacionats amb la bateria.

Uns anys després al 2005, l'empresa va tornar a aixecar-se de nou, amb nous dissenys, i amb un preu més econòmic del que era anteriorment. Tot i així, els Segway continuen essent cars envers a altres vehicles de mobilitat personal i eficient.

Pocs anys després, al 2010, Jimi Heselden va comprar la companyia, i després de 9 mesos va morir en una sortida per la muntanya amb el seu propi vehicle, el qual era una de les noves creacions que la companyia volia treure al mercat.

Actualment la companyia està llençant models dels propis vehicles amb una dimensió més reduïda, cosa que significa una disminució del preu final on revolucionen la manera de transport eficient.

1.3 NORMATIVA

La normativa al llarg dels anys ha anat canviant, i a cada país és diferent. Aquí a Espanya, no existeix una regulació clara, actualment hi ha un buit legal. Així que per posar solució a aquest buit legal, la legislació espanyola ha imposat que cada municipi ha d'establir la seva pròpia normativa pels VMP (Vehicles de Mobilitat Personal).

L'augment dels VMP al mercat actual i al públic, fa que es produeixi una problemàtica tant pels usuaris que els utilitzen com pels vianants. Aquests són els punts de problemàtica més importants segons l'Ajuntament de Barcelona:

- En la circulació: Durant aquests darrers anys ha augmentat els atropellaments de vianants, i els problemes de convivència amb altres usuaris com patinadors, *skaters*...
- En l'espai públic: Hi ha una sobreocupació en els punts de concentració tant d'origen del trajecte com en el final, també hi ha un gran impacte sobre l'espai públic, sobretot en les voreres.
- En la inspecció: Pateixen una dificultat en el control dels VMP per part de la Guàrdia Urbana.
- En la regulació: Un principal problema, la situació legal actual és molt feble, gairebé nul·la.
- En l'economia local: Esdevé un problema per la falta de regulació, ja que dificulta l'emprenedoria.

A Barcelona s'ha aplicat fa pocs dies una regulació que diferència en diverses classes els vehicles, amb uns objectius molt clars. Principalment aquesta regulació es fa per solucionar la problemàtica esmentada anteriorment, entre altres. Aquesta regulació afecta directament en aquest projecte.

Figura 3 - Taula de comparació tipus de vehicles

L'E-Way, al ser un vehicle que pesa més de 25Kg però no sobrepassa els 50Kg, entraria dins del grup de vehicles tipus B, que engloba aquestes regles:

- Ús obligatori del casc.
- Ha de tenir obligatòriament un timbre, llums i reflectors al davant i al darrera.
- No es pot utilitzar a les voreres ni a les calçades principals.
- Es pot utilitzar al carril bici, a parcs i a calçades de zona 30, amb una separació dels vianants mínim 1,5 metres.

Existeixen quatre grups més de VMP (A, C0, C1 i C2), que engloben qualsevol vehicle de mobilitat personal (des d'un *Hoveboard*[2] de menys de 25Kg a una bicicleta amb carro per transportar persones que pesa mes de 300Kg), que s'aplica tant en l'àmbit personal com en l'àmbit empresarial.

1.4 FUNCIONAMENT

El funcionament pràctic de qualsevol usuari que utilitza un Segway és molt senzill. El vehicle només cal arrencar-lo mitjançant una clau a distància (semblant a un cotxe) anomenada "InfoKey", i a continuació amb seguretat pujar-hi a poc a poc. El seu control és molt senzill, per avançar o retrocedir només cal inclinar el nostre cos enrere o endavant, i el gir és bàsicament tombar el manillar cap al costat que desitgem anar. La frenada també es realitza mitjançant el cos, si vols frenar l'únic que has de fer és inclinar-te en direcció contraria en la qual estàs avançant.

A simple vista el funcionament sembla molt senzill, però al seu interior s'amaga una tecnologia avançada i precisa controlada per un microcontrolador.
A continuació veurem el funcionament intern que utilitza el vehicle en el qual es basa en càlcul matemàtic mitjançant diverses variables i sensors.

[2] **Hoveboard**: Vehicle molt semblant al Segway però sense manillar.

1.4.1 PRINCIPI DE FUNCIONAMENT

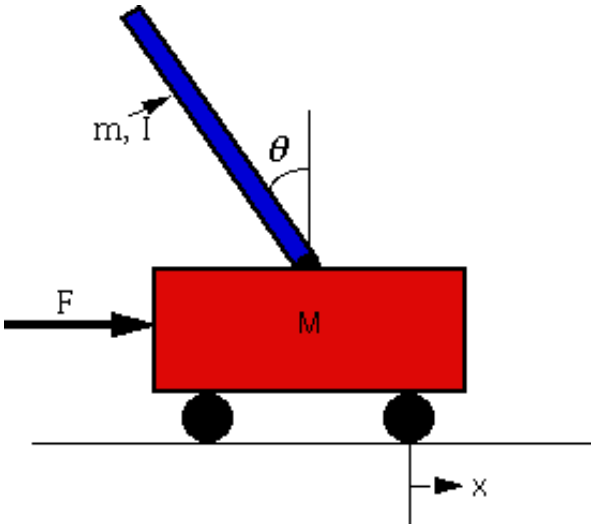


Figura 4 – Principi de funcionament d'un Segway

El principi de funcionament d'un Segway és igual que el d'un pèndol invertit.

Tenim en compte aquestes variables:

F=Força dels motors.
m= Massa (que correspondria a la persona que puja al vehicle).
o = angle que s'ha de corregir..

El pèndol invertit es basa en dues masses (m i M) a la part superior i amb un carro que es pot moure horitzontalment gràcies a la força (F) que proporciona els dos motors. Aquest pèndol sense cap força és molt inestable, i s'ha de mantenir estable mitjançant el moviment horitzontal del carro, realitzant una oscil·lació de la força del punt de contacte entre el cos M i el cos m.

Aquesta oscil·lació de la força, en aquest cas es calcula mitjançant el PID que consisteix en una sèrie de càlculs que corregeixen l'error entre el valor de l'angle mesurat i el valor de l'angle que volem obtenir, en aquest cas, angle de 90º.

Aquest tipus de pèndol és un problema clàssic a la teoria dinàmica, un exemple pràctic seria amb un sol dit mantenir verticalment una escombra.

En el cas d'un Segway quan el centre de gravetat de la persona es mou, l'angle del vehicle també varia i mitjançant els dos motors es corregeix aquest angle fent així que augmenti la velocitat del propi vehicle i alhora que s'estabilitzi.

1.4.2 PID (Proporcional, Integral i Derivat)

Tal com he esmentat anteriorment, el PID és un mecanisme de control el qual corregeix l'error entre un valor A i un valor B que volem obtenir. En el cas del Segway el valor A seria el propi angle en què es troba el propi vehicle(valor el qual s'ha de corregir per obtenir el valor B), i el valor B seria l'angle que volem obtenir, en aquest cas seria de 90º respecte l'horitzontal.
El PID es basa en un algoritme comú basat en tres variables, la Proporcional, l'Integral i el Derivatiu (d'aquí prové el seu nom).

- Proporcional: Determina la reacció de l'error actual.
- Integral: Genera una correcció proporcional amb l'integral (cosa que ens assegura que l'error es redueixi a 0)
- Derivat o Derivatiu: Determina el lapse temps en el qual l'error de l'angle es produeix i a continuació es corregeix.

Perquè el PID funcioni correctament i corregeixi l'error del valor obtingut del sensor d'angle amb la màxima eficiència, es requeririen programes especials amb molts factors a tenir en compte per trobar la perfecció. Aquest programa és molt complicat d'utilitzar, tot i així existeix una alternativa per trobar aquests valors: Aquesta alternativa consisteix en anar canviant els valors manualment fins que es mantingui estable. Aquests són els passos a seguir per fer-ho d'aquesta manera:

1. Primerament col·loquem els valors de l'Integral i del Derivat a "0", i amb el mecanisme en funcionament ajustem la Proporcional manualment fins que veiem que corregeix correctament l'error i aconsegueix la seva estabilitat.
2. Seguidament augmentem el valor de l'Integral fins que veiem que el temps de reacció és cada vegada menor, en conseqüència es manté molt millor.
3. Finalment també augmentem el valor del Derivat, fins que veiem que la reacció de moviments bruscos és l'adequada.

Realitzant aquest segon mètode, podem arribar a trobar els valors de PID del nostre sistema, no de manera molt precisa però suficientment estable com per poder utilitzar-lo correctament.

El PID s'utilitza en molta varietat de dispositius electromecànics i electrònics, com pot ser el control de temperatura, en la regulació dels motors en un *dron*[3] o d'un vehicle, entre altres.

[3] **Dron**: Aeronau no tripulada.

1.4.3 PARTS D'UN SEGWAY

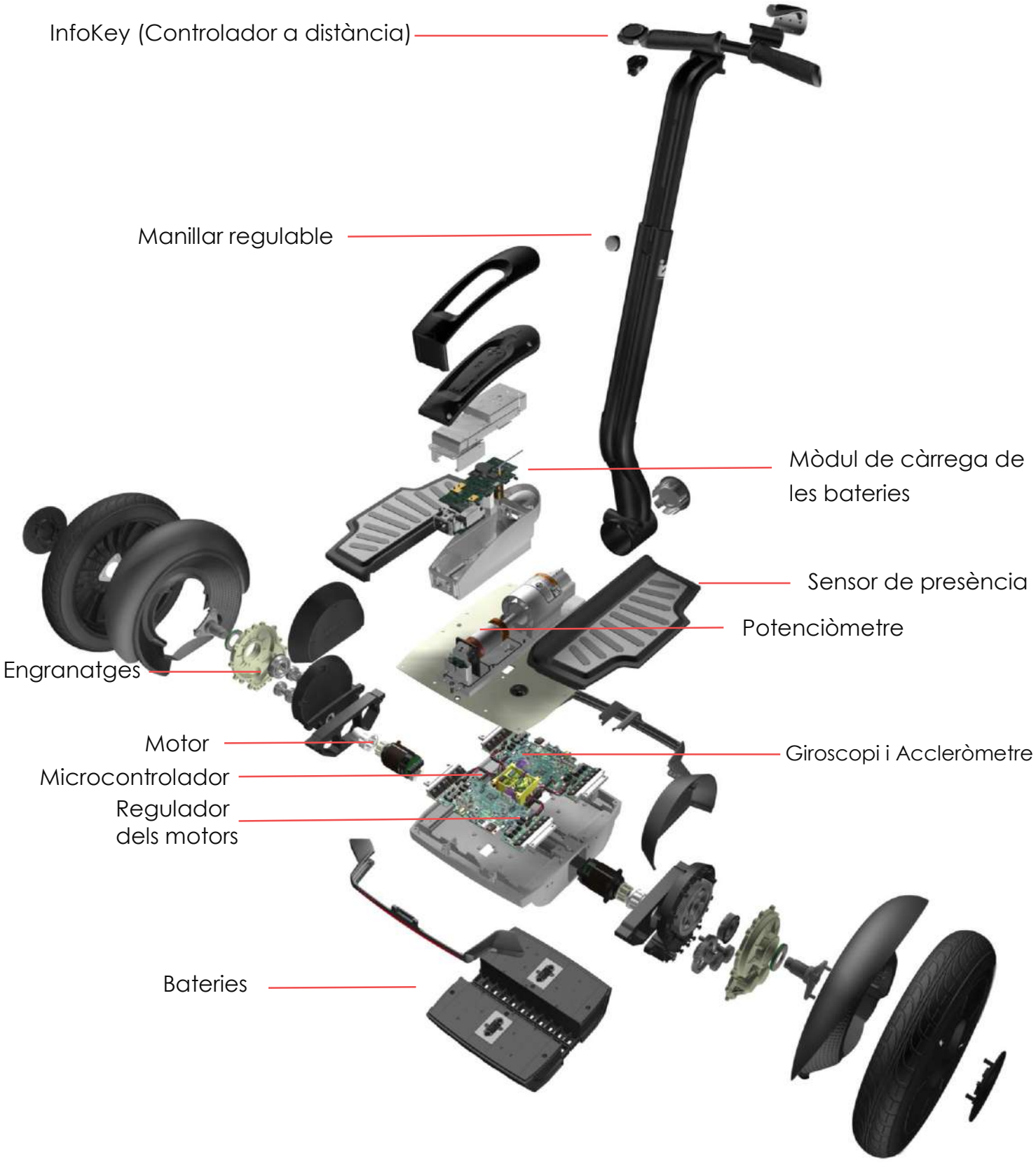


Figura 5 – Pars desglossades d'un Segway I2

Per poder mantenir el Segway en la posició vertical i pel seu control són necessàries una sèrie de sensors i dispositius electrònics que vetllin per la seguretat, calculin l'angle, la velocitat i l'acceleració de si mateix, processin les dades dels sensors, etc.
A continuació detallaré les parts més importants:

Acceleròmetre i Giroscopi

L'acceleròmetre i el giroscopi en aquest cas es troben incorporats en una mateixa placa.
L'acceleròmetre és un sensor que s'encarrega de mesurar l'acceleració que compren l'angle del vehicle.
En aquest cas no calcula l'acceleració habitual de moviment de coordenades (ex: A l'arrencada d'un vehicle, l'acceleració seria la velocitat del vehicle amb el temps), sinó el que calcula és l'acceleració que compon les components (X, Y i Z).
Per altra banda el giroscopi és un sensor en el qual mesura l'angle respecte l'horitzontal en els tres eixos de la component (X, Y i Z).

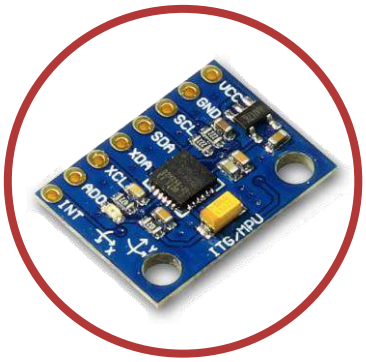


Figura 6 – Sensor MPU6050

Microcontrolador

Figura 7 – Arduino Mega 2560

El Segway original utilitza un microcontrolador propi d'alt rendiment. En el meu cas compararé tres microcontroladors més coneguts en el mercat, i utilitzaré en el projecte el que s'acosti més a les meves necessitats.

Regulador dels Motors

Els motors no poden anar connectats directament al microcontrolador, ja que requereixen molta potència per funcionar i treballen a un voltatge diferent. Aquest utilitza el senyal digital que rep del microcontrolador a un voltatge reduït per donar més o menys intensitat a cada motor.

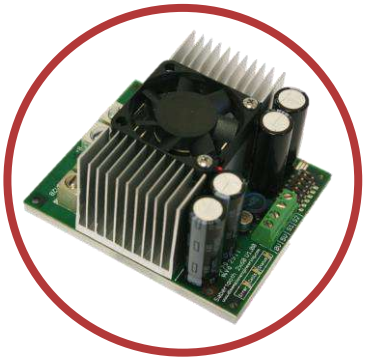


*Figura 8 – Regulador Sabertooth 2*60*

Brunzidor

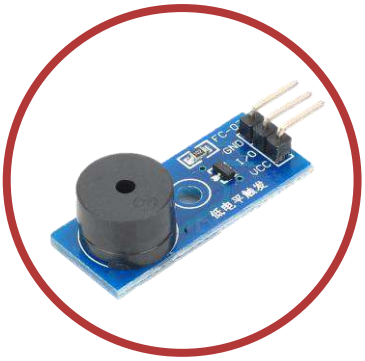


Figura 8 – Brunzidor 5v

El brunzidor és com un petit altaveu que envia senyals sonors sobre l'estat i el funcionament del vehicle. Quan el Segway està preparat i totalment equilibrat a l'arrencada, quan hi ha algun error, o quan el conductor puja o baixa del vehicle genera un senyal sonor per avisar, juntament amb un avís a *l'InfoKey*.

Sensor de presència

El sensor de presència està ubicat sota la plataforma on el conductor posa els dos peus. En el Segway original en total hi ha quatre sensors (dos per cada peu) per així assegurar que el conductor estigui posicionat correctament al centre, i obtenir una millor estabilització del vehicle.

Figura 10 – Sensor de presència

Dispositiu de control a distància

Figura 11 – Infokey d'un Segway

Pel control del vehicle, el Segway utilitza un dispositiu que han anomenat "InfoKey", una petita pantalla configurable amb tota la informació disponible sobre el vehicle. Jo utilitzaré una base fixada en el manillar amb una pantalla monocromàtica de 16x2 caràcters i tres polsadors per controlar tot el dispositiu, i a més l'integraré Bluetooth per controlar-lo a llarga distància.

Motors

El Segway original disposa dos motors de 1000W cada un, que donen la suficient potència per accelerar-lo fins a 20Km/h, per pujar pujades de fins a 20º, i per recórrer entre 24 i 38Km. Una característica molt curiosa és que amb la potència que donen els motors, és suficient per a poder pujar escales. En el meu cas utilitzaré motors de 500W, més endavant ho detallaré.

Figura 12 – Motor 24v 500W

Bateria

Figura 13 – Bateria 12v 18Ah

El vehicle utilitza dos bateries independents per garantir la seva estabilitat i durabilitat. Les dues bateries són de 73,6v i 5,2A on podem amb una senzilla fórmula calcular la potència.

$P = I * V$

$P = 5{,}2 * 73{,}6 = 382{,}72W$

P= Potència (W)

I = Intensitat (A)

V = Voltatge (v)

Observem que només les bateries donen 382,72W a 73,6v, i els motors funcionen a 24v o 48v a 1000w cada un. Això es fa perquè a l'augmentar el voltatge la intensitat pot ser menor i per tant les bateries donen bastant més rendiment, ocupant menys espai. El mateix Segway utilitza un transformador per ajustar-la al voltatge i a la intensitat adequada per realitzar les funcions que són necessàries.

Engranatges

Un dels punts forts del Segway són els engranatges, ja que per una banda ha de poder anar a una velocitat moderada-alta i per l'altra banda també ha de poder pujar pendents. Per això s'ha buscat una proporció de motor – roda adequat.
El motor gira a unes 2700rpm, i amb els engranatges els transforma a unes 450rpm amb una proporció de 1:6, aproximadament. Suficient per a poder arribar a uns 20Km/h i pujar pendents de fins a 20º.

Figura 14 – Conjunt d'engranatges

1.4.4 DISSENY

El disseny d'un Segway original està estrictament pensat perquè sigui un dels millors vehicles autobalancejats del mercat. El seu disseny futurista fa que sigui compatible amb una vida urbana com pot ser una ciutat, i la seva rugositat fa que puguis desenvolupar el seu camí cap a la muntanya, i fer rutes còmodes sense fer cap esforç.

El seu pes de no més de 50Kg, el seu volum i el fet que puguis desmuntar-lo en diverses peces, fa que puguis transportar-lo a qualsevol lloc sense cap complicació, ja que queda reduït a una petita caixa.

2

CAPÍTOL

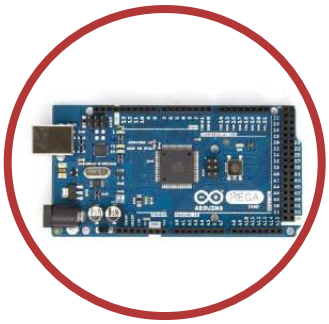
PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ DE L'E-WAY

El següent capítol exposa tot el procés per la creació del sistema electrònic.

El hardware i el software són la base de qualsevol dispositiu tecnològic d'avui dia. No hi ha gairebé cap dispositiu actual que no utilitzi un sistema electrònic pel seu control. És per això que per poder desenvolupar l'E-Way cal seleccionar i programar correctament tot el sistema electrònic.

2.1 ANALISIS I COMPARATIVA DEL HARDWARE

Per poder dur a terme el desenvolupament del E-Way, una de les parts principals que controla el vehicle és el cervell, també anomenada placa base o placa mare. Actualment amb la gran varietat de plaques base és bastant difícil poder escollir la placa que s'adapti al projecte. En aquest cas, he escollit les tres plaques més conegudes en el mercat actual per les seves destacades característiques.



	Arduino Mega	**Rasperry PI**	**Lego Mindstorms**
Codi de Programació	C++	Phyton	Icones
Velocitat del processador	16MHz	700MHz	?
Processador	AVR ATmega2560	ARM11	ARM 9
Consum	250mA	700mA	?
RAM	8Kb	512Mb	64Mb
Memòria Flash	256Kb	-	16Mb
Memòria EEPROM	4Kb	-	-
Entrades/Sortides	54 Digitals i 16 Analògiques	8 Digitals	8 Ports
Sistema Operatiu	-	Linux, Windows...	Linux
Preu	20€	35€	199€

A continuació detallo tots els avantatges i inconvenients amb profunditat per poder seleccionar la placa base ideal per aquest projecte.

2.1.1 RASPERRY PI

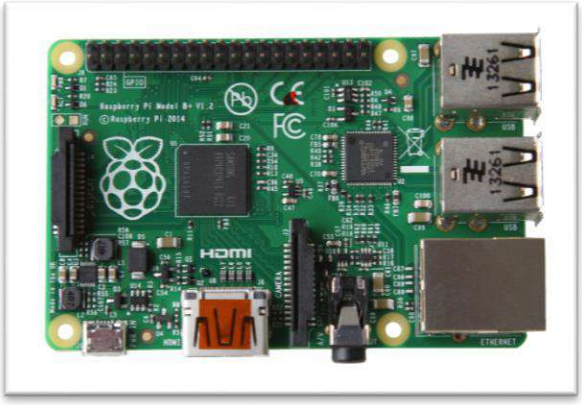


Figura 14 – Vista superior de la placa Rasperry Pi.

La Rasperry Pi és una placa base coneguda per ser de codi obert. També és molt coneguda pel seu gran processador d'alt rendiment amb un preu final de la placa molt econòmic. Per la seva potència de processament no es considera microcontrolador, sinó ordinador.

A través d'aquesta placa pots fins i tot instal·lar-hi sistemes operatius com Linux o Windows 10. Gràcies a la instal·lació d'aquests pots introduir-hi programes específics complexos, per a projectes de gran capacitat.

Avantatges:

- **Processador ràpid**: Gràcies al seu processador de 32/64 bits, pots fins i tot col·locar-hi un sistema operatiu, normalment Linux.
- **Gran varietat de connexions USB**: Disposa de 4 USB per connectar-hi diferents aparells electrònics, com podria ser un USB, lector de targetes...
- **Connexió de xarxa integrat:** La mateixa placa incorpora la connexió a la xarxa per aplicacions Wifi o similars. Mides de la placa adequades pel projecte.
- **Realitzar diverses tasques a la vegada**: Gràcies al seu gran processador pot realitzar diverses tasques simultànies.

Inconvenients:

- Consum d'energia elevat.
- Programació amb Phyton i pocs ports de sortida/entrada per a sensors.
- Encesa i parada amb un temps bastant llarg.

2.1.2 ARDUINO

Figura 15 – Logotip del microcontrolador Arduino

L'Arduino és una placa de Codi Lliure, reconeguda pel seu preu, per la seva gran comunitat a internet i per la seva senzillesa i al mateix temps avançada alhora de programar. Existeixen moltes varietats de plaques d'Arduino (compactes, petites, grans..), això l'afavoreix molt, ja que depenent del projecte pots seleccionar la placa base que s'adapti millor.

L'Arduino es programa a través de Codi Lliure mitjançant el llenguatge C++, amb el seu software especialitzat. L'Arduino ofereix llibreries que qualsevol persona pot realitzar, que faciliten la feina de determinades tasques com seria la de control de diferents dispositius electrònics.

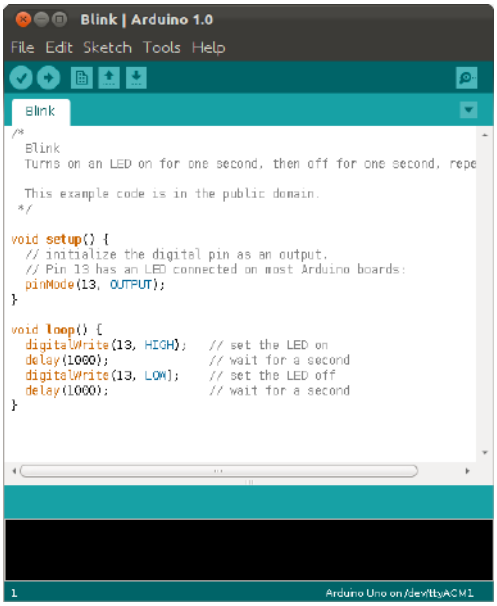


Figura 16 – Plataforma de programació d'Arduino

<u>Avantatges</u>:

- Preu econòmic.
- Gran varietat de llibreries descarregables, que t'ajuden a programar d'una manera més senzilla.
- Parada i engegada de la placa sense necessitat d'avisar-la i amb rapidesa.
- Baix consum d'energia (100mA).

<u>Inconvenients</u>:

- No pot realitzar diverses tasques a la vegada.
- Unitat de processament lent. El seu processador no és gaire potent, però suficient per realitzar projectes d'aquest tipus o superiors.

2.1.3 LEGO MINDSTORMS

Figura 17 – Placa base Lego Mindstorms

És una placa coneguda per la seva viabilitat amb les peces comunes de Lego, i molt fàcil programar-la mitjançant icones. Les seves connexions amb dispositius es realitzen a través de cables especials. No suporta connexions amb dispositius no oficials de la marca Lego, cosa que fa que no puguis realitzar qualsevol tipus de projecte. El preu d'aquesta placa és molt més elevada que les més usuals.

Avantatges:

- Fàcil de programar mitjançant icones.
- Gran comunitat en fòrums de la seva pàgina web.
- Viabilitat en construcció a partir de peces de Lego.
- Processador alt rendiment ARM 9 basat amb el sistema operatiu Linux
- Memòria expansible fins a 32Gb mitjançant una targeta SD
- Pantalla i 6 botons integrats en la mateixa base

Inconvenients:

- Grans mides de la placa base, i dels seus components.
- No és de Maquinari Obert, per tant queda limitat alhora de connectar-hi dispositius. Només es poden connectar els oficials provinents de Lego.
- Només 8 ports de connexió per a sensors.

2.1.4 SÍNTESIS

Finalment he escollit treballar amb la plataforma Arduino, ja que el seu consum d'energia baix, la facilitat de programació que disposa i l'experiència pròpia que tinc en programar la placa, em porta a utilitzar-la per aquest projecte.

He escollit el model Arduino Mega 2560, un dels models més potents que disposa la marca, en el qual les seves especificacions són les més adequades per aquest projecte:

- Disposa de 54 connectors digitals, i 16 connectors analògics.
- 4 ports sèrie per l'intercanvi de dades, importants per supervisar tots els sensors
- Compta amb una velocitat de processador de 16 MHz (en el qual hauré de limitar a una velocitat inferior, ja que els altres sensors són més lents).

2.2 DISSENY DEL PROGRAMA

2.2.1 DEFINICIÓ

Una vegada triat el microcontrolador que farem servir pel projecte, hauré d'aprendre el llenguatge de programació que utilitza l'Arduino, el C++.
Durant els anteriors estius vaig anar a classes de programació amb Java, que és el llenguatge més usat i senzill d'utilitzar, que agrupa tots els altres llenguatges (perfecte per aprendre la base de programació, que és semblant a tots els llenguatges).

2.2.2 BÀSES DE LA PROGRAMACIÓ

ESTRUCTURA

L'Arduino utilitza un llenguatge de programació anomenat C++. Hem de recordar que l'Arduino no és humà i no raona, és a dir, utilitza la lògica per poder processar el que li programem, per tant, qualsevol cosa que li escrivim i no l'entengui no serà processada i ens retornarà un error.

```
//Declaració de variables
int variable = 0;

void setup(){
//Programa d'arrencada
}
void loop()
{
//Programa principal
}
```

Figura 18 – Estructura bàsica

L'estructura bàsica de l'Arduino és molt senzilla i s'ordena de la següent manera:

- Declaració de Variables
- setup()
- loop()

- La declaració de variables serà detallada seguidament en un apartat amb més profunditat per poder entendre el programa perfectament.
- La funció setup() s'executa només una sola vegada quan el microcontrolador s'arranca, i no es tornarà a executar fins que l'Arduino es reinici o s'apagui. S'utilitza per declarar les diverses configuracions de diferents elements com la velocitat de comunicació o la configuració d'un pin.
- La funció loop() s'executa una vegada s'ha executat per complet la funció setup(). Aquesta és la funció principal del programa, i tal com es diu la pròpia funció s'executa un cop darrere l'altre, creant un bucle infinit.

A l'Annex 1 podem observar totes les funcions bàsiques disponibles en la plataforma d'Arduino i que s'utilitzaran al llarg del programa.

2.2.3 PROGRAMA FINAL

Una vegada sabem les funcions bàsiques que ens ofereix la plataforma Arduino, iniciem l'etapa de formar el codi de programació en el qual la base servirà tant pel prototip com pel projecte final.

2.2.3.1 ESTRUCTURA

Per poder començar el projecte, primer s'ha de recopilar tota la informació possible (codi, fòrums, llibreries...) que ens faciliti la creació de la base del programa perquè el vehicle disposi una estabilització. I a continuació planejar l'estructura que tindrà el programa. La següent imatge podem observar l'estructura més bàsica pel funcionament del propi vehicle.

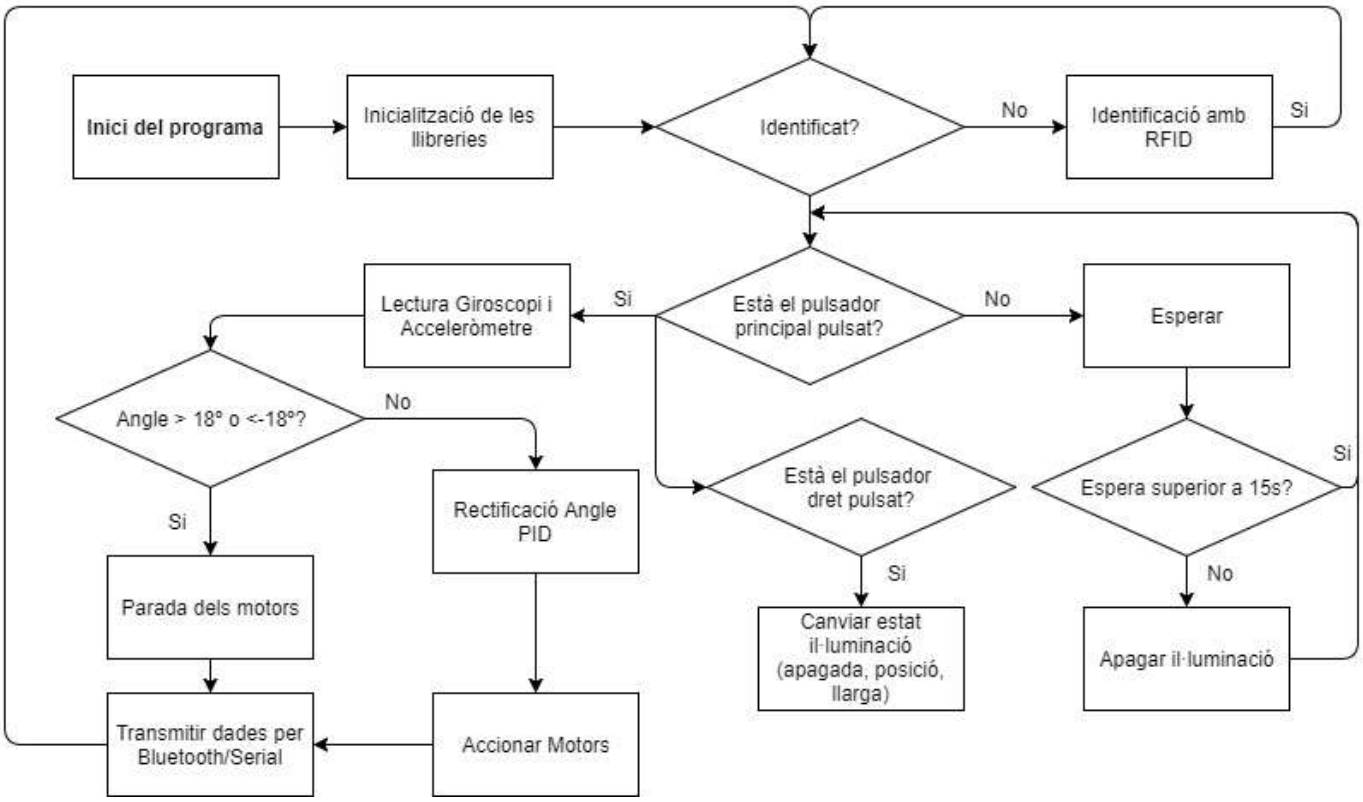


Figura 19 – Diagrama estructura del codi de programació

2.2.3.3 SEGURETAT

El E-Way pot semblar una joguina i que no pot causar cap d'any. Sabent que la seva acceleració i la velocitat és molt elevada, veiem que no és joguet sinó un vehicle d'un pes i unes dimensions bastant grans i que això pot provocar situacions de perill que establint unes mesures bàsiques podem evitar.

- Control de velocitat: Per una banda crearé amb les diferents claus NFC que disposo diversos modes de control:
    - Nivell Expert: Aquest nivell l'E-Way no estarà limitat, i proporcionarà tota la potència que disposa en els motors. També permetrà girar sobre si mateix quan està en moviment.
    - Nivell Intermedi: Aquest nivell el vehicle estarà limitat al 60% de la potència disponible, i no permetrà girades molt brusques sobre si mateix.
    - Nivell Principiant: Aquest nivell, limita al 40% de la potència disponible del vehicle, i no permetrà una girada sobre si mateix a una velocitat elevada.

  Quan diem que l'E-Way no està limitat estem parlant que no està limitat dins de la limitació general que afecta a tot l'E-Way.
  Aquesta limitació general és fa per no perdre estabilitat del propi vehicle i principalment per no causar danys en el conductor.

- Control d'angle màxim: Si per alguna raó l'angle d'inclinació és molt elevat (seria la velocitat màxima), al superar aquest angle que aproximadament és d'uns 18º respecte a l'horitzontal, es desconnectarien automàticament els motors, i el sistema entraria en el mode segur. Per tornar-lo a activar senzillament es col·loca l'E-Way en posició totalment horitzontal.
  Per altra banda per controlar l'angle d'inclinació lateral, es controlarà i donarà un avís perquè l'E-Way no es bolqui de costat, i si arribés a un

determinat angle, també seguiria el mateix procediment esmentat anteriorment.

- Control per a la seva utilització: L'E-Way disposa de un lector de targetes RFID amb la tecnologia NFC. Per poder-lo activar és necessari tenir unes claus aparellades anteriorment al sistema, i així controlar la utilització de si mateix.

2.2.3.4 LLIBRERIES

Per facilitar la programació més avançada, dins de la plataforma d'Arduino existeixen uns codis preprogramats que et pots descarregar la majoria d'ells gratuïtament en el qual consisteixen en agilitzar la programació de qualsevol dispositiu o projecte.
Una llibreria conté el codi de funcionament que una persona ja ha creat amb anterioritat. Normalment s'utilitzen en casos en el qual el programa sigui molt avançat. Per exemple, un codi de 500 línies les podríem reduir mitjançant funcions a una sola línia, i ens estalviaríem el pas de programar aquestes 500 línies. Bàsicament és una ajuda pel programador.

En aquest projecte utilitzaré les següents llibreries, que amb el nivell actual que disposo seria molt complicat poder-les crear:

- SoftwareSerial: Aquesta llibreria s'utilitza per crear en quasi qualsevol pin de la placa base Arduino un protocol sèrie TTL de dades (bàsicament un port on poder enviar i rebre dades amb altres dispositius). L'ús d'aquesta llibreria creada per els propis creadors de l'Arduino, és que els ports sèrie que venen de "fàbrica" en un Arduino Mega 2560 és solament de 4 (un dels quals ja fas servir per programar-lo amb USB i no és aconsellable utilitzar-lo en el programa, ja que per realitzar probes connectat al terminal en el teu ordinador crearia problemes).

- EEPROM: Aquesta llibreria s'utilitza per emmagatzemar dades dins del propi Arduino de forma fixa, és a dir, que cada vegada que apagues o reinicies l'Arduino aquestes dades desades no s'eliminen. També és una llibreria creada pels propis creadors.
- SegwayCl: Llibreria que proporciona la programació bàsica del control de l'E-Way, creada per un usuari d'internet anomenat "Ovaltineo",
- I2C: Aquesta llibreria s'utilitza per una comunicació entre dispositius també denominada I2C. Ha estat creada per Wane Truchsess.
- MPU-6050: Aquesta llibreria s'utilitza per la comunicació entre el propi Arduino i el sensor acceleròmetre i Giroscopi denominat MPU6050. Ha estat creada per un usuari denominat "Krodal", modificada per "Ovaltineo" i per mi mateix per poder obtenir solament les dades necessàries.

Si no hi hagués les llibreries, seria molt difícil poder programar en aquest entorn, per això els mateixos creadors han posat a disposició diverses llibreries d'ús bàsic per controlar gran part dels dispositius. Juntament amb la gran comunitat que han creat a la seva pàgina web www.arduino.cc, on els usuaris comparteixen les seves llibreries.

2.2.3.5 CODI DE PROGRAMACIÓ

El codi complet és molt llarg i està compost de varis fitxers. En el següent apartat explicaré les dues funcions més destacades del programa, tot i així, en el següent codi QR podràs accedir al codi complet.

Figura 10 - Enllaç al codi de programació.

- La següent funció és estàndard en diversos projectes. Bàsicament el que fa és a partir de moltes lectures del sensor MPU60 (sensor giroscopi i acceleròmetre) obtingudes durant un cert temps, filtra totes aquestes dades per si n'hi hagués alguna que no concordes amb la realitat, i obté l'angle real del vehicle.

```
float complementaryFilter(float accel, float gyro, long micros, float filtered_accel, float angle)
{
  /*
 * complementaryFilter();
 *
 * Funció: Filtra els valors de l'angle obtinguts per el sensor, i retorna l'angle real del vehícle.
 *
 */
  angle = ALPHA * (angle + (gyro * micros/1000000.0));
  angle += (1-ALPHA) * filtered_accel;

  return angle;
}
```

Figura 21 – Funció del programa que filtra l'angle.

- En la següent funció, bàsicament es llegeix s'obté la posició real del manillar mitjançant la lectura del potenciòmetre ubicat la part inferior del vehicle. Sabent la posició del manillar podem regular la intensitat de cada motor perquè giri cap a la direcció oportuna.

```
float get_angle_manillar(long micros)
{
 /*
 * get_angle_manillar();
 *
 * Funció: Obté l'angle del manillar mitjançant la lectura
 * de la posició del potenciòmetre ubicat a la part inferior del
 * vehicle.
 *
 */
  int pot = analogRead(PIN_REGULADOR_MANILLAR); //Rang de 0 a 1023
        pot = pot - 512 - AJUSTAMENT_REGULADOR_MANILLAR;//Rang de -512 a + 511

  return (pot*240.0/1023.0);
}
```

Figura 23 – Funció del programa que obté l'angle del manillar

3

CAPÍTOL

PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA A RESOLDRE

El següent capítol exposa el problema que posteriorment hauré de resoldre.

Una vegada reunida tota la informació del funcionament d'un Segway Original, és l'hora de posar en pràctica tot el que s'ha après durant aquesta exploració de coneixement.

El repte pràctic, tal com detallen els objectius del treball, consistirà per una banda construir un prototip a escala reduïda, i per l'altra banda serà construir un Segway a mides reals i fer-lo funcionar. Aquest en qüestió anomenaré E-Way.

3.1 DEFINICIÓ

Arriba el moment de posar aquests coneixement a la pràctica. Per això he decidit construir dos dispositius, per tant dos problemes a resoldre que tenen en comú diversos aspectes. En el següent diagrama podem veure el procés al qual he de passar per poder complir els objectius esmentats anteriorment.

- Creació del prototip: El treball s'inicia amb la creació del prototip amb els coneixements obtinguts anteriorment, i com a conseqüència obtindrem uns resultats.
- Recopilació de resultats: Aquests resultats obtinguts molt probablement hi haurà errors, on són l'objectiu del prototip. Una vegada recopilats els errors descrits en el prototip, s'haurà de buscar una resolució efectiva per posteriorment no repetir-los de nou.
- Creació de l'E-Way: A continuació de la recopilació de resultats, s'han d'aplicar les respectives solucions a cada problema descrit a la construcció de l'E-Way.

Utilitzant aquesta forma de desenvolupament m'asseguro que hi hagi els mínims d'errors a l'E-Way, ja que no és un vehicle molt barat de fabricar, i com a conseqüència provocarà que funcioni amb la màxima perfecció.

4

CAPÍTOL

DISSENY I CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP A ESCALA

El següent capítol exposa tot el procés que he realitzat per obtenir el prototip.

4.1 PROPOSTA DE SOLUCIÓ

Per realitzar el prototip a una escala reduïda utilitzaré dues fustes DM de 4mm de gruix, dos motors, un Arduino, un MPU6050, regulador de motors i una bateria. Tots els components són reciclats d'algun altre projecte que ja tenia, seguint la metodologia DIY. A causa de les dimensions dels diferents components no podré recrear el mateix disseny que un Segway original. La distribució dels diferents components els he col·locat de tal manera que per si sol s'estabilitzi.

4.2 PRESSUPOST

El cost el prototip ha estat de 0€ aplicant la metodologia detallada anteriorment o de productes que ja disposava per casa, tot i així el següent pressupost es basa en la construcció d'aquest prototip si no apliquéssim aquesta metodologia. Els preus dels components els he obtingut de botigues per internet tals com Amazon, Ebay i Aliexpress. Els següents preus inclouen l'I.V.A. corresponents, i les despeses d'enviament. Aplicant aquests criteris, podem definir com que el cost mostrat a continuació és el cost real del prototip.

DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU
Controlador dels Motors L298N	1	3,00€
Cables de connexió	20	2,00€
Acceleròmetre i Girosocpi MPU6050	1	3,00€
Bateria 7,4v LiPo	1	18,00€
Brunzidor	1	1,00€
Arduino Uno R3	1	15,00€
Motor 6v engranats	2	10,00€
Xassís de fusta	1	5,00€
Escaire d'alumini	2	1,00€
	TOTAL:	**58,00€**

4.3 DISSENY

Disseny 3d: Amb el programa de disseny 3D Sketchup he desenvolupat el prototip 3D per visualitzar com serà el prototip a la veda real i facilitar el muntatge del mateix.

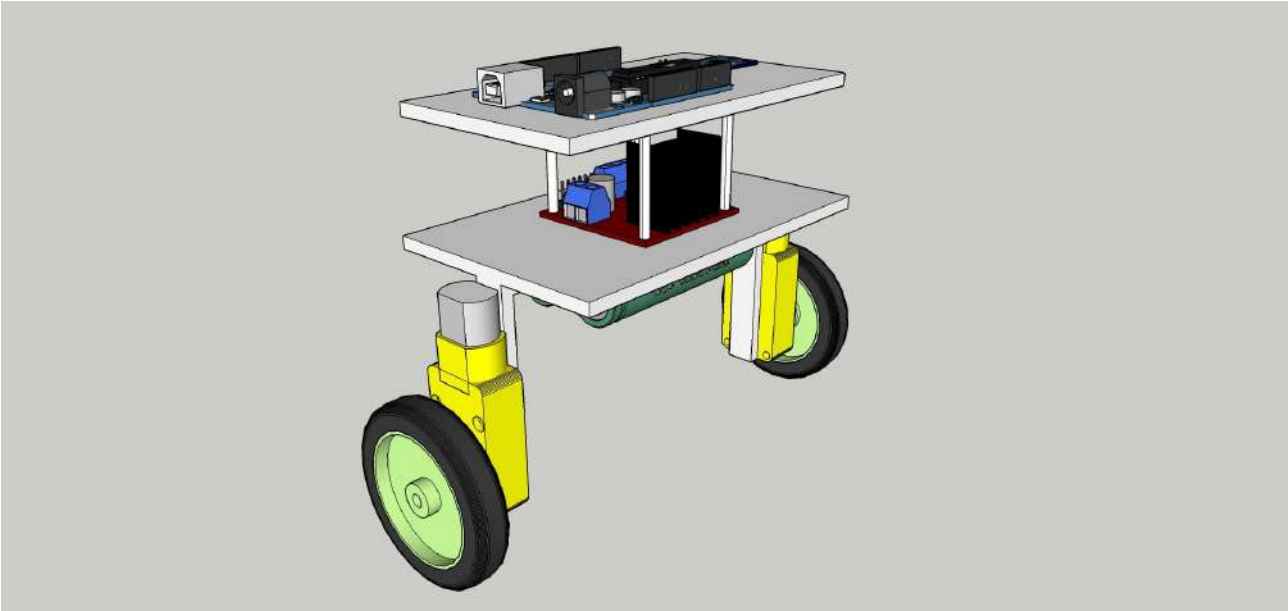
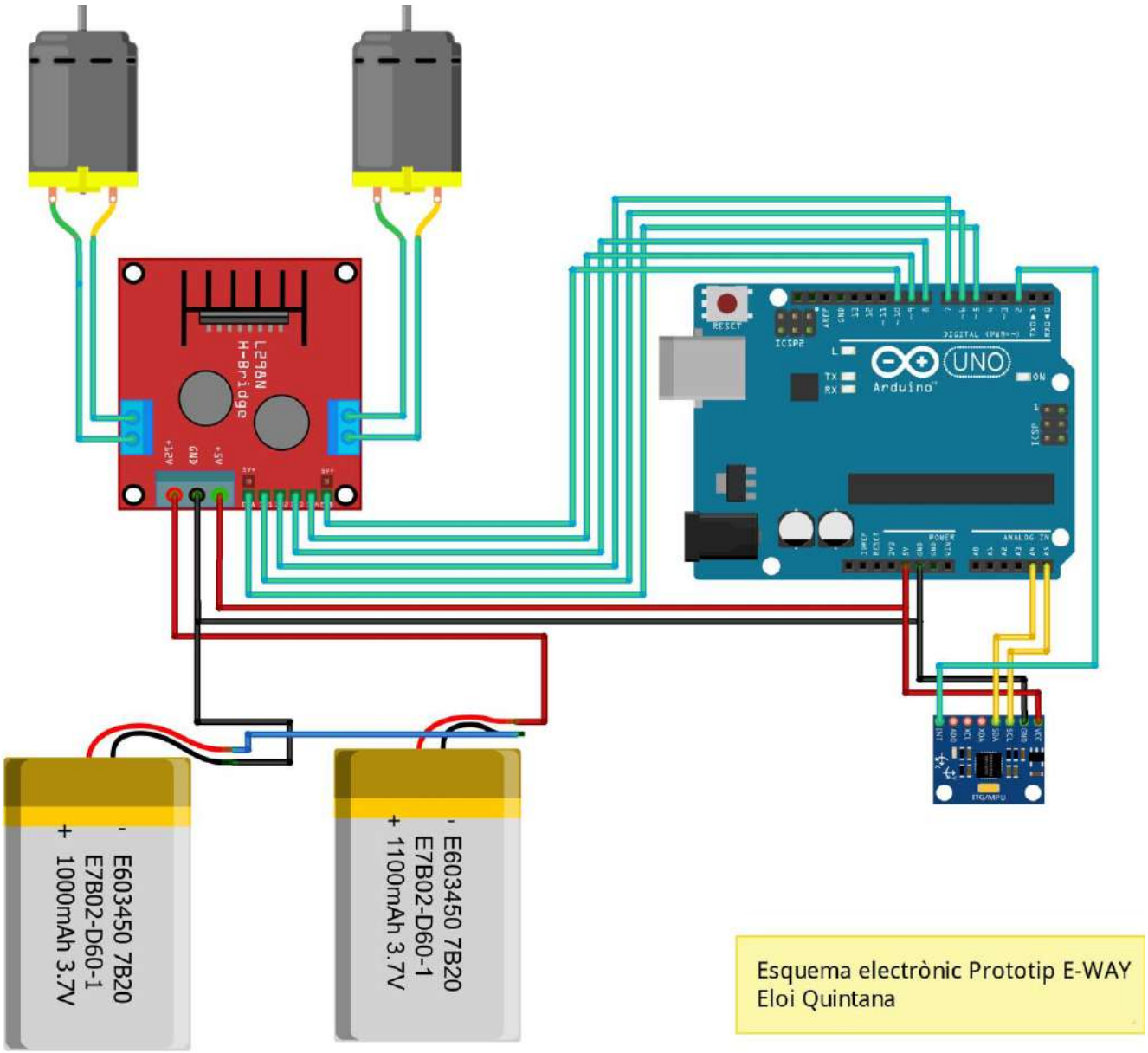


Figura 24 - Disseny 3D del prototip realitzat amb el programa Sketchup

4.4 ESQUEMA DE CONNEXIONS



Bateries LiPO 7,2v

Llegenda:

- Cables de comunicació digital
- Cables de transmissió de dades
- Cables de voltatge
- Cables de potència dels motors

Figura 25 - Esquema de connexions del prototip

4.5 FASES DE CONSTRUCCIÓ

Preparació dels mateials

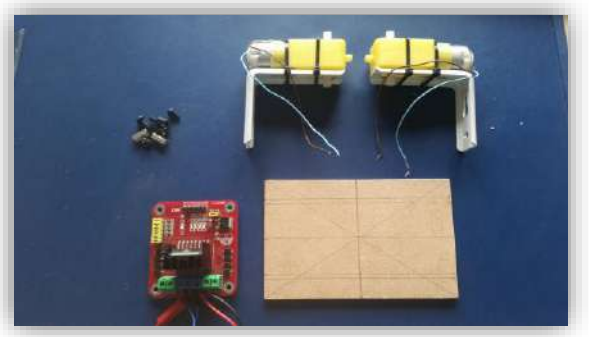


Figura 26 - Preparació dels materials

L'inici del projecte comença preparant el material necessari per a la creació posterior del prototip.

Xassís del prototip

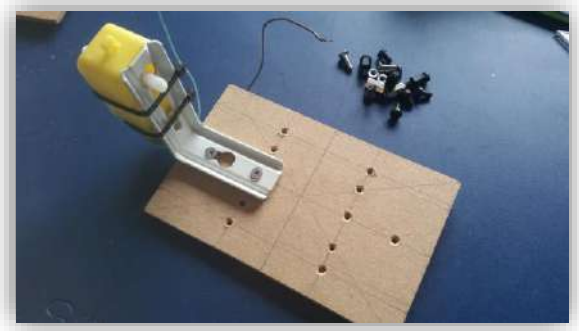


Figura 27 – Xassís del prototip

La part més important del prototip és el xassís, l'estructura que aguantarà els dos motors, el controlador de motors, el microcontrolador i els diversos sensors.
Seguint el disseny he retallat les dues peces de fusta a la mida desitjada.

Motors i Regulador

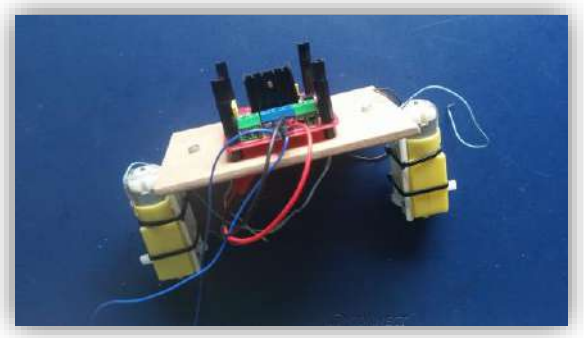


Figura 28 – Visualització del motor i el regulador

Mitjançant cargols he clavat els angles i el regulador dels motors a la base de fusta.

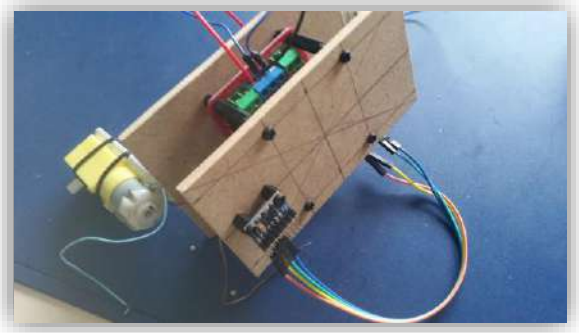


Figura 29 – Vista superior del prototip

MPU6050 i segona base

A continuació he muntat el segon pis, on hi hi he clavat el sensor MPU6050 amb cargols de plàstic per estalviar el major pes possible.

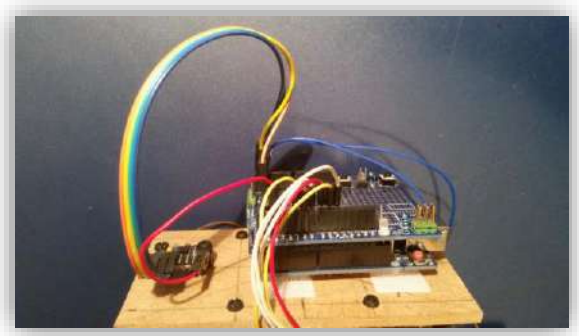


Figura 30 – Visualització del motor i el regulador

Xassís del prototip

Mitjançant dues tires de velcro he enganxat la placa Arduino per poder moure-la en cas que fos necessari per centrar el centre de gravetat.

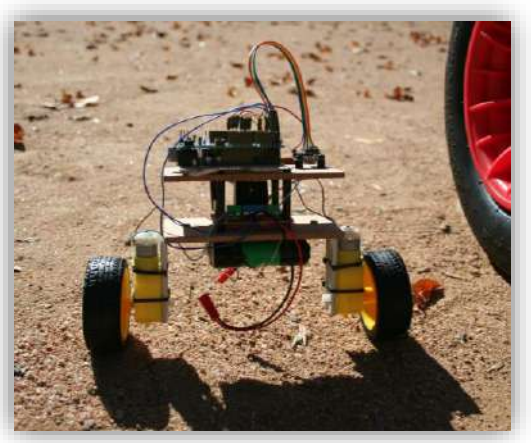


Figura 31 – Resultat del prototip

Finalització

Per finalitzar el prototip l'hi he col·locat la bateria, i li he carregat el programa a l'Arduino.

4.6 SÍNTESI

En aquest prototip he pogut observar diversos errors importants que no he tingut en compte alhora de construir-lo. Aquests em serviran per no cometre'ls a la construcció del vehicle final.

Aquests són els errors que he pogut observar:

- Per una banda, el problema principal han set els motors. Aquests són massa petits per aguantar tot el pes (són petits en el sentit que no tenen suficient velocitat per a poder compensar el propi pes del vehicle). Això provoca que l'estabilització no sigui gaire bona, i en pocs segons es descontrola i cau, cosa que provoca que salti la seguretat del programa i es desconnectin els motors.

  La solució és senzilla, bàsicament s'hauria de fer un canvi de motors, fent que la reductora que porten no sigui tan gran.

- Per altra banda, el xassís hauria de ser d'un material més lleuger com pot ser una fusta menys densa, o d'algun altre material com el metacrilat (un tipus de Plàstic robust i no pesant). Això ajudaria a resoldre el problema del pes descrit anteriorment.

- Finalment, un dels errors més senzills però que es podia haver evitat, ha sigut creat un curtcircuit important, que ha portat a cremar el sensor MPU6059 (acceleròmetre i giroscopi) i com a conseqüència ha allargat la durada de la part pràctica del projecte.

5

CAPÍTOL

DISSENY I CONSTRUCCIÓ DE L'E-WAY

El següent capítol exposa tot el procés de desenvolupament de l'E-Way

5.1 PLANTEJAMENT

Per realitzar aquesta part, em de tenir en compte els errors descrits en el prototip. Per això hauré d'aplicar mesures per intentar corregir-los.

- La primera mesura, serà augmentar els previstos motors de 250w, passar-los a 500w, cosa que fa que el controlador passi de 2x25A a 2x60A, això farà que augmenti en 200€ el pressupost inicial que tenia previst.
- La segona mesura serà el xassís, que en aquest cas l'agafaré de fusta massissa d'avet, que no és molt pesant i és molt resistent.
- La tercera i última mesura, serà augmentar la seguretat de la bateria i els components connectats, afegint-hi fusibles i seguretat interna, per no cremar cap dels components.

5.2 PRESSUPOST I MATERIAL DE COMPRA

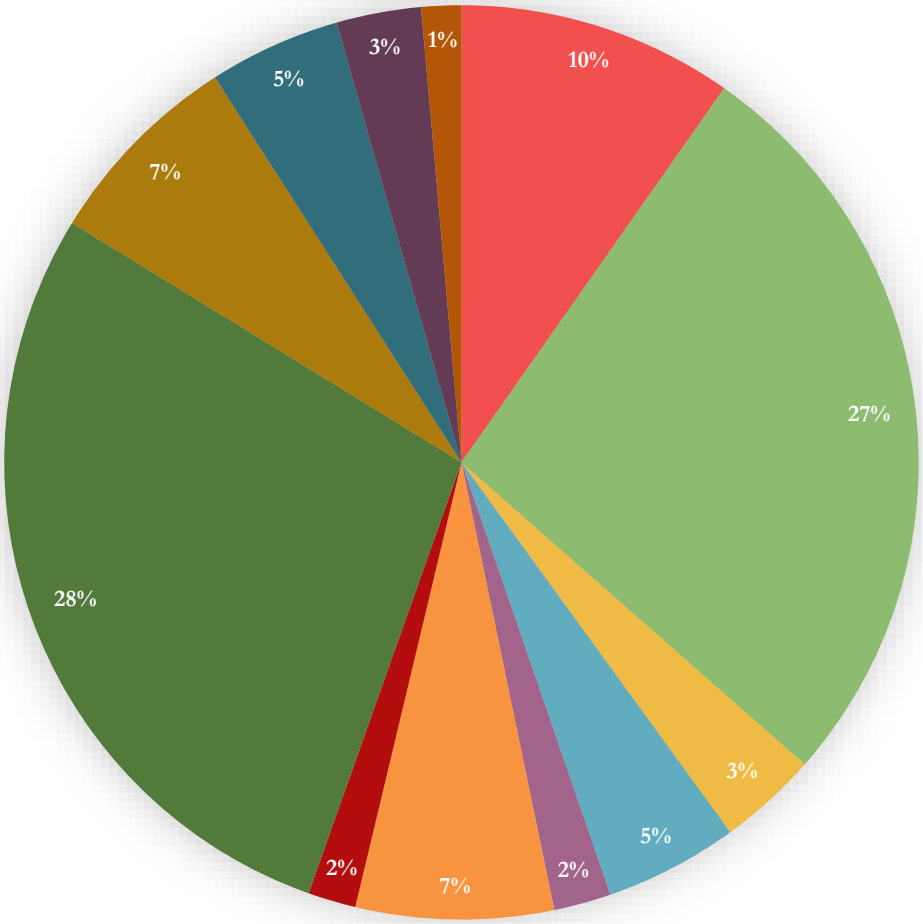
El següent llistat són els costos reals de l'E-Way, tenint en compte les ajudes d'alguna empresa i els descomptes aplicats per comprar a partir d'un límit.
Cal destacar que he realitzat una inversió bastant generosa, podria haver agafat els motors de 250W i estalviar-me 100€ i en relació amb aquests un regulador més petit, estalviant m'he altres 100€. El total hagués sigut d'uns 500€ aproximadament.

Tot i així, he optat per agafar aquests més potents que en algun futur poden servir per altres projectes...

Descripció	**Quantitat**	**Cost Total**
Bateries 12v 18Ah	2	69,00€
Motors 500W 24v	2	189,38€
Rodament Llarg Manillar	1	24,90€
Rodaments Eix	4	33,45€
Pinyó 6mm Dents: 68 Pas: 25H	2	14,31€
Rodes 400x100mm	2	49,50€
Tub Manillar d'Alumini	1	12,00€
Peçes de l'eix + Eix + Doblar Manillar	8	270,00€
------ Ajuda de l'empresa Guives Girona S.A.		-270,00€
Sabertooth 2x60Ah Regulador Motors + Cables	1	206,72€
Connexións electròniques		
Dto. Aifliat		-6,00€
Base de fusta + Cargols + Volanderes + Femelles	+50	50,73€
Cadena Pas 25H + Eslabó Pas:25H	2	33,01€
Pinyó Motor Dents: 11 Pas: 25H	2	21,20€
Arduino MEGA 2560	1	20,00€
------ Producte reciclat d'un altre projecte		-20,00€
Relé encesa llums	2	5,00€
------ Producte reciclat d'un altre projecte		-5,00€
MPU6050 i Llums	3	10,00€
TOTAL		708,20€

En el següent diagrama podem observar els diferents elements en funció del seu cost. Clarament veiem que el preu final del producte ha estat del regulador dels dos motors, i aquests mateixos.

Cost dels Productes



Llegenda:

- Bateries
- Motors
- Rodament Manillar
- Rodaments Eix
- Pinyó Gran
- Rodes
- Tub Alumini
- Regulador Motors
- Base Fusta i Cargols
- Cadena
- Pinyó Petit
- Llums i MPU6050

5.3 DISSENY

El disseny de l'E-Way també l'he desenvolupat a partir del programa 3D Sketchup. Aquests és el resultat:

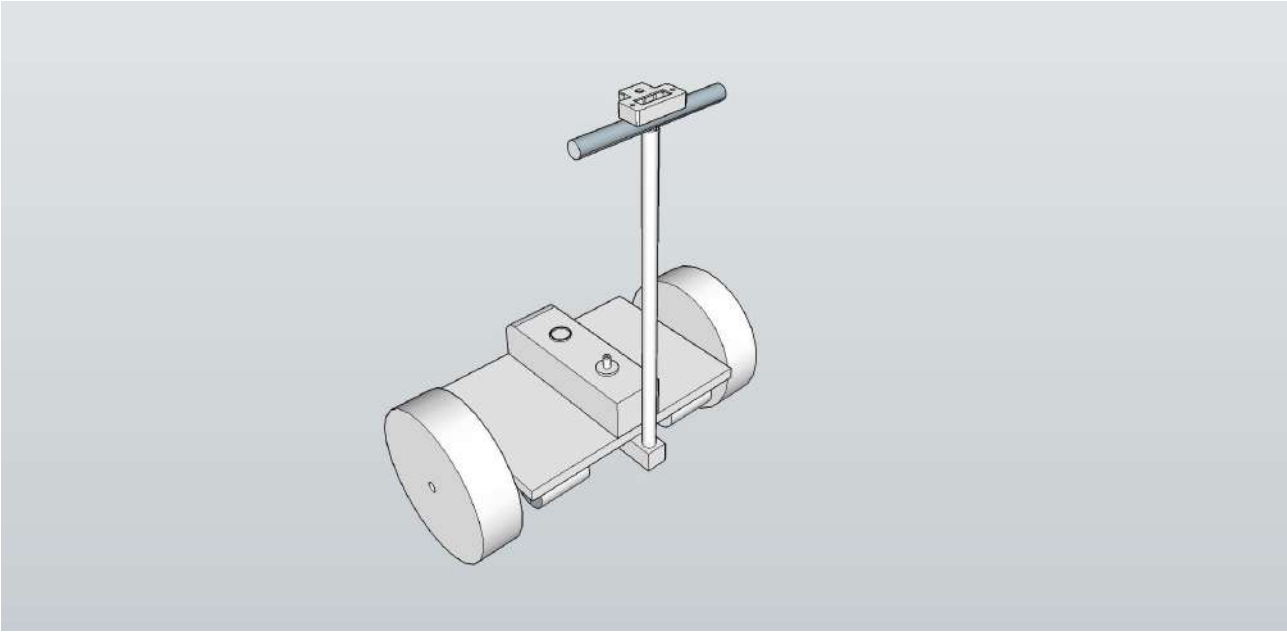


Figura 32 - Disseny 3D E-Way

5.3 ESQUEMA ELÈCTRIC DE CONNEXIÓNS

El següent esquema elèctric de connexions podem observar tots els components electrònics que hi ha a l'E-Way.

Llegenda de l'esquema:

- Cables Blaus: Cables RX/TX de comunicació RS232. La funció d'aquests cables és emetre i rebre dades entre dos o més dispositius. En aquest cas, el lector de targetes RFID, el Bluetooth, el controlador dels Motors i la pantalla LCD funciona amb aquest tipus de connexió.
- Cables Liles: Cables SDA/SCL de comunicació I2C. La funció és molt semblant a la dels cables RS232. S'utilitza per la comunicació entre components elèctrics, com per exemple el sensor Giroscopi MPU6050.

- Cables Verd: Són cables de senyal Digital d'entrada, el senyal té dos modes d'estat: 0 (apagat) i 1 (encès). S'utilitza principalment per la lectura de polsadors.
- Cables Grocs: També són cables de senyal Digital però de sortida, per exemple per accionar els relés, el LED, o el brunzidor.
- Cables Negres: Són cables de voltatge (-).
- Cables Vermells: Són cables de voltatge (+) a 5v.

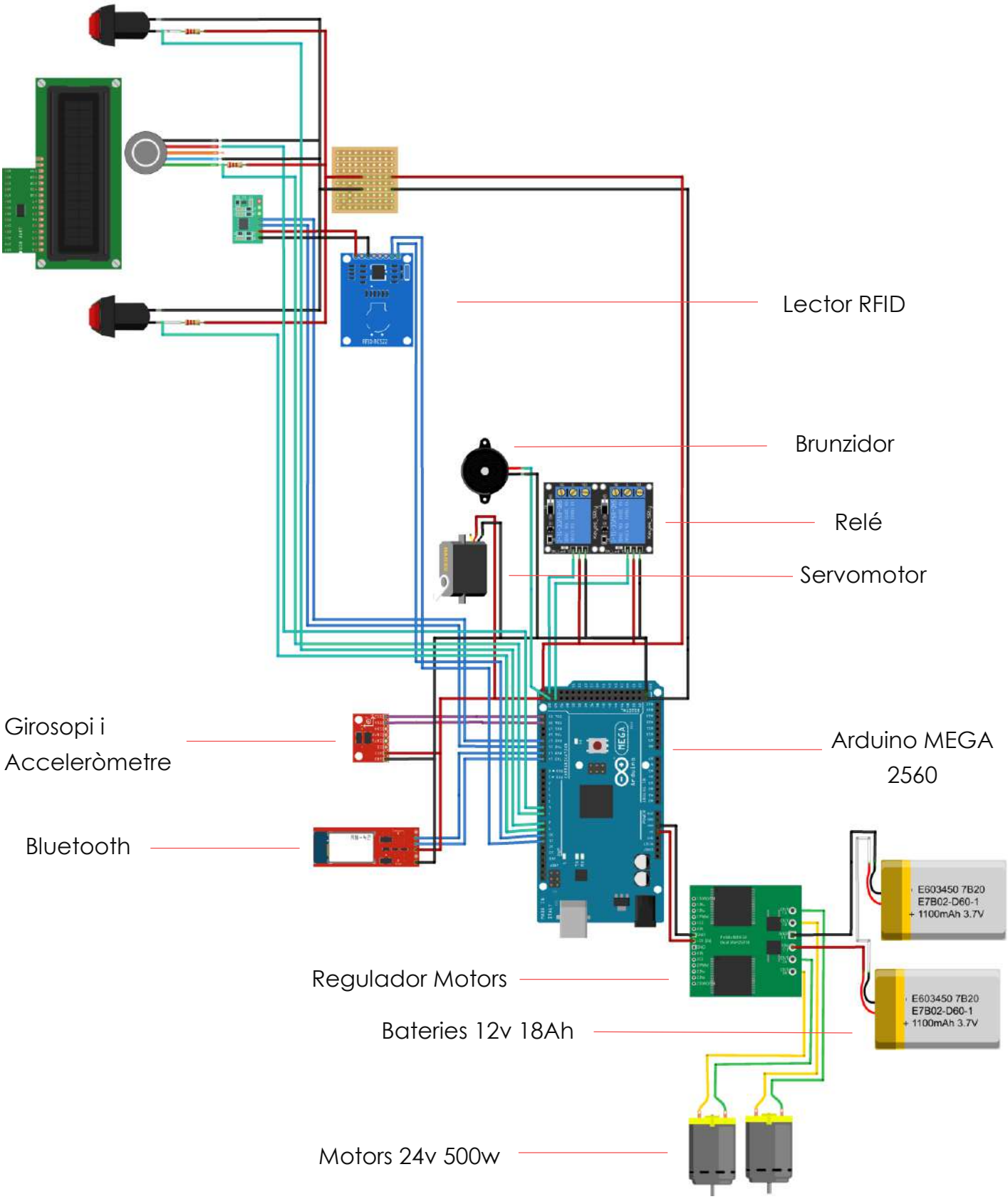


Figura 33 – Esquema de connexións

5.4 FASES DE CONSTRUCCIÓ

Impressió 3D

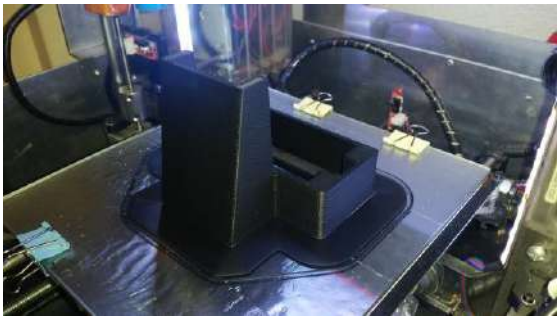


Figura 34 – Caixa després de la impressió

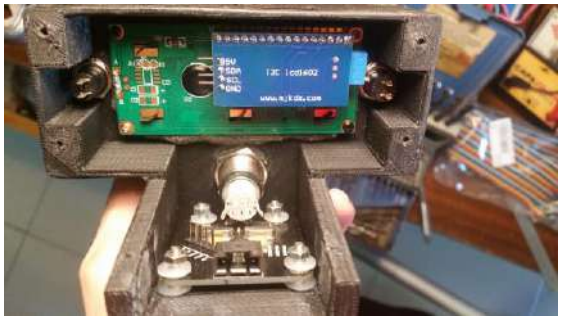


Figura 35 – Interior caixa manillar

Iniciem el projecte imprimint la caixa del manillar, i a continuació li acoblem els diferents components, tals com la pantalla, els polsadors i el lector RFID.

Soldar i fer la carcassa

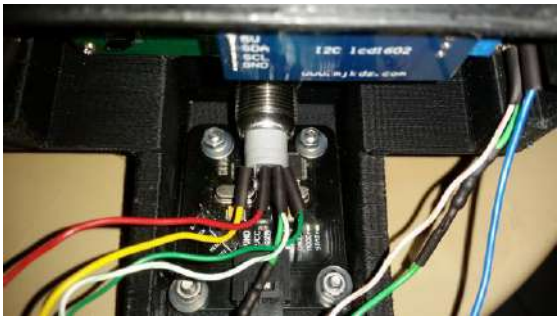


Figura 36 – Cables de connexió del manillar

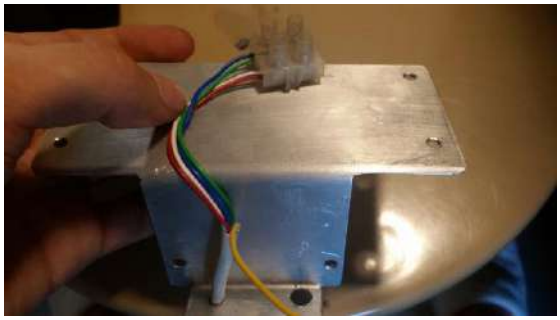


Figura 37 – Carcassa d'alumini

El següent pas és soldar tots els cables als seus respectius llocs i a continuació li col·loquem la seva carcassa d'alumini creada anteriorment a base de doblegar-la.

Marcar i foradar

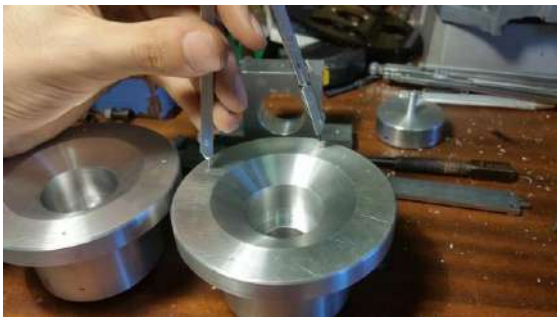


Figura 38 – Marcació de la peça d'alumini

Figura 39 – Foradant peça d'alumini

A continuació agafem les peces provinents del torner (Disseny a l'Apèndix B), després marquem i foradem els respectius forats.

Figura 40 – Preparació per roscar el forat

Figura 41 – Procés de roscar el forat

Roscar

Després de foradar, cal roscar totes les peces per poder-hi collar els cargols. Aquest procés és un dels més llargs de fer, ja que només el puc fer de forma manual.

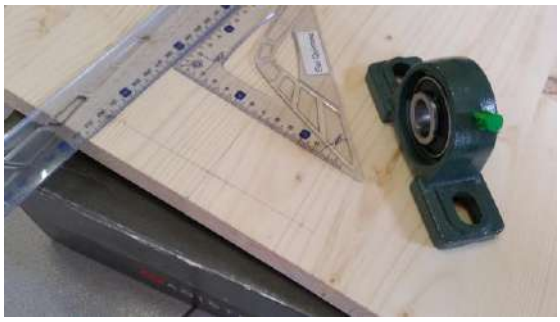


Figura 42 – Marcació dels rodaments

Figura 43 – Tallar xassís

Xassís

A continuació agafem el xassís i el tallem a la mida desitjada. Després marquem els corresponents forats per clavar-hi els quatre rodaments, i els foradem.

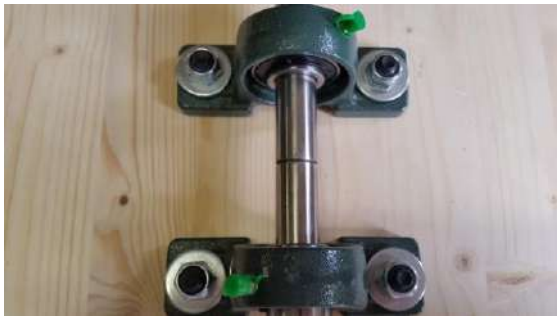


Figura 44 – Rodaments clavats al xassís

Figura 45 – Collant els rodaments

Eix i Rodaments

Seguidament collem els rodaments al xassís i hi col·loquem els dos eixos al seu lloc corresponent.

Rodament manillar

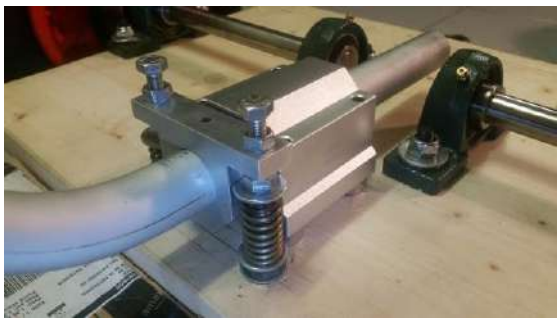


Figura 46 – Rodament del manillar

Figura 47 – Fixació del rodament del manillar

A continuació marquem i foradem els forats per fixar-hi el rodament llarg del manillar, amb les dues molles perquè retorni a la seva posició inicial.

Bateries

Figura 48 – Col·locar les tiges roscades

Figura 49 – Fixació barra d'alumini

Seguidament amb una barra d'alumini encapsem les bateries perquè no es moguin. Als laterals de les bateries hi he col·locat dues tiges roscades per clavar-hi verticalment una barra d'alumini perquè les bateries s'aguantin verticalment.

Motors

Figura 50 – Fixació del motor

Figura 51 – Fixació de les bateries

Amb les bateries col·locades, marquem i foradem els motors al xassís.

Cadenes

Figura 52 – Fixació dels cargols amb cola

Figura 53 – Col·locació de la cadena

Seguidament col·loquem els dos pinyons i les cadenes als dos motors, i collem amb cola forta tots els cargols.

Rodes

Figura 54 – Inici de la fixació de les rodes

Figura 55 – Fixació dels cargols de les rodes

A continuació collem les rodes als eixos, i també hi posem cola forta.

Base de control al manillar

Figura 56 – Forats del manillar

Figura 57 – Fixació de la caixa al manillar

Seguidament he de foradar el tub del manillar per passar-hi dos cables, i per collar la peça de plàstic al manillar. Amb això aconseguim la base de control de l'E-Way estigui muntada correctament.

Regulador del manillar

Figura 58 – Fixat el potenciòmetre

Figura 59 – Fixació del potenciòmetre

En aquest punt, toca col·locar el regulador que llegirà l'angle del manillar per controlar la girada.

Endollar cables

Figura 60 – Endollar cables

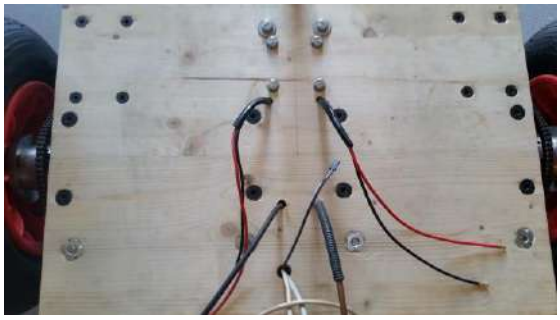


Figura 61 – Cables de la part superior del vehicle

Per finalitzar la part inferior de l'E-Way, endollem els cables a les bateries, els motors i el sensor i els passem a la part superior.

Fixar i connectar electrònica

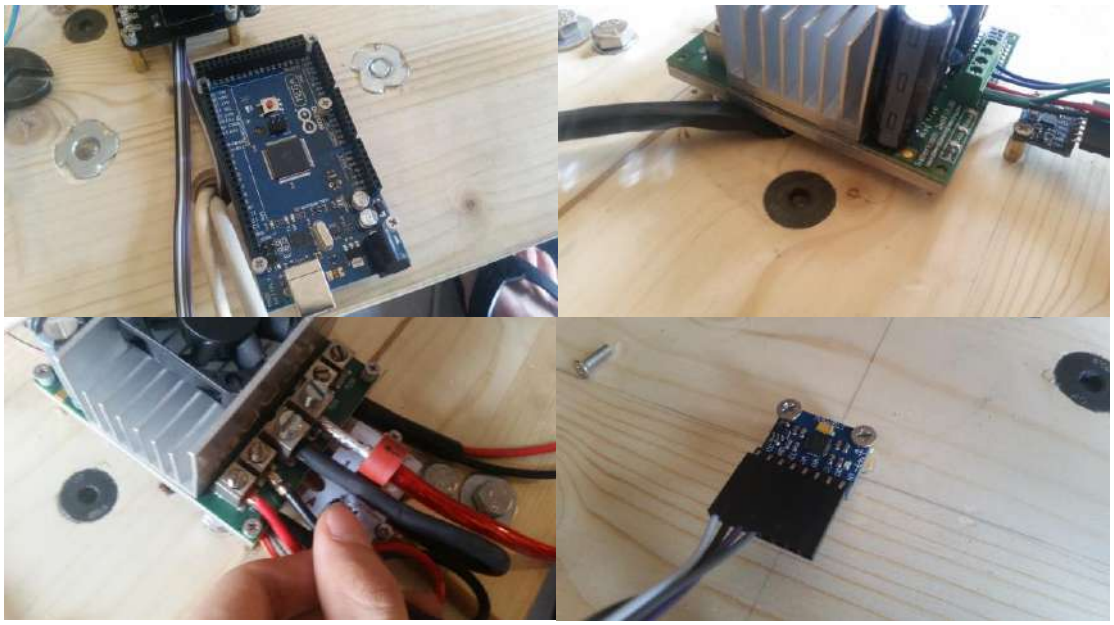


Figura 62 – Col·locació dels diversos components al xassís

A continuació fixem els diversos components electrònics al xassís i els connectem amb els respectius cables.

Figura 63 – Marcar fusta de la caixa

Figura 64 – Tallar angle d'alumini

Marcar i tallar fustes, i angle d'alumini

Una vegada col·locada l'electrònica, creem la tapa per protegir-la marcant i tallant les fustes del lateral, i l'angle d'alumini per fixar les fustes.

Figura 65 – Fixació de la caixa de fusta al xassís

Figura 66 – Fixació de l'angle a la fusta

Endollar cables

A continuació foradem l'angle d'alumini, i el clavem a les fustes laterals i al xassís.

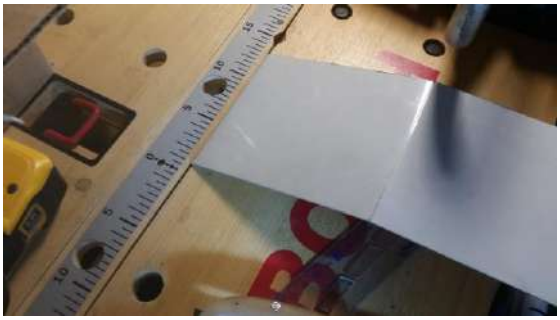


Figura 67 – Doblar tapa d'alumini

Figura 68 – Foradar forats de l'Arduino

Fixar i connectar electrònica

Seguidament foradem l'angle d'alumini per poder connectar l'Arduino a l'ordinador, i comencem a doblar la planxa d'alumini per la part superior.

Foradar i clavar

Figura 69 – Fixació de la tapa d'alumini

Figura 70 – Electrònica acabada

Seguidament només cal foradar els dos forats, un per l'indicador de bateria i l'altre per la clau. Finalment per acabar el projecte clavem la planxa d'alumini a la base de fusta, i l'E-Way estaria acabat.

5.5 FASE DE PROVES I RESULTAT

Una vegada completada la fase de construcció, faltarà posar-lo en marxa. Per això és l'hora de carregar les bateries. El vehicle no disposa d'una connexió específica per poder connectar-hi les bateries, per això s'han de carregar com les bateries d'un cotxe normal i corrent, tal com visualitzem a la següent imatge.

Figura 71 - Carregant l'E-Way ja acabat.

Per finalitzar el projecte falta comprovar quin és el resultat. En el següent codi QR pots veure el vídeo de les primeres proves quan encara l'electrònica no estava protegida amb una caixa de fusta.

Figura 42 – Enllaç al vídeo de les primeres proves de l'E-Way.

En el següent codi QR mostra uns vídeos de les proves finals quan el vehicle ja està acabat.

Figura 73 – Enllaç als vídeos de les proves finals de l'E-Way.

5.6 TAULA DE COMPARACIÓ

A la següent tala podem observar diferents comparacions entre dos models de Segway i l'E-Way.

MODEL	E-WAY	SEGWAY i2 SE	SEGWAY x2 SE
VELOCITAT MAX:	20Km/h limitat	20Km/h limitat	20Km/h limitat
DIMENSIONS	40cm x 70cm	47cm x 62cm	52cm x 82cm
PNEUMÀTICS	40cm x 12cm	47cm x 12cm	53cm x 20cm
PES	50kg	47,7Kg	54Kg
AUTONOMIA	Aprox. 30Km	40Km	35Km
PREU	700€	8463,95€	9007,24€

SÍNTESI I CONCLUSIONS

6

CAPÍTOL

El següent capítol exposa la síntesi i les diferents conclusions com a el resultat final d'aquest treball.

6.1 SÍNTESI

1. El Segway original no funciona amb contrapeses en el seu interior, sinó que alberga una electrònica avançada que corregeix constantment l'angle d'error per aconseguir una estabilització.

2. El prototip s'havia d'haver estabilitzat, però a causa de la programació no s'ha pogut completar. A canvi d'això, s'han recol·lectat dades dels errors que han anat apareixent.

3. Els errors descrits en la programació del prototip són derivats de la part més avançada, concretament del programari del PID. No s'ha pogut arribar a fixar correctament les tres variables en exactitud.

4. L'E-Way s'ha completat correctament, i la seva estabilització és molt bona. Al ser un vehicle més gros que el prototip, aquest petit error gairebé ha desaparegut, provocant una estabilització òptima.

5. S'ha pogut etiquetar el vehicle final com a 100% pel medi ambient, essent així 100% elèctric. A més gràcies al regulador, si el vehicle es transporta de manera que s'arrossegui és carreguen les bateries.

6. El microcontrolador més ideal per aquest projecte, ha estat la plataforma d'Arduino, on ha aconseguit el millor resultat que s'adaptava més bé en el projecte.

6.2 CONSLUSIONS

Una vegada acabat el treball pràctic arriba el moment d'arribar a les conclusions d'aquest.

La primera hipòtesi formulada al principi del projecte on afirmava que el prototip s'estabilitza, no s'ha complert al 100%. És a dir, la seva estabilització no dura més dels dos minuts, o si es topa amb algun obstacle la perd ràpidament. Tot i així aquests dos primers minuts s'estabilitza correctament amb un espai bastant reduït. Per altra banda la segona hipòtesi formulada, que deia que l'E-Way sí que s'estabilitza amb una persona a sobre, s'ha complert amb molt d'èxit. Aconseguint així també un dels objectius marcats a l'inici.
Ha estat molt bé que una de les dues hipòtesis no es completés al 100%, ja que gràcies a la hipòtesi formulada pel prototip no completada, he pogut extreure els errors i corregir-los perquè la segona hipòtesi es complís.
Tot i així observant els resultats del treball, tots els objectius marcats relacionats amb la recerca d'informació i l'adquisició de coneixement puc afirmar que s'han completat i es poden visualitzar al llarg del treball.
També amb la utilització de bateries, aquest vehicle es pot classificar a la categoria de 100% elèctric i 100% eficient al medi ambient, complint així un altre objectiu. A més a més, he pogut comprovar que s'ha pogut construir un Segway sense gastar més diners del que val l'original. Només amb uns 700€ n'he pogut construir un d'unes característiques molt semblants. I amb aquest preu pots contribuir en un món millor, on el transport sostenible amb el medi ambient és el futur.

Darrere d'aquests resultats, s'amaga una feina molt dura. El procés de construcció de l'E-Way ha estat molt llarg, ja que les peces provenien d'altres països com Estats Units o Xina, i això ha provocat que el temps d'espera per rebre les peces sigues molt superior al previst. A més a més, les peces provinents del torner eren molt cares (superior a 270€), i no em podia permetre pagar això. El meu tiet em va posar en contacte amb una empresa, el qual m'ha regalat aquestes peces. Tot i així els problemes que han sorgit, durant l'estiu he pogut completar-lo amb èxit.

6.3 PLA DE FUTUR

En un futur m'agradaria progressar amb aquest projecte, aquestes són algunes coses que voldria fer-li:

Tinc pensat incorporar-hi un sistema automàtic de control i càrrega de les dues bateries. Això permetria deixar-lo carregant durant tota la nit sense cap vigilància constant, i el propi vehicle es desconnectaria de la xarxa de corrent automàticament mitjançant un relé. Seria molt efectiu, ja que provocaria que no hagués de tombar l'E-Way cada vegada que volgués carregar-lo.

També en el futur m'agradaria incorporar-hi un dispositiu extra, un GPS, on a través de l'aplicació mòbil podria localitzar el vehicle amb molta exactitud, i a més a més, podria saber la velocitat real proporcionada pels satèl·lits i la podria fer visualitzar a la pantalla de control del manillar.

BIBLIOGRAFIA

Aquest apartat s'exposa tot el contingut que s'ha utilitzat al llarg de tot el projecte.

1. Referències de la recerca d'informació

Segway PT. Wikipedia. 18 de febrer 2017. Wikipedia. 21 de febrer de2017 https://en.wikipedia.org/wiki/Segway_PT.

Pàgina Oficial Segway. Sense Data. Segway Inc. 21 de febrer de 2017 http://www.segway.es/.

Rasperry Pi. Sense Data. Fundació Rasperry Pi. 15 de març de 2017 https://www.raspberrypi.org/.

Lego Mindstorms. Sense Data. Lego Group. 15 de març de 2017. https://www.lego.com/en-us/mindstorms

Giroscopi. 1 de setembre 2017 Wikipedia. 2 de setembre de 2017 https://es.wikipedia.org/wiki/Gir%C3%B3scopo

Arduino. Sense Data. Arduino Inc. 22 de setembre de 2017. https://www.arduino.cc/

Mobilitat Ajuntament de Barcelona. Sense Data. Ajuntament de Barcelona. 21 de juny de 2017. http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/

Rideable Segway Clone. 5 d'octubre de 2017. Instructables. 3 de juny de 2017. https://www.instructables.com/id/Rideable-Segway-Clone-Low-Cost-and-Easy-Build/

Github Ovaltineo. Sense Data. Github Inc. 5 de juny de 2017. https://github.com/ovaltineo

The electric Rider. Sense Data. The electric Rider. 1 de setembre de 2017. http://theelectricrider.com/segway-clone-buyers-guide/

Labitat. 23 de juny de 2014. Labitat. 5 de juny de 2017. https://labitat.dk/wiki/Segway-clone

DIY electric car. 4 de maig de 2011. *DIY electric car*. 2 d'agost de 2017. http://www.diyelectriccar.com/forums/showthread.php/another-segway-clone-86163.html

Forum Arduino. 30 de novembre de 2006. Arduino Inc. 5 d'agost de 2017. http://forum.arduino.cc/index.php?topic=23197.0

Segway Chat Forum. Sense Data. Segway Chat. 1 de juny de 2017. https://forums.segwaychat.org/archive/index.php/f-6.html

APÈNDIX

A. FUNCIONS BÀSIQUES D'ARDUINO

Estructura y flujo

Estructúra básica del programa

```
void setup() {
  // Corre una vez cuando el
  // programa inicia
}
void loop() {
  // Se ejecuta repetidamente
```

Estructuras de control

```
if (x < 5) { ... } else { ... }
while (x < 5) { ... }
do { ... } while ( x < 5);
for (int i = 0; i < 10; i++) { ... }
break;  //sale del bucle inmediatamente
continue; //va a la siguiente iteración
switch (miVariable) {
   case 1:
     ...
     break;
   case 2:
     ...
     break;
   default:
     ...
}
return x; // o "return;" para vacíos
```

Operadores

Operadores generales

```
=  (operador de asignación)
+  (adición)      -  (sustracción)
*  (multiplicación)
/  (división)     %  (módulo)
== (igual a)      != (desigual a)
<  (menor que)    >  (mayor que)
<= (igual o menor que)
>= (mayor o igual que)
&& (y)    || (ó)    ! (negación)
```

Operadores compuestos

```
++ (incremento)
-- (decremento)
+= (suma compuesta)
-= (resta compuesta)
*= (multiplicación compuesta)
/= (división compuesta)
&= (AND binario compuesto)
|= (OR binario compuesto)
```

Operadores a nivel de bit

```
& (AND binario)    | (OR binario)
^ (XOR binario)    ~ (NOT binario)
<< (desplazamiento a la izquierda)
>> (desplazamiento a la derecha)
```

Bibliotecas

Serie

```
begin([300, 1200, 2400, 4800,
       9600, 14400, 19200, 28800,
       38400, 57600, 115200])
      //Puede ser cualquier número
end()
int available()
byte read()
byte peek()
flush()
print(misDatos)
println(misDatos)
write(misBytes)
```

EEPROM (#include <EEPROM.h>)

```
byte read(dirInterna)
write(dirInterna, miByte)
```

Servo (#include <Servo.h>)

```
attach(pin, [min_uS, max_uS])
write(ángulo) // 0, 180
writeMicroseconds(uS)
     //1000-2000; 1500 es en medio
read()        //0 - 180
attached()    //regresa boleano
detach()
```

SoftwareSerial(RxPin, TxPin)

```
  (#include <softwareSerial.h>)
begin(long velocidad) //hasta 9600
char read()      //espera los datos
print(misDatos)
println(misDatos)
```

Wire (#include <Wire.h>) //para I²C

```
begin()        //se une a maestro
begin(addr)    //se une a esclavo @dir
requestFrom(dirección, cuenta)
beginTransmission(dir)  // Paso 1
send(miByte)            // Paso 2
send(char * miCadena)
send(byte * datos, tamaño)
endTransmission()       // Paso 3
byte available()   // Num de bytes
byte receive() //Regresa el sig byte
onReceive(manejador)
onRequest(manejador)
```

Funciones incluídas

E/S Digital

```
pinMode(pin,[INPUT, OUTPUT])
digitalWrite(pin, valor)
int digitalread(pin)
  //Escribe HIGH en entradas para
  //usar los pull-ups
```

E/S Analógicas

```
analogReference([DEFAULT,
    INTERNAL, EXTERNAL])
int analogRead(pin)
analogWrite(pin, valor)  //PWM
```

Advanced I/O

```
tone(pin, freqhz)
tone(pin, freqhz, duracion_ms)
noTone(pin)
shiftOut(pinDatos, pinReloj,
  [MSBFIRST,LSBFIRST], valor)
unsigned long pulseIn(pin,
  [HIGH,LOW])
```

Tiempo

```
unsigned long millis()
  //desbordamiento en 50 dias
unsigned long micros()
  //desbordamiento en 70 minutos
delay(ms)
delayMicroseconds(us)
```

Matemáticas

```
min(x, y)   max(x, y)   abs(x)
sin(rad)    cos(rad)    tan(rad)
sqrt(x)     pow(base, exponente)
constrain(x, valMin, valMax)
map(val, deBAJO, deALTO,
aBAJO,aAlto)
```

Números aleatorios

```
randomSeed(semilla) //long ó int
long random(max)
long random(min, max)
```

Bits y Bytes

```
lowByte(x)    highByte(x)
bitRead(x, bitn)
bitWrite(x, bitn, bit)
bitSet(x, bitn)
bitClear(x, bitn)
bit(bitn)  // bitn: 0=LSB 7=MSB
```

Conversiones

```
char()      byte()
int()       word()
long()      float()
```

Interrupciones Externas

```
attachInterrupt(interrup, func,
  [LOW, CHANGE, RISING, FALLING])
detachInterrupt(interrupción)
interrupts()
noInterrupts()
```

Variables, vectores y datos

Tipos de datos

```
void        vacio
boolean     (0, 1, true, false)
char        (ej. 'a'  -128 a 127)
int         (-32768 a 32767)
long        (-2147483648 a 2147483647)
unsigned char  (0 a 255)
byte           (0 a 255)
unsigned int   (0 a 65535)
word           (0 a 65535)
unsigned long  (0 a 4294967295)
float       (-3.4028e+38 a 3.4028e+38)
double      (igual que los flotantes)
```

Calificadores

```
static    //persiste entre llamadas
volatile  //usa la RAM
const     //sólo lectura
PROGMEM   //usar la flash
```

Vectores y matrices

```
int myInts[6]; //vector de 6 enteros
int myPins[]={2, 4, 8, 3, 6};
int mySensVals[6]={2, 4, -8, 3, 2};
myInts[0]=42;  //asigna al primero
               //en el indice
myInts[6]=12;  //ERROR! El índice va
               //de 0 a 5
```

Constants

```
HIGH | LOW
INPUT | OUTPUT
true | false
143        //Decimal
0173       //Octal (comenzando en 0)
0b11011111 //Binario
0x7B       //Hex (hexadecimal)
7U         //forzar unsigned
10L        //forzar long
15UL       //forzar long unsigned
10.0       //forzar floating point
2.4e5      //240000
```

Punteros

```
&  (referencia: obtener puntero)
*  (valor: seguir puntero)
```

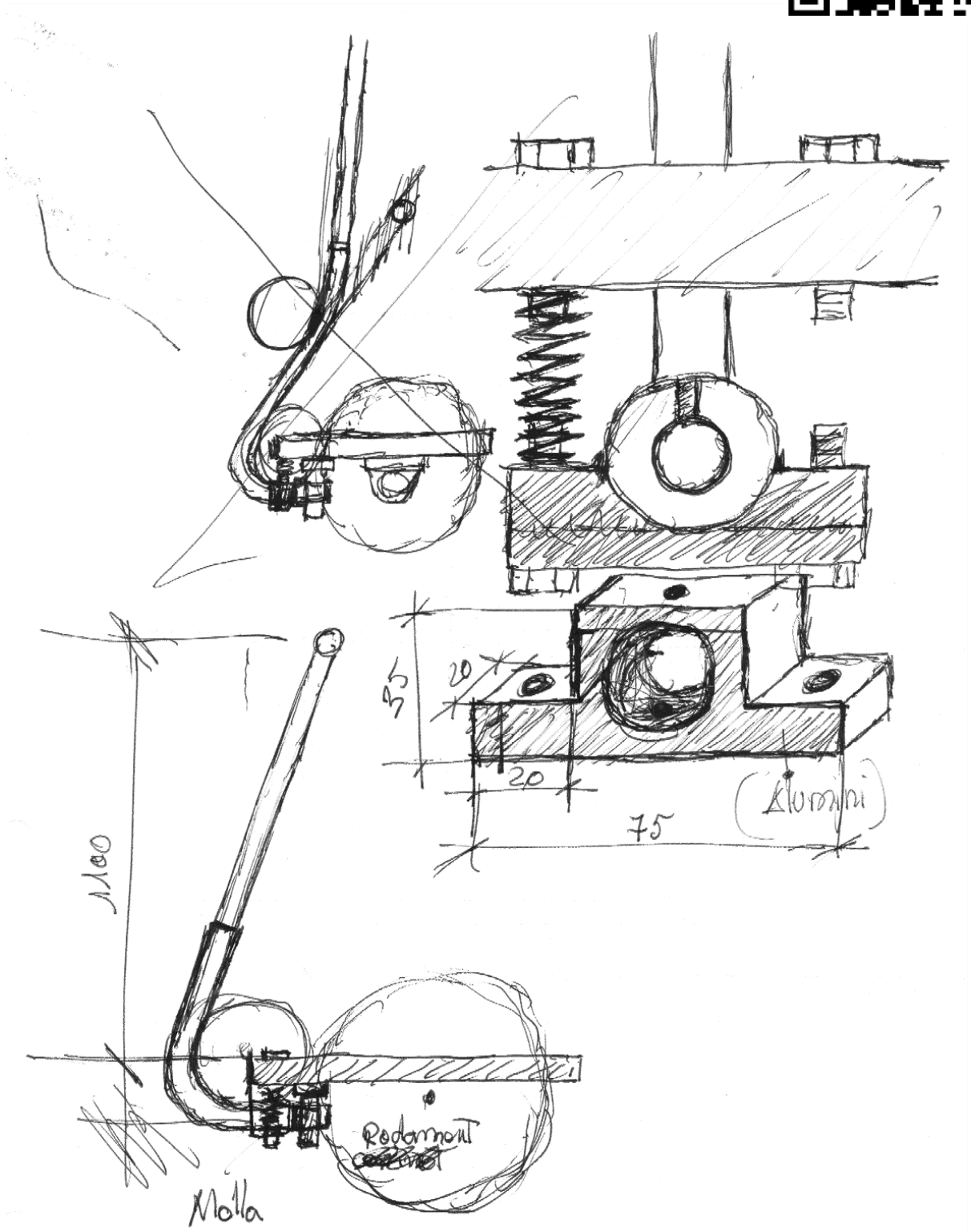
Cadenas

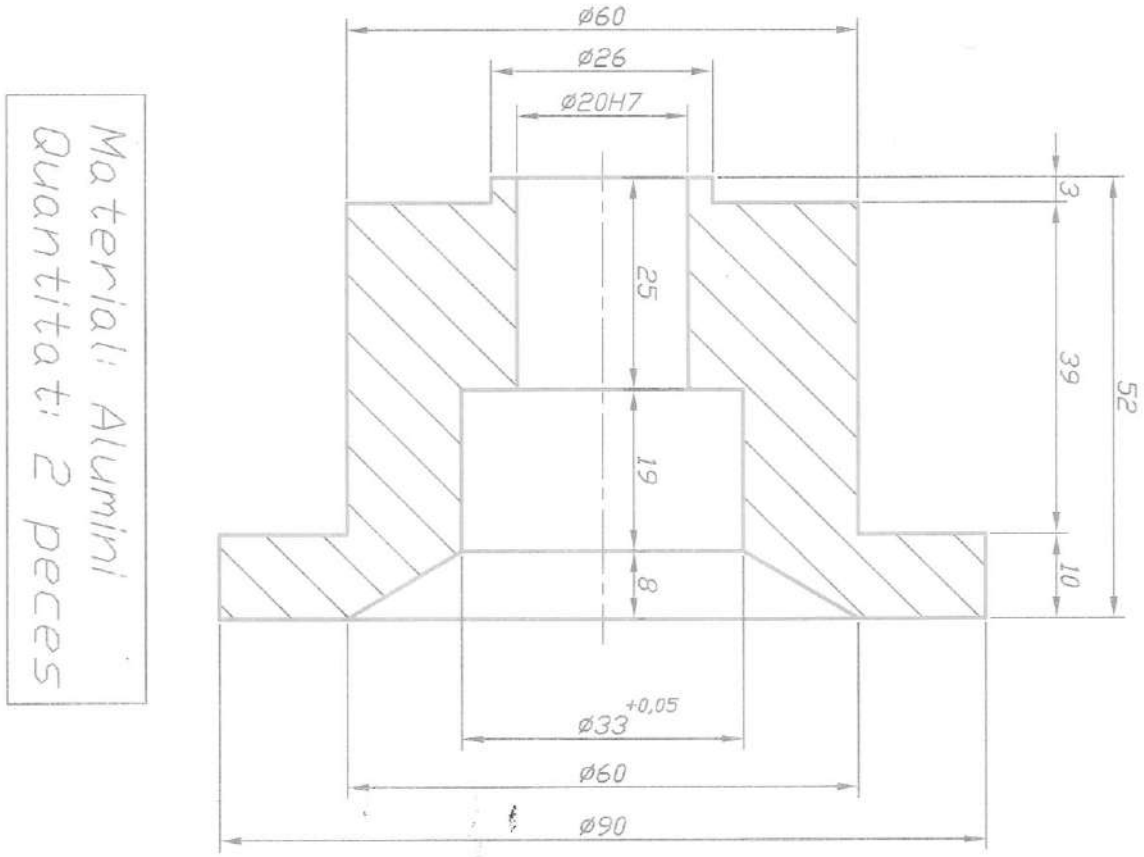
```
char S1[8] =
 {'A','r','d','u','i','n','o'};
 //cadena sin terminación
 //puede producir error
char S2[8] =
 {'A','r','d','u','i','n','o','\0'};
 //incluye terminación nula \0
char S3[]="arduino";
char S4[8]="arduino";
```

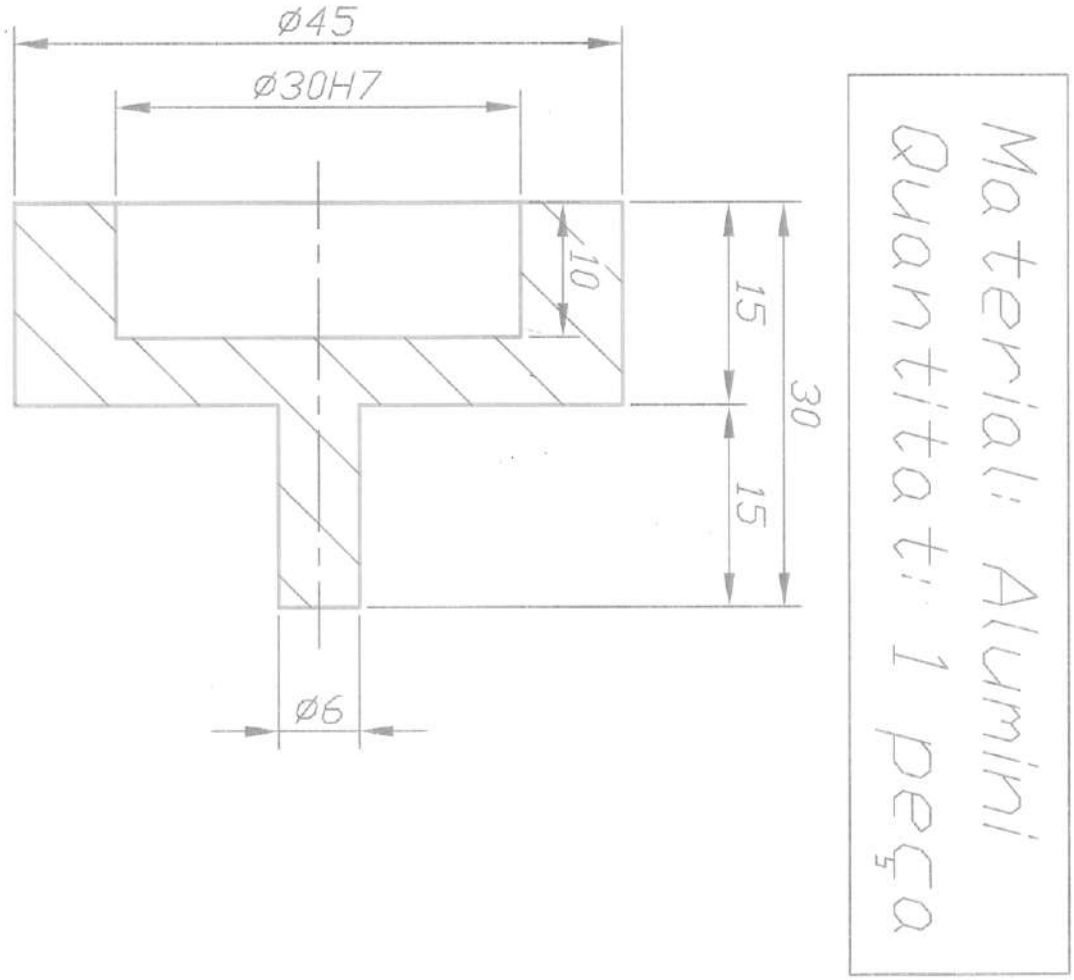
B. DISSENY PECES D'ALUMINI

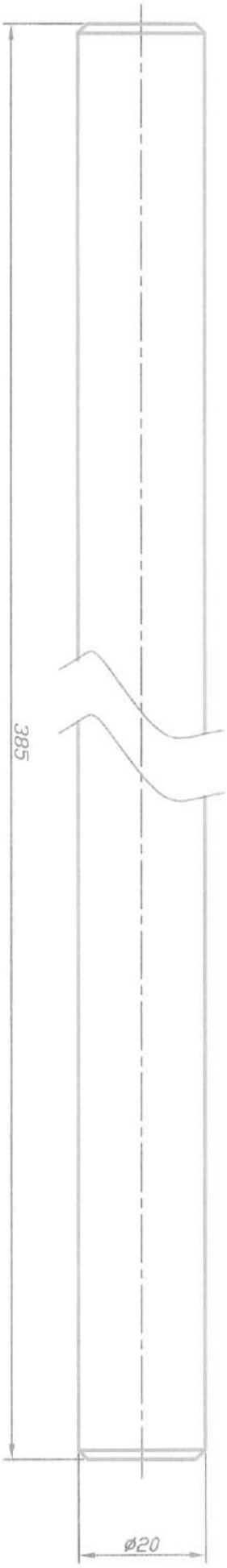
En el següent codi QR podràs trobar aquest annex en alta resolució.

Croquis del disseny:

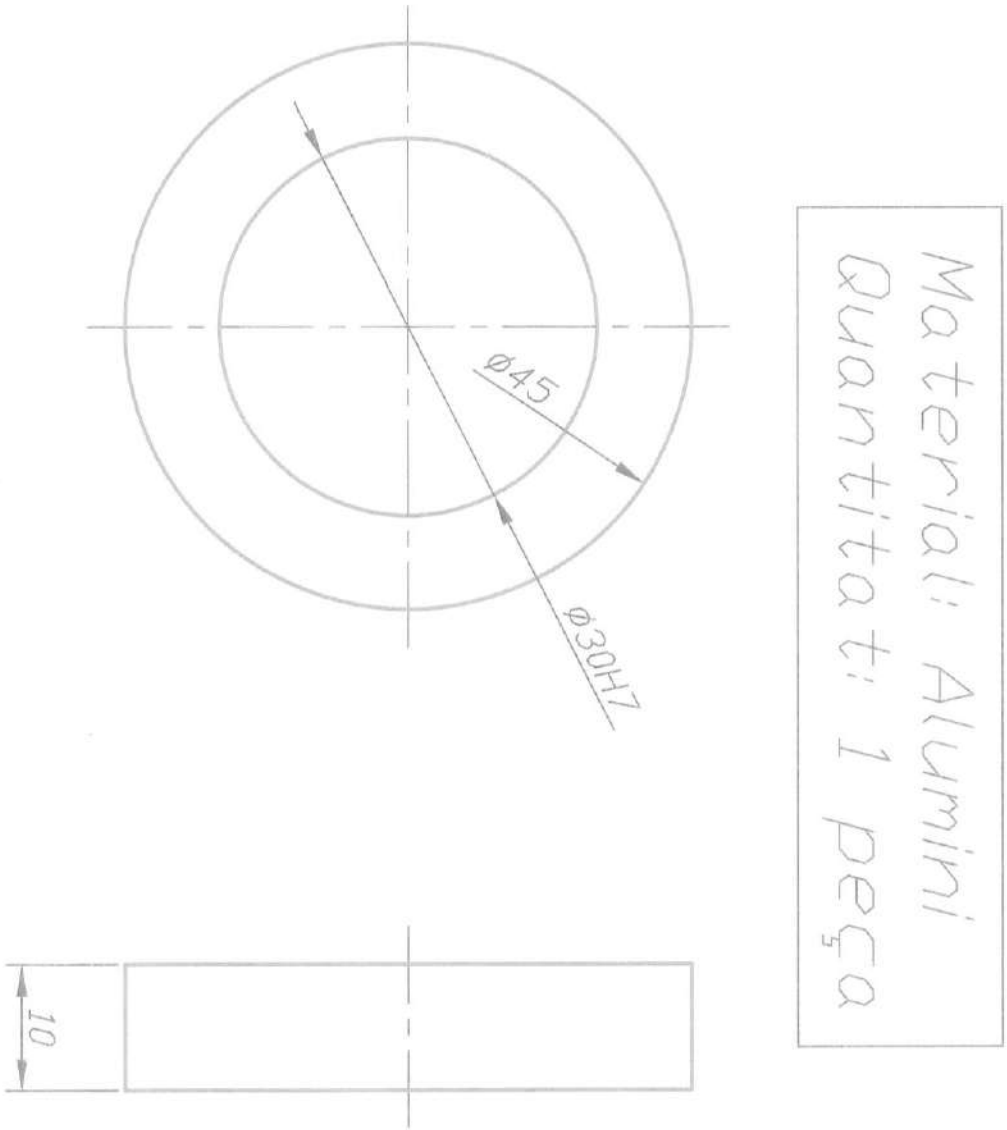



Material: Alumini
Quantitat: 2 peces
ø60
ø26
ø20H7
3
25
39
52
19
10
8
ø33 +0,05
ø60
ø90


Material: Alumini
Quantitat: 1 peça
15
15
30
10
Ø45
Ø30H7
Ø6



Material: F-114 Calibrat rectificat
Quantitat: 2 peces


Material: Alumini
Quantitat: 1 peça
Ø45
Ø30H7
10