



Segway Mindstorms Low Cost

Segway mindstorms low cost



2014-2015



Segway Mindstorms Low Cost

Índex:

1.	INTRODUCCIÓ	4
2.	SEGWAY OFICIAL	7
2.1	<u>Com està fet</u>	9
2.2	<u>Com funciona</u>	10
3.	MAQUETA SEGWAY	12
3.1	<u>Lego mindstorms</u>	12
3.2	<u>Idea segway</u>	16
3.3	<u>Muntatge maqueta segway</u>	17
3.4	<u>Teoria sistemes de control</u>	18
3.4.1	<u>Control PID</u>	20
3.5	<u>Programació maqueta segway</u>	32
3.5.1	<u>Moviment de la maqueta</u>	38
3.5.2	<u>Ajust de les constants</u>	40
3.5.3	<u>Proves amb la maqueta segway</u>	41
4.	MUNTATGE SEGWAY	45
4.1	<u>Croquis</u>	45
4.2	<u>Placa de fusta</u>	46
4.3	<u>Rodes</u>	48
4.4	<u>Rodes de protecció</u>	53
4.5	<u>Motricitat</u>	54
4.5.1	<u>Escurçar Cadena</u>	55
4.6	<u>Bateries</u>	58
4.7	<u>NXT, electrònica i manillar</u>	61
4.7.1	<u>Placa electrònica</u>	62
4.7.2	<u>Manillar</u>	63
4.8	<u>Millores del segway</u>	64
4.8.1	<u>Canvis a la base de fusta</u>	64
4.8.2	<u>Motors i cadena</u>	65



Segway Mindstorms Low Cost

4.8.3	Placa electrònica	67
4.8.4	Suport NXT	69
4.8.5	Sensor giroscòpic	71
4.8.6	Manillar	72
5.	ELECTRÒNICA	81
5.1	PWM	82
5.2	Pont H	83
5.3	Disseny placa electrònica	84
5.4	Muntatge placa electrònica	86
6.	PROGRAMACIÓ SEGWAY GRAN	93
6.1	Conducció del segway	93
6.2	Lectura del angle	94
6.3	Ajust de les constants PID	98
6.4	Ajust de la potència del motor	98
6.5	Sensor de pes	99
7.	ANÀLISIS FINAL	100
8.	CONCLUSIONS	103
9.	AGRAÏMENTS	105
10.	ANEXE	106



1. Introducció

Ja fa tres anys que em vaig comprar el lego mindstorms. El lego mindstorms és una joguina de lego amb la que es poden crear una infinitat de robots.

Des del primer moment que vaig tenir aquesta joguina a les mans em vaig sorprendre de la quantitat de coses que es podien fer. Així que quan em va tocar pensar de què volia fer el treball de recerca, ja tenia clar que volia fer alguna cosa amb el lego mindstorms.



Figura 1.1

El què se'm va acudir a l'estiu del 2013 quan vaig veure el robot equilibrista de la figura 1.2.

Aquest robot em va agradar tant perquè jo mateix sóc molt aficionat a totes les coses relacionades amb l'equilibri. Per exemple, ara estic aprenent a dominar el monocicle (figura 1.3) i quan l'utilitzo no paro de pensar amb el funcionament del segway.



Segway Mindstorms Low Cost



Figura 1.2



Figura 1.3

Després de veure aquest robot vaig decidir que el meu projecte consistiria en fer per mi mateix un d'aquests robots equilibristes. Un cop el vaig fer no em vaig parar, vaig decidir fer amb el mindstorms una copia del segway real(figura 1.4).

He de dir que aquest projecte des del principi a tothom li semblava una bogeria. Per mantenir l'equilibri a un d'aquests aparells es necessiten coneixements que només s'ensenyen a les carreres universitàries, i jo quan vaig començar el treball no en tenia ni idea de com funcionava, ni tan sols sabia el que era una derivada. A pesar d'això estava molt motivat i



Figura 1.4



Segway Mindstorms Low Cost

tenia moltes ganes de fer-lo, així que no vaig dubtar en començar.

El projecte va ser molt dur, vaig necessitar molt temps per entendre la teoria i encara més temps per aplicar la teoria a la pràctica. A més a més estava invertint tot aquest temps i diners en una cosa que no tenia cap garantia de que funcionés. Inclús en aquesta situació vaig ser capaç de ser pacient i mantenir la calma en tot moment ja que tenia molt temps per endavant i, després de centenars d'intents fallits vaig aconseguir que funcionés a mitjans d'agost del 2014. Ja podia marxar de vacances tranquil.

El treball escrit l'he fet durant aquest curs i està dividit en dues parts. A la primera part explico què és un segway i tota la teoria per entendre el seu funcionament i, en la segona part explico els passos que he seguit per muntar i fer funcionar el meu segway particular.



2. Segway oficial

El segway PT és un vehicle elèctric de transport personal. Aquest vehicle té l'habilitat de mantenir el seu propi equilibri, pot arribar als 20km/h, ocupa el mateix espai que un vianant i és capaç d'anar pels mateixos llocs que qualsevol persona caminant.

La conducció d'aquest vehicle és molt fàcil i intuïtiva. Per aprendre a conduir-lo n'hi ha prou amb uns minuts, i encara que sembli un vehicle insegur pel fet de tenir dos rodes, porta un sistema de control d'equilibri que fa que sigui pràcticament impossible caure conduint-lo.



Figura 2.1

Per desplaçar-se cap a endavant el conductor ha de inclinar el seu cos cap endavant. Per desplaçar-se cap enrere, el conductor s'ha de inclinar cap enrere. Per girar hi ha dos formes, una consisteix en girar el manillar cap al costat al que es vol girar i l'altra consisteix en inclinar el pes del conductor cap al costat al que es vol girar. Aquest sistema de conducció fa que el segway sembli que s'adapta als moviments del propi cos.



Segway Mindstorms Low Cost

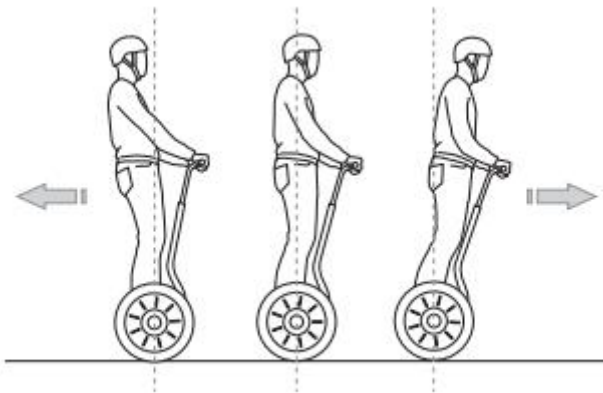


Figura 2.2

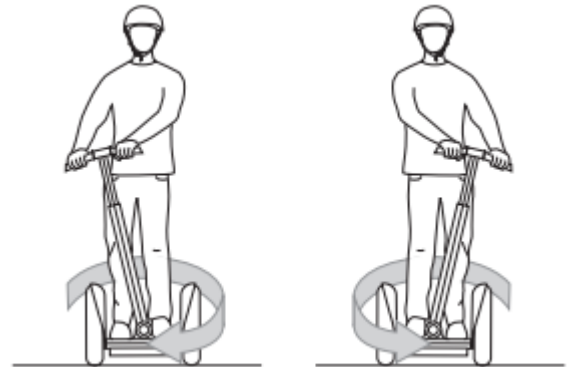


Figura 2.3

Aquest vehicle és ideal per a recórrer distàncies massa llargues per anar caminant i massa curtes per anar en cotxe. Per exemple anar de casa a la feina o a l' institut. També resulta perfecte per a desplaçar-se en recintes interiors de grans dimensions com estadis de futbol, grans supermercats, aeroports, edificis molt extensos (per als conserges o vigilants).



Figura 2.4

Actualment han sorgit un munt d'empreses de lloguer de segways per a visitar els centres de ciutats turístiques. Per exemple a Barcelona, París o Praga hi ha molta gent i de totes les edats conduint aquest vehicle.

El segway va ser presentat oficialment al desembre del 2001. El vehicle va ser rebut d'una forma molt entusiasta. El mateix Steve Jobs va arribar a dir que a partir d'aquell moment les ciutats serien urbanitzades adaptant-se a aquest producte. Amb tot aquest optimisme, l'empresa que el fabricava va pensar que en vendria unes 50.000 unitats el primer any, però les vendes van ser de només 6.000 unitats. Els motius d'aquesta mala previsió pensem que



Segway Mindstorms Low Cost

van ser dos : el preu elevat del producte (6.000€) i la por d'algunes persones a conduir-lo, ja que a pesar de mantenir molt bé l'equilibri pot arribar a perdre'l al passar per algun obstacle improvisadament o quan les bateries estan quasi descarregades.

A pesar del fracàs inicial, l'empresa fabricant va seguir promocionant i millorant el vehicle. L' empresa no ha assolit l'objectiu de que el segway es converteixi en un vehicle pràctic portat per l' habitant mitjà, però en aquests moments hi ha oberts uns 100 concessionaris i molts altres distribuïdors internacionals que han fet que es converteixi en un vehicle típic a les ciutats turístiques i que sigui usat per molts vigilants de grans superfícies.



Figura 2.5-Dean Kamen "inventor del segway" sobre el seu invent

2.1 Com està fet:

Observant un segway des de l'exterior, es pot veure que consta simplement d'una base, dos rodes i un manillar. Però a part d'això porta molts altres components interns que intervenen en el seu funcionament.

Per començar, tots els segways porten dos motors. Cada motor va lligat a la seva respectiva roda per mitjà d'engranatges. Aquests motors estan controlats per un microprocessador cada un.

Els sensors que porta el segway són cinc giroscopis i dos acceleròmetres que s'encarreguen de calcular d'una forma molt precisa l'angle d'inclinació en que es troba el vehicle. Apart d'aquests sensors porta un potenciòmetre que llegeix la inclinació del manillar i un sensor de



Segway Mindstorms Low Cost

pes a la base que a més a més de detectar que el conductor esta a sobre del segway, també detecta com es distribueix el pes del conductor sobre la base. Aquest sensor de la distribució del pes fa que quan el conductor inclina el pes del cos cap a un costat el segway giri cap a aquell costat.

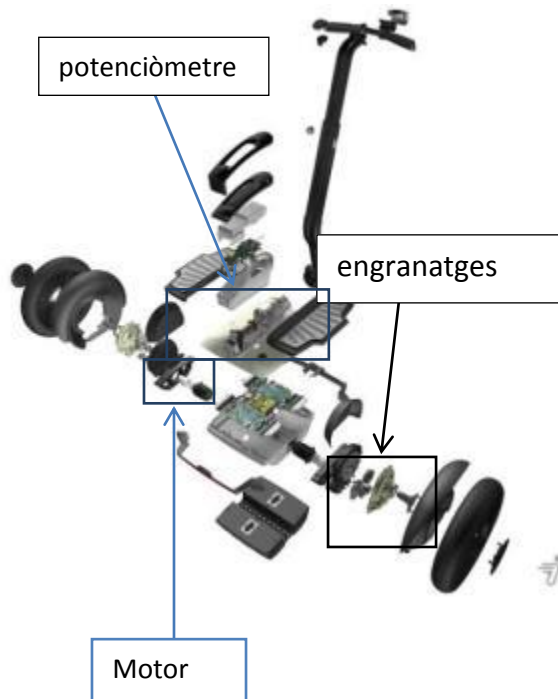


Figura 2.6

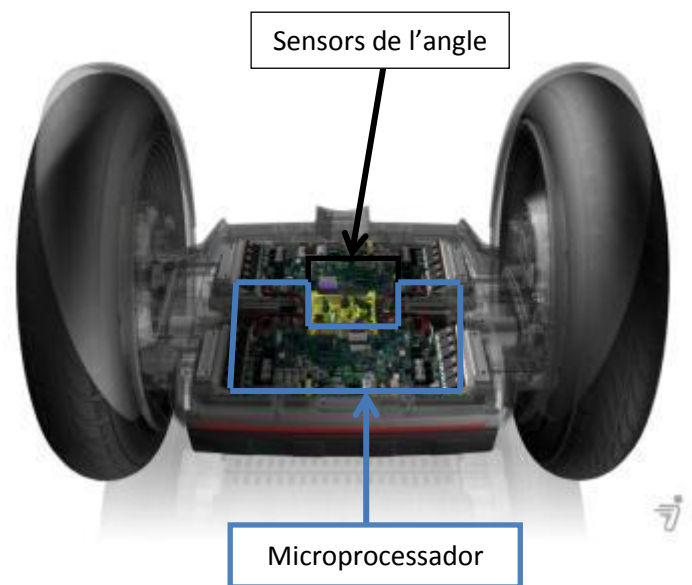


Figura 2.7

2.2 Com funciona:

Per entendre el funcionament del segway només cal pensar amb el sistema que utilitza el cos humà per mantenir l'equilibri. Quan una persona que està de peu s'inclina cap a endavant de manera que sembli que vagi a perdre l'equilibri, segurament no caurà de cara. El cervell d'aquesta persona detecta que s'està desequilibrant, perquè el líquid de l' oïda es desplaça, i instintivament mourà la cama cap a endavant per evitar la caiguda. Si segueix



Segway Mindstorms Low Cost

inclinant-se cap a endavant el seu cervell seguirà movent les cames cap a endavant per mantenir-se vertical de manera que la persona caminarà i en cap moment perdrà l'equilibri.

En el segway passa el mateix, sols que aquest en lloc de cames té motors i rodes , en lloc de cervell té microprocessadors i en lloc de oïda porta cinc sensors giroscòpics i dos acceleròmetres que mesuren l' inclinació. El segway llegeix la inclinació del vehicle amb els sensors, llavors els motors fan girar les rodes per corregir aquesta inclinació realitzant aquest procés 100 vegades per segon, cosa que fa que el moviment sigui molt suau i que a penes es pugui percebre que les rodes s'estan movent constantment per mantenir l'equilibri.

Per desplaçar-se cap endavant el conductor del segway pot utilitzar aquest sistema d'equilibri: el conductor del segway s' inclina cap a endavant fent que el segway també s'hi inclini, llavors els motors es mouran cap endavant per a intentar corregir aquesta inclinació. Si es manté inclinat cap a endavant més estona, els motors seguiran avançant cap endavant de manera que el segway no deixarà de desplaçar-se cap endavant. El mateix passa si s'inclina cap enrere, el segway es desplaçarà cap enrere.

Respecte al sistema de gir, el conductor te dues maneres de fer girar el segway, la primera consisteix en moure el manillar cap al costat que el conductor vol girar. L'altra consisteix en inclinar el pes del cos cap al costat que es vol girar. Les dues maneres fan que el segway giri cap a aquell cantó.

El que fa el segway a nivell de components interns per girar, és llegir la inclinació del manillar a partir d'un potenciòmetre o llegir la distribució de pes de la persona sobre la base. Aquesta informació la reben els microprocessadors "el cervell del segway" i a partir d'aquesta informació decideixen cap a on i a quina velocitat ha de girar el segway. Per fer-lo girar fan que un dels motors giri a una velocitat major que l'altre. És a dir, si el conductor vol girar cap a la dreta inclinarà el manillar cap a la dreta, el potenciòmetre ho detectarà i li enviarà la senyal als microprocessadors, aquests faran que el motor de la esquerra giri més ràpid que el de la dreta i per tant el segway girarà cap a la dreta.



3. Maqueta segway

3.1 Lego Mindstorms

Abans d'explicar com he fet la maqueta del segway és important saber què és el lego mindstorms:

El lego mindstorms és una joguina de robòtica dissenyada per a nens, aquesta joguina és un pac en el que hi han un conjunt de peces (les de la figura 3.1), un processador, diversos sensors i tres motors.

Les peces del lego mindstorms són semblants a les joguines típiques de lego, són un conjunt de peces petites les quals es poden ajuntar de moltíssimes maneres per crear

màquines o robots de joguina. Amb aquestes peces es poden muntar tant els robots que venen amb les instruccions, com robots que passen per la nostra imaginació, només és qüestió de ser creatiu. A la *figura 3.2 i 3.3* es poden veure diferents robots que han muntat amb aquestes peces altra gent i ha penjat per internet. Un és una màquina robòtica i l'altre resol el cub de rubik.



Figura 3.1



Segway Mindstorms Low Cost

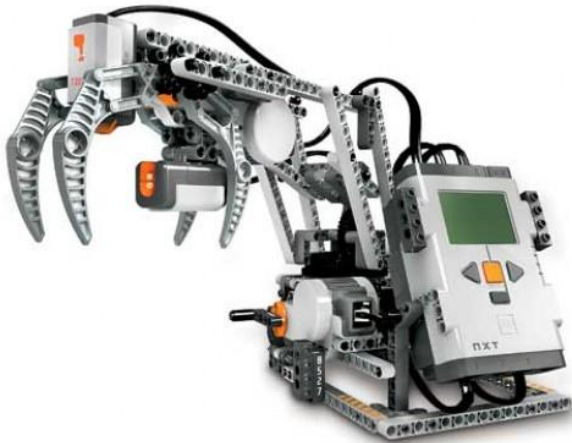


Figura 3.2

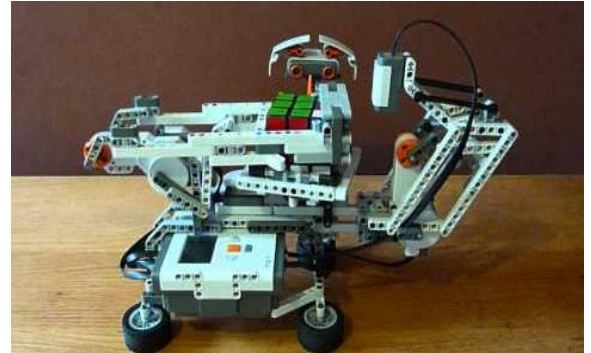


Figura 3.3

Apart de les peces per muntar, el lego mindstorms consta de tres motors que s'encarreguen del moviment del robot, diversos sensors i el bloc NXT que fa de processador, en altres paraules és el cervell. El bloc NXT va connectat als sensors i motors per controlar-los.



Figura 3.4

El bloc NXT necessita rebre ordres per saber quins motors ha de moure i com els ha de moure. Aquestes ordres constitueixen "el programa" i crear-les significa "programar". Per programar s'ha de utilitzar un ordinador, i el programa que es fa s'envia al bloc NXT per mitjà d'un cable.



Segway Mindstorms Low Cost

Aquest programa d'ordinador utilitza un llenguatge de programació, que és un llenguatge formal amb el que es donen ordres a la màquina. El llenguatge de programació més utilitzat per al lego mindstorms és el NXT-G, un llenguatge de programació molt senzill, intuïtiu i fàcil de fer servir. Per entendre el seu funcionament és interessant fixar-se en la *figura 3.5* :

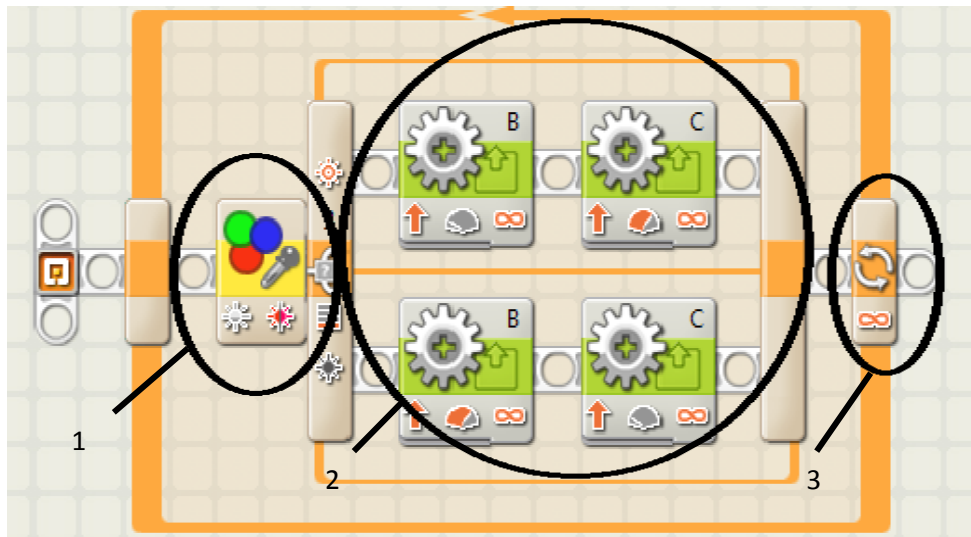


Figura 3.5

L' 1 és una condició, que fa llegir un sensor i en funció del valor que dona aquest sensor segueix el camí de dalt o el de baix.

Al 2 es veuen les accions que farà el motor. La lletra de dalt indica quin motor fa l'acció i quan és selecciona el bloc es pot decidir el temps, sentit i potencia de l'acció del motor.

El 3 fa la funció de bucle. Un bucle repeteix tot allò que hi ha dins seu . En aquest cas es repeteix fins al infinit, o sigui que no para mai, però es pot fer que només es repeteixi unes determinades vegades.

El NXT-G com es veu és un llenguatge molt intuïtiu i visual, tant que inclús un nen petit sense rebre instruccions seria capaç de programar amb ell. Aquest llenguatge de programació és ideal per aprendre a programar des de zero o per fer programes senzills, però a l' hora de fer programes més complexos que requereixen operacions matemàtiques aquest llenguatge deixa de ser pràctic. Per això jo prefereixo utilitzar RobotC per programar el NXT. Aquest



Segway Mindstorms Low Cost

llenguatge de programació és més similar a la resta, de fet està basat en el llenguatge C, un dels llenguatges més clàssics i utilitzats al món.

Programar en RobotC no és tan fàcil com NXT-G. És més complex i no tan intuïtiu, però a mesura que t'acostumes s'acaba tornant més pràctic.

Per programar amb RobotC s'han d'escriure les ordres en un entorn semblant al d'un bloc de notes. Per exemple per moure el motor cap a endavant a 100% de potencia s'escriu aquesta línia:

```
Motor[MotorA]=100;
```

Si volem que el motor es pari al cap de 5 segons:

```
Motor[MotorA]=100;
```

```
wait1Msec(5000);
```

```
Motor[MotorA]=0;
```

I si volguéssim que es repetís això constantment, el ficariem dins d'un bucle d'aquesta manera:

```
While(1){
```

```
Motor[MotorA]=100;
```

```
}
```

Aquest conjunt de línies que s'escriuen s'anomena codi. Al principi aquest codi ens pot semblar complicat d'entendre però a base de pràctica s'acaba fent tan fàcil d'entendre com el castellà i el català.



3.2 Idea del segway

La idea del segway em va sorgir un dia que estava mirant vídeos pel youtube, i per casualitat em vaig trobar amb un vídeo d'un robot fet amb el lego mindstorms que imitava el funcionament d'un segway. Aquest és el link:

<https://www.youtube.com/watch?v=q9ZONn3p1LI>

Només veure'l em va impressionar moltíssim el seu funcionament, vaig trobar increïble que fos capaç d'aguantar-se en equilibri, i que utilitzés el sensor de llum per saber la inclinació del robot. Ja

que segons la inclinació del robot el sensor de llum s'apropa o s'allunya del terra, i segons a la distancia que està el sensor de llum del terra marca diferents valors, amb els quals el NXT pot saber aproximadament la inclinació.

Aquest robot em va agradar tant que vaig voler muntar-lo seguint les instruccions que donava el mateix autor del robot i vaig copiar el programa. El robot va funcionar. El següent pas va ser investigar com funcionava. Vaig descobrir que funcionava amb un sistema de control PID (són les inicials de proporcional, integral i derivatiu), encara que no vaig acabar d'entendre aquest sistema de control em vaig fer una idea aproximada de com funcionava. Després vaig intentar crear el meu propi programa per al robot amb NXT-G, però no acabava de sortir-me'n, i quan m'encallava consultava el programa de l'autor del robot. De manera que el meu programa al final va acabar sent una copia pràcticament igual que el programa que donava l'autor, però tot aquest procés em va ajudar a entendre molt millor com funcionava.

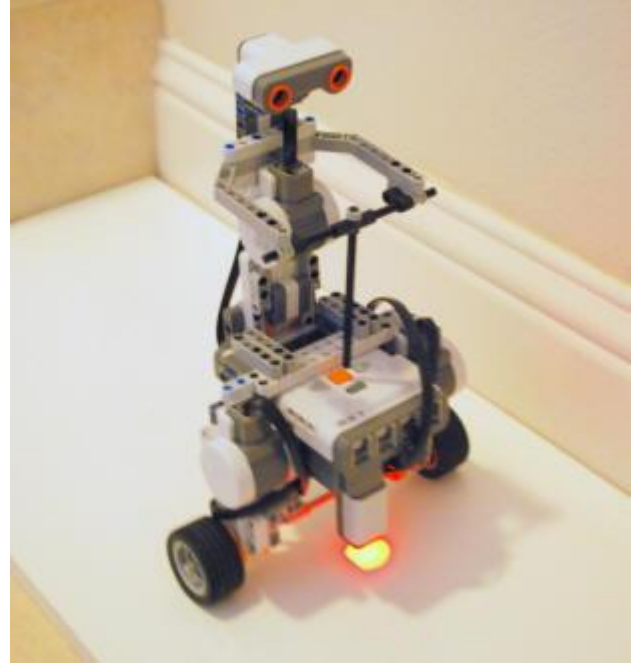


Figura 3.6



Segway Mindstorms Low Cost

Mentre investigava sobre aquest robot vaig trobar un altre robot igual però amb diferents sensors. En lloc del sensor de llum portava un sensor giroscòpic que és capaç de medir la velocitat angular. Aquest sensor calcula de forma més precisa la inclinació del robot i per això aguanta molt millor l'equilibri. Al ser més estable podia fer més coses: moure's cap endavant, enrere i girar mantenint l'equilibri d'una forma tan estable que a penes balancejava. El vídeo en el què vaig veure el robot és aquest:

<https://www.youtube.com/watch?v=-KQcUo3JVUs>

Em vaig tornar a plantejar el repte de fer aquest robot per mi mateix, però aquesta vegada ho faria de veritat, no com l'anterior. Vaig haver de comprar el sensor giroscòpic, ja que aquest no anava amb el kit del lego mindstorms, i vaig començar el que seria el meu treball de recerca.

3.3 Muntatge maqueta segway

El robot és en realitat una maqueta que imita el funcionament del segway. Aquesta maqueta és molt senzilla, només porta dos motors amb una roda cadascun i un sensor giroscòpic. Aquests elements van units al NXT utilitzant les peces de lego mindstorms. Muntar la maqueta és el pas de la figura 3.7 a la 3.8:



Figura 3.7



Figura 3.8



3.4 Teoria sistemes de control

Programar consisteix en escriure un seguit d'ordres que el robot ha de seguir.

El programa per a la maqueta és en realitat un sistema de control format per un conjunt de components que poden regular la seva pròpia conducta per aconseguir un funcionament predeterminat. Hi ha dos tipus de sistemes de control:

Sistema de llaç obert: Sistema de control en el que la sortida no té efecte sobre l'acció de control. Es caracteritza perquè el sistema de control no pot saber si l'acció de control l'ha realitzat correctament. Un exemple serien les aixetes que funcionen amb un botó: en prémer el botó comença a sortir aigua i al cap d'un temps deixa de sortir-ne automàticament. El temps que ha estat sortint aigua és independent del temps que haguem necessitat que sortís aigua.

Aquest és l'esquema d'un sistema de control de llaç obert:

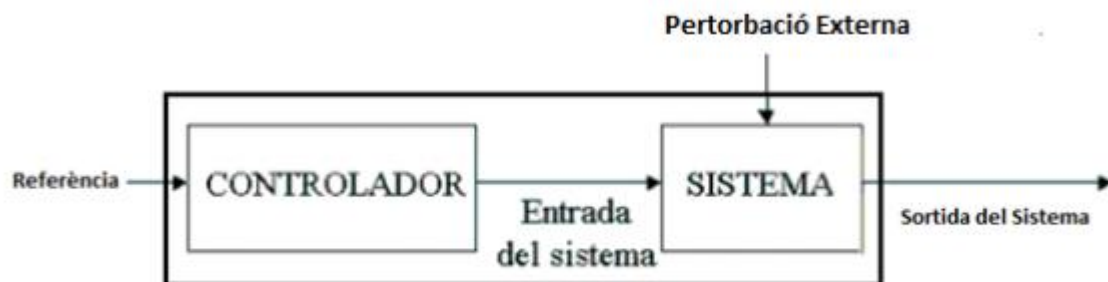


Figura 3.9

Sistema de llaç tancat: Sistema de control en que la sortida té un efecte directe en l'acció de control. Aquest sistema es caracteritza per la seva propietat d'autocorrecció d'errors mitjançant la informació que rep dels sensors i, per l'estabilitat davant de les pertorbacions (senyals que afecten al valor de sortida d'un sistema). Aquest és l'esquema:



Segway Mindstorms Low Cost

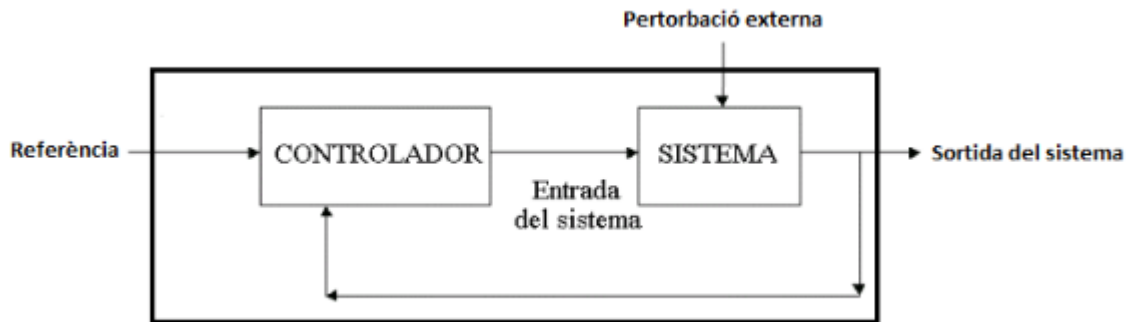


Figura 3.10

El sistema de control que utilitza el segway és de llaç tancat perquè la sortida (els moviments del motor) tenen un efecte directe en l'acció de control (la inclinació del robot).

Dins dels sistemes de control de llaç tancat hi han diversos tipus de sistemes, el sistema de control que utilitza el segway és el control PID:



3.4.1 Control PID

El control PID és un sistema de control que calcula la diferència entre el valor mesurat i el valor que es vol obtenir. Aquesta diferència s'anomena error i, a partir d'aquest error el sistema de control aplica una acció per a corregir aquest error de la forma més òptima. En el cas del segway, l'error seria l'angle del robot i l'acció per corregir l'error seria l'acció del motor.

Per calcular l'acció del motor s'utilitzen tres paràmetres: **el proporcional, l'integral i el derivatiu**. Aquests tres paràmetres van sumats i donen l'acció que s'ha de fer per corregir l'error. Aquest és l'esquema d'un sistema de control PID:

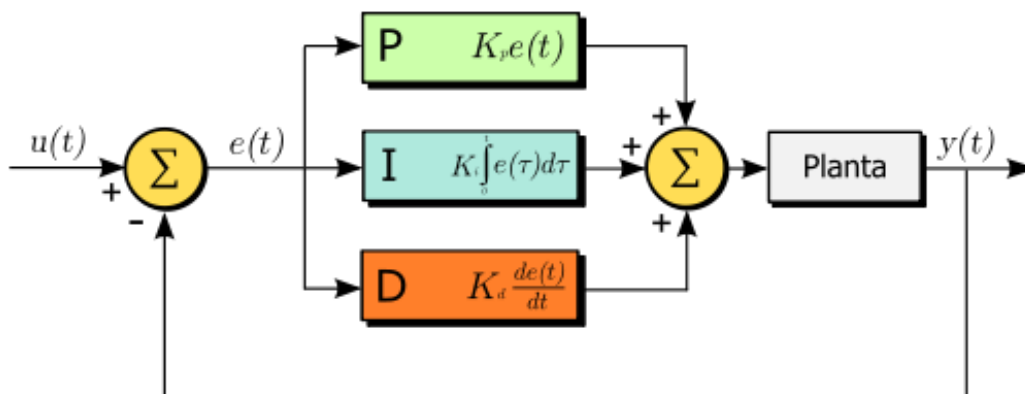


Figura 3.11



Segway Mindstorms Low Cost

Per entendre bé aquest sistema de control s'ha de conèixer què fa cada un dels paràmetres. Ho explicaré amb un exemple pràctic:

Imaginem-nos un sistema d'un braç robòtic que ha d'aixecar un pes a una determinada altura:

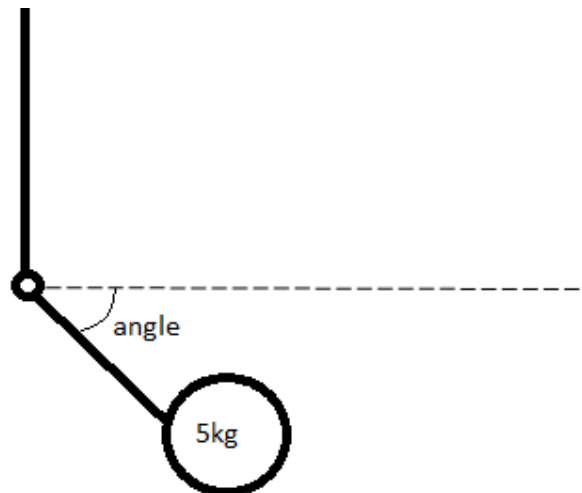


Figura 3.12

En aquest exemple la posició a la qual es vol aixecar el pes és la marcada amb una línia discontinua, per tant l'error és l'angle entre la línia discontinua i el braç robòtic. Qui fa l'acció d'intentar corregir aquest error és el motor.

Ara mirem què farà cada part del control PID en aquest sistema:

Proporcional: Aquesta part farà moure el motor amb una força proporcional a l'error, o sigui a l'angle escrit d'una forma matemàtica: l'acció proporcional= k_p *error. Al principi l'angle és molt gran per tant el motor farà molta força, però a mesura que el braç s'acosti a la posició desitjada l'angle disminuirà, així que farà menys força. Quan arriba a la posició desitjada l'error serà nul i per tant el motor no farà força, però per inèrcia el braç es passarà, aquest fet de passar-se per inèrcia s'anomena sobreoscil·lació. Després de passar-se l'error canvia de signe així que el braç torna a fer força en el sentit contrari per arribar a la posició desitjada, segurament quan arribi a la posició desitjada es tornarà a passar, però no de tant



Segway Mindstorms Low Cost

com la primera vegada, aquest cicle es repetirà diverses vegades fins que s'arriba al següent punt:

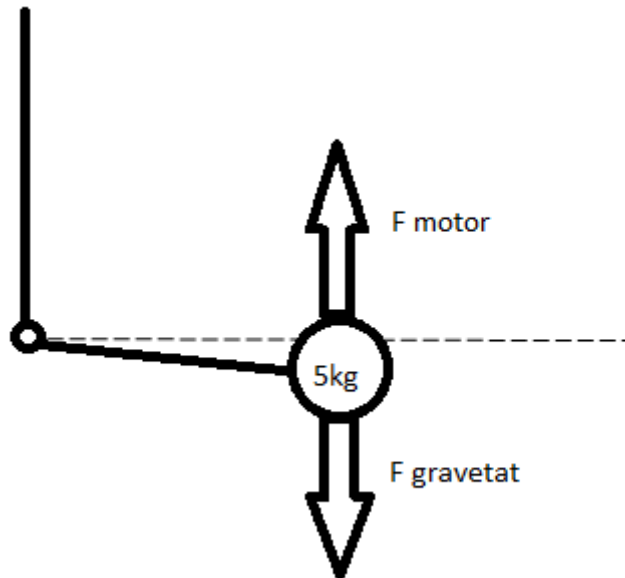


Figura 3.13

En aquest punt el braç no porta inèrcia, està completament parat. El que està passant és que el error és molt petit, en conseqüència la força que fa el motor és molt petita, tan petita que s'igualava amb la força de la gravetat i al ser en sentit contrari s'anul·len, per tant al anul·lar-se les forces i no haver-hi velocitat, el braç es queda parat. El problema és que encara existeix un error i a pesar d'això el braç no l'està corregint. Aquest error s'anomena error estacionari. Podríem augmentar la resposta del braç en funció de l'error (augmentar k_p), però a pesar que així disminuiria l'error estacionari, les sobreoscil·lacions serien molt més grans. En el següent gràfic es pot veure com evoluciona el sistema segons el valor de k_p :



Segway Mindstorms Low Cost

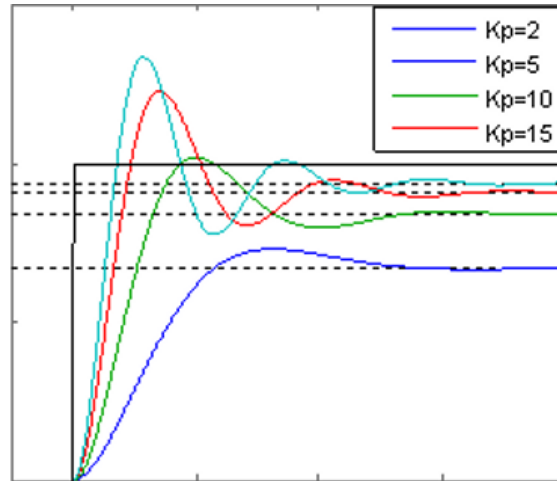


Figura 3.14

Es pot veure com a mesura que augmenta k_p l'error estacionari disminueix però les sobreoscil·lacions augmenten.

Integral: Aquesta part és la que elimina l'error estacionari. Per fer-ho fa la integral. La integral consisteix en sumar els errors que hi ha al llarg del temps multiplicats per el temps que estan. Per exemple imaginem que al principi l'error és 1, la integral valdrà 1, si un segon després l'error segueix valent 1, llavors la integral sumarà aquest error i passarà a valdre $1+1*1=2$, i si al següent segon l'error val 5, aquest error es sumarà i la integral passarà a valer $2+5*1=7$.

Així que la part integral és la que fa una acció proporcional a la integral de l'error. Matemàticament s'escriu així:

$$I_{\text{sal}} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ara mirem el què faria la part integral en el cas d'abans de la figura 3.13. En aquell cas l'error era tan petit que l'acció que feia la part proporcional era tan petita que s'igualava amb la gravetat i no arribava a corregir l'error estacionari. Amb la part integral afegida, la integral al principi serà molt petita i seguirà sense moure's, però al cap de pocs segons l'error aquest



Segway Mindstorms Low Cost

s'acumularà en la integral, de tal manera que el motor farà més força i començarà a moure el pes fins a la posició desitjada.

Quan arriba a la posició desitjada la part integral segueix dient-li al motor que es mogui cap a dalt, perquè a pesar que l'error sigui zero l'error acumulat segueix tenint un valor. Això a primera vista pot semblar que fa el sistema inestable, però en realitat és ideal, perquè quan s'arriba a la posició desitjada la força de la gravetat segueix fent força per baixar el pes. Amb la part integral, el motor farà força per compensar-la així que el sistema queda en equilibri en la posició desitjada, com es mostra en la següent figura:

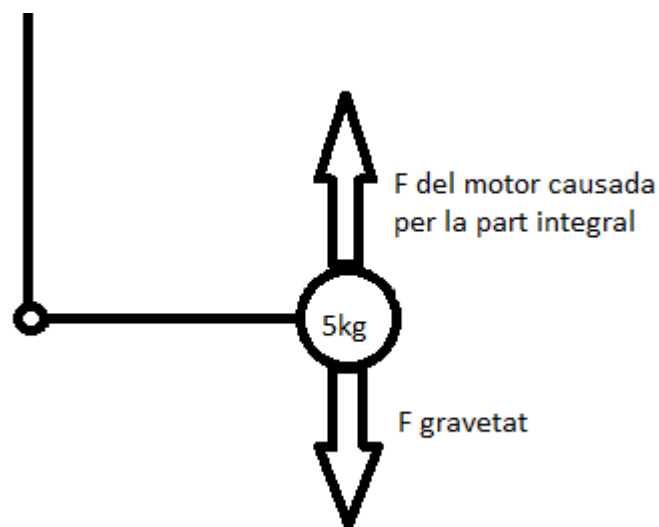


Figura 3.15

Igual que la part proporcional, la part integral també va multiplicada per una constant, k_i . Com més gran sigui k_i més actuarà la part integral. En aquest gràfic es pot veure l'efecte que té canviar el valor de k_i :



Segway Mindstorms Low Cost

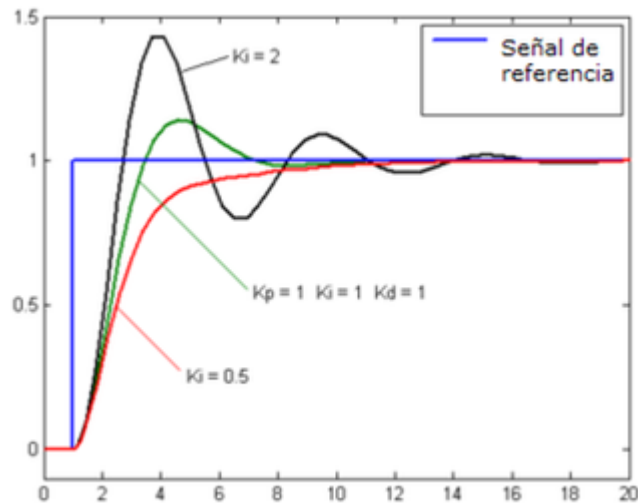


Figura 3.16

Es pot veure que l'error estacionari desapareix completament, però com més s'augmenta k_i , més sobreoscil·lacions hi ha.

Derivativa: La part derivativa té la funció de disminuir les sobreoscil·lacions i fer el sistema més ràpid. Per fer-ho fa una acció proporcional a la derivada de l'error, que és en realitat la velocitat amb la qual varia l'error. Matemàticament s'expressa així:

$$D_{\text{sal}} = K_d \frac{de}{dt}$$

En el cas del braç mecànic, al principi, la part proporcional fa que el braç és mogui cap a dalt. Com que s'estarà movent amb una velocitat cap a dalt, la part derivativa intentarà que el motor faci força cap baix. Com que al principi l'error és molt gran la part proporcional actua amb molta força, així que la part derivativa només alentirà el moviment del braç una mica com es veu en la següent figura:



Segway Mindstorms Low Cost

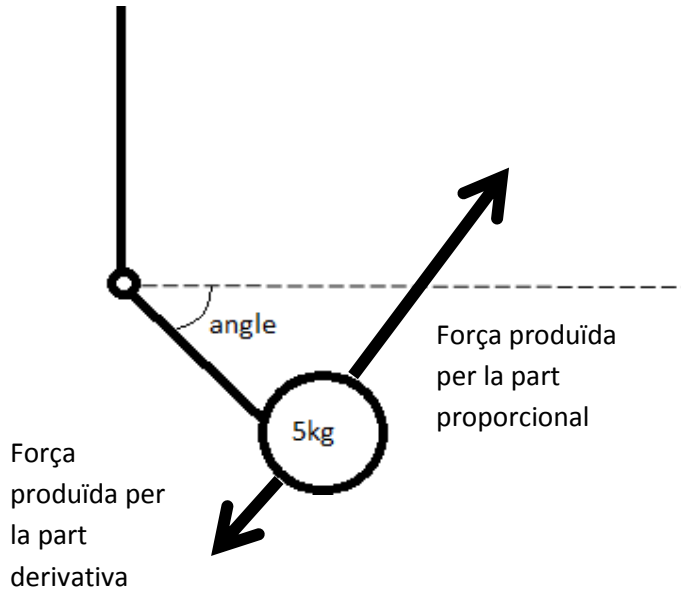


Figura 3.17

Arribarà un moment en el qual el pes estarà molt a prop de la posició desitjada, llavors la part proporcional actuarà molt poc, però portarà molta inèrcia i la part derivativa serà molt gran. Llavors es produirà la següent situació:

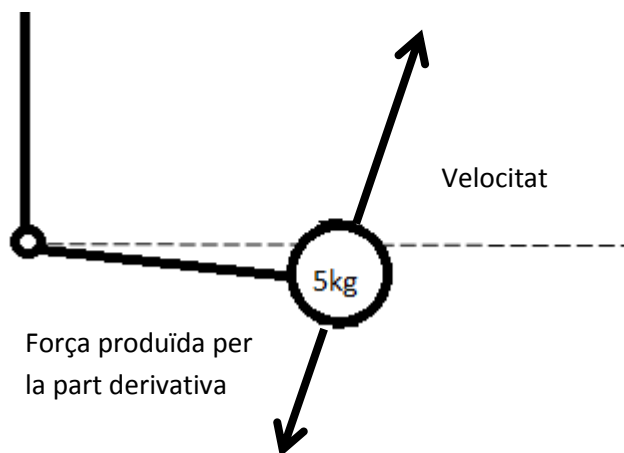


Figura 3.18



Segway Mindstorms Low Cost

En aquesta situació el motor farà força en sentit contrari de manera que el pes es frenarà i no hi hauran tantes sobreoscil·lacions.

La part derivativa també va multiplicada per una constant, k_d . Aquí es pot veure un gràfic de com afecta la part derivativa segons quan val k_d :

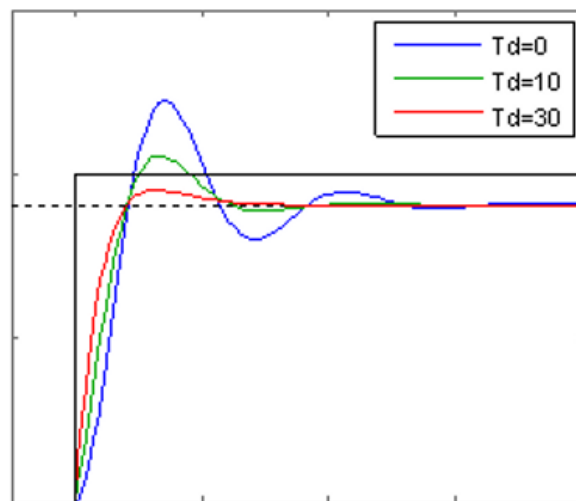


Figura 3.19

Es pot veure que com més gran és k_d , més ràpid és el sistema i menys sobreoscil·lacions. També es pot observar que la part derivativa té poc efecte en el sistema de control.

En la maqueta del segway, el control PID funciona igual que en l'exemple del braç mecànic, però el dibuix seria així:



Segway Mindstorms Low Cost

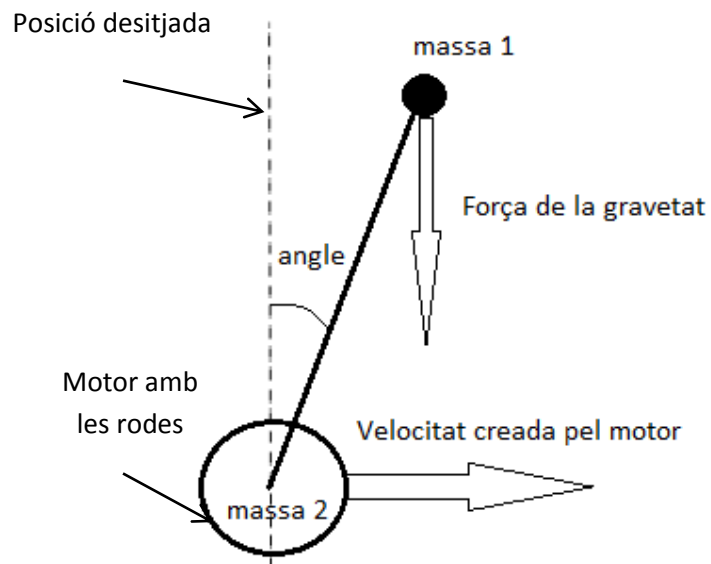


Figura 3.20

L'angle és l'error, i per corregir-lo els motors fan avançar o retrocedir la base amb una velocitat marcada pel control PID.

El punt d'equilibri apareix quan està totalment vertical com mostro al dibuix:

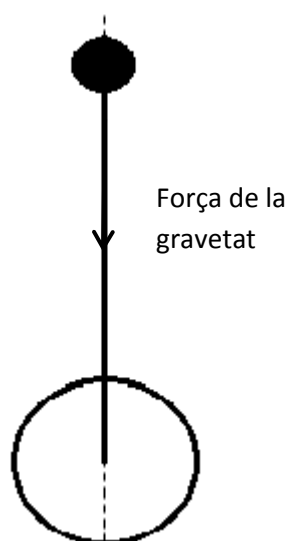


Figura 3.21



Segway Mindstorms Low Cost

A la teoria com que està totalment vertical la força de la gravetat no desequilibra el robot, perquè aquesta cau sobre la base, així que en el punt d'equilibri el motor no ha de fer res perquè ja està a la posició desitjada. Però a la pràctica aquest punt d'equilibri és tan fi que només que s'hi desvii una dècima de mil·límetre el vehicle ja comença a caure. Seria com intentar deixar un bolígraf aguantat sobre la seva pròpia punta, per molt bé que el centrem sempre acaba caient. Per això en el segway el motor no para de fer correccions i no para de balancejar-se, però ho fa d'una forma tan suau i tantes vegades per segon que la nostra vista no ho percep.

El cas del segway amb conductor és igual que el de la maqueta del segway, però quan el conductor s'inclina cap a endavant per fer-lo avançar es dona una situació que no es donava en la maqueta:

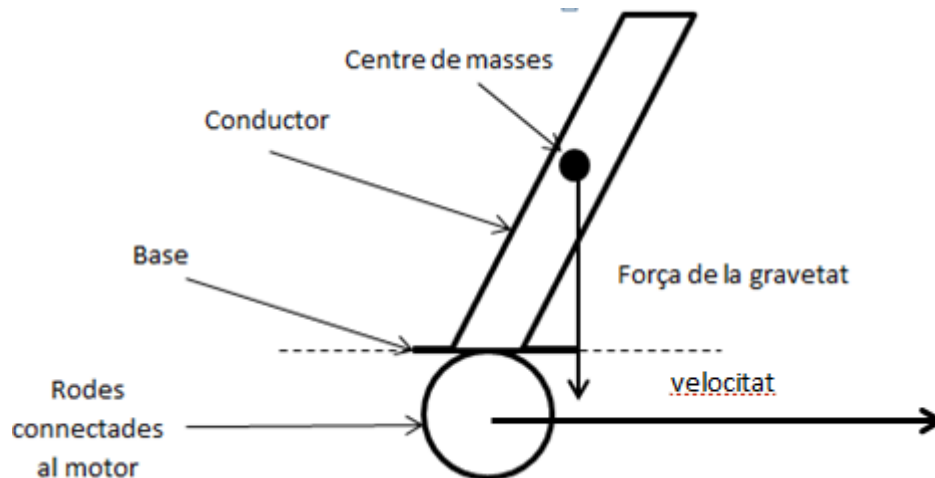


Figura 3.22

En aquest esquema el conductor inclinat ve representat per un romboide. En el sistema de control del segway la posició desitjada es dona quan la base és paral·lela al terra. En els cossos la força de la gravetat actua sobre el centre de masses.



Segway Mindstorms Low Cost

Com es veu al dibuix el fet de que el conductor estigui inclinat fa que la força de la gravetat inclini el segway cap a endavant, donant-se aquesta situació:

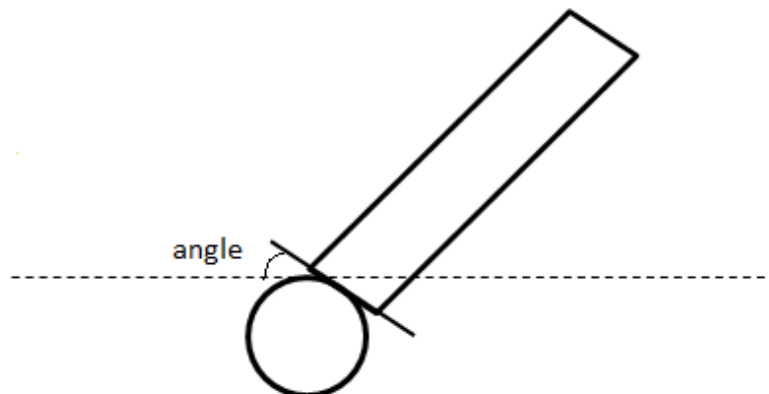


Figura 3.23

Al haver-hi aquest angle, el segway avançarà per corregir-lo i de seguida tornarà a la situació de la figura 3.22. Com que hi ha hagut uns errors previs, la part integral tindrà un valor diferent de zero que farà que el motor avanci, i a la vegada, com que el conductor segueix inclinat la força de la gravetat seguirà intentant inclinar el segway cap a endavant, però aquesta es compensarà amb la velocitat que porta la base. Per això hi haurà una situació d'equilibri en la que a pesar de que el conductor del segway està inclinat, la base del segway no s'inclina, i el segway avança cap a endavant.

Un cop entès com funciona el control PID queda explicar l'ajust de les constants. Com he explicat abans, cada part va multiplicada per una constant, k_p la proporcional, k_i la integral i k_d la derivativa, com més gran sigui cada una d'aquestes constants més gran és la influència de la part a la qual multipliquen. Com es veia en els gràfics, segons el valor que tinguessin aquestes constants el sistema es comportava d'una manera o d'una altra, per això s'ha de buscar quins valors s'han de donar a les constants perquè el sistema funcioni de la millor forma possible, aquesta part de buscar el valor de les constants s'anomena ajust de les constants i, com que cada sistema de control és diferent, aquestes constants són diferents a cada sistema.

Per ajustar les constants hi ha dos mètodes:



Segway Mindstorms Low Cost

Ajust per simulació: Aquest ajust consisteix en fer amb l'ordinador una simulació virtual del funcionament de la màquina a la qual es vol aplicar el sistema de control. Dins d'aquesta simulació es poden ajustar les constants del control PID i es pot veure com reacciona la màquina. A més a més, a partir d'aquestes simulacions l'ordinador pot fer gràfiques que mostrin com evoluciona l'error segons el valor de les constants, de manera que es veu més clar quines constants s'han d'augmentar o disminuir.

En aquest video es pot veure una simulació d'un control PID:
<https://www.youtube.com/watch?v=0LxLFnjVis4>

Fer la simulació fa que t'estalviïs fer les proves del sistema de control a la màquina real, ja que fer funcionar una màquina amb les constants mal ajustades fa que aquesta sigui inestable i pot arribar a trencar-se.

El problema d'aquest mètode és que el procés de fer una simulació és molt complicat i requereix molts coneixements de física, matemàtiques i informàtica, per això jo he fet servir l'altre mètode d'ajust.

Ajust manual: En aquest mètode d'ajust simplement s'agafa la pròpia màquina i se li dóna uns valors a les constants i s'observa què passa. Segons el què ha fet es canvien les constants. Això se'n diu prova-error. Aquest pas no es deixa de repetir fins que la màquina funciona correctament.



3.5 Programació maqueta segway

Com he dit en l'apartat "idea del segway", hi ha diversos llenguatges per programar. El que jo he elegit és robotC, que és millor que el NXT-G per a fer programes difícils i perquè està basat en el llenguatge C que ja domino.

El programa de la maqueta es pot dividir en dos parts: una part és el control PID que fa mantenir en equilibri la maqueta, i l'altra és el conjunt d'ordres que controlaran el moviment de la maqueta i que la faran avançar, retrocedir o girar.

Comencem per la part de l'equilibri:

La part de l'equilibri segueix el següent diagrama de flux:



Segway Mindstorms Low Cost

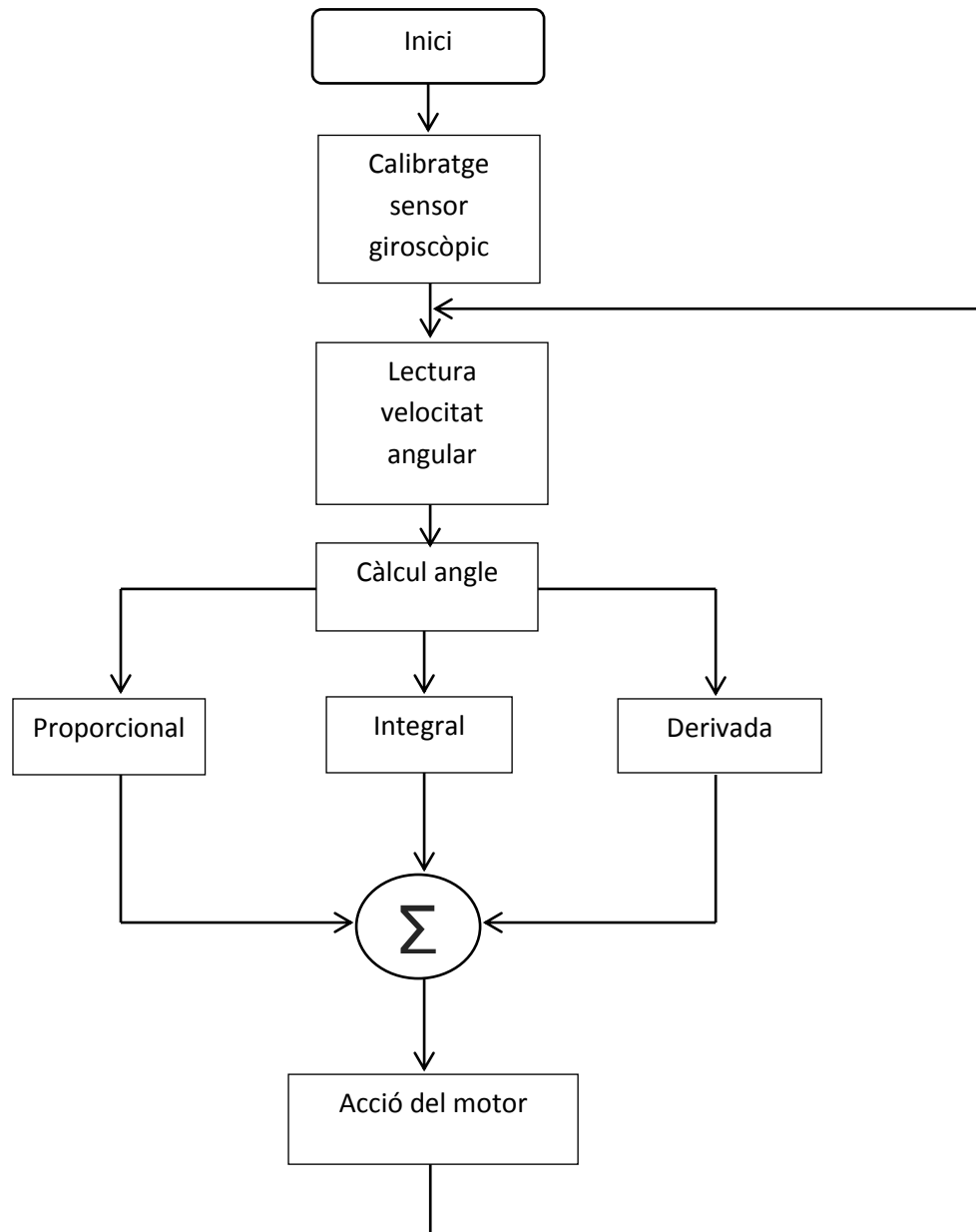


Figura 3.24



Segway Mindstorms Low Cost

Es pot veure que el diagrama està en bucle, es a dir que quan arriba al final torna al principi i això es repeteix de forma indefinida. A més a més, cal afegir que el programa porta un temporitzador que s'assegura que el temps que tarda en realitzar un cicle és de 1 centèsima exactament. És important que els cicles tardin un temps determinat perquè a l'hora d'integrar és necessari conèixer aquest temps.

Calibratge del sensor giroscòpic:

El primer pas del programa és la calibratge del sensor giroscòpic.

El sensor giroscòpic dona la velocitat angular, però quan es llegeix el sensor, el valor que envia no és el de la velocitat angular, sinó un valor entre 0 i 1024. Quan està parat el valor que envia està pels voltants del 512. Aquest valor s'anomena offset i no és un valor fix ja que pot variar segons a la temperatura que estigui el sensor o altres factors. Quan el giroscopi porta una velocitat angular, el valor que envia el giroscopi és el valor de offset + el valor de la velocitat angular. Llavors si es coneix quan val offset, es pot trobar la velocitat angular que envia el giroscopi restant offset a la lectura del giroscopi, perquè $\text{offset} + \text{velocitat angular} - \text{offset} = \text{velocitat angular}$. Per això és imprescindible trobar offset per conèixer la velocitat angular que marca el giroscopi. El procés per trobar aquest offset és el calibratge del sensor giroscòpic. Com que quan el sensor està parat, el valor que envia és el de offset, n'hi a prou amb llegir el valor que envia el sensor parat per saber quan val offset. Aquest pas té tanta importància que per assegurar que el valor llegit és precís, el programa fa 40 lectures del sensor parat i en fa la mitja per trobar offset. Aquest pas s'escriu així amb robotC:

```
int offset=0;
for(int i=0; i<40; i++){
    offset += SensorRaw[Gyro];
    wait1Msec(5);
}
offset=offset/40;
```



Segway Mindstorms Low Cost

La funció "SensorRaw[Gyro]" és la que llegeix el sensor giroscòpic. Aquesta lectura la suma al valor de offset 40 vegades, perquè està dins d'un bucle "for", i divideix offset entre 40 per fer la mitja.

Lectura velocitat angular:

Com he explicat al pas del calibratge del giroscopi, per trobar la velocitat angular s'ha de restar offset a la lectura del giroscopi. A més a més per guanyar precisió es fan dos lectures del sensor i se'n fa la mitja. El codi és així:

```
v_angular=SensorRaw[Gyro]-offset;  
wait1Msec(2);  
v_angular += SensorRaw[Gyro] - offset;  
v_angular /= 2;
```

Càlcul del angle:

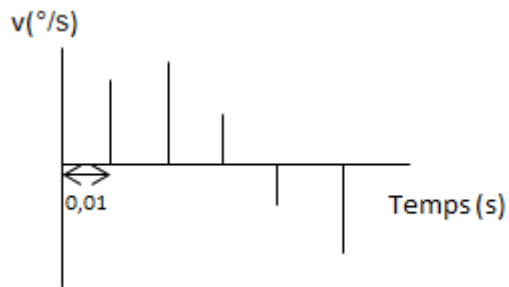
Per calcular l'angle s'ha d'integrar la velocitat angular, perquè la integral de la velocitat angular és l'angle. En aquest cas integrar consisteix en estimar d'una forma aproximada l'angle a partir de la velocitat angular.

Per integrar s'utilitza un mètode molt senzill. Està clar que la variació del angle és igual a la velocitat angular pel temps. Així que per calcular l' angle només fa falta multiplicar la velocitat angular per cada instant de temps i, aquesta variació d'angle anar-la sumant contínuament a l'angle. Però el problema està en la definició d' instant de temps. A la realitat un instant de temps és una porció de temps infinitament petita, però òbviament una màquina no pot llegir la velocitat angular cada porció de temps infinitament petita. Així que es marca un temps fix entre cada lectura del giroscopi. Aquest temps és el temps que tarda en fer el cicle del programa, que és d'una centèsima. Es suposa que durant aquest interval de temps la velocitat angular no varia, i es segueix el procediment de multiplicar la velocitat angular per aquest interval de temps, i aquesta multiplicació sumar-la al angle, així contínuament per saber l'angle en tot moment.

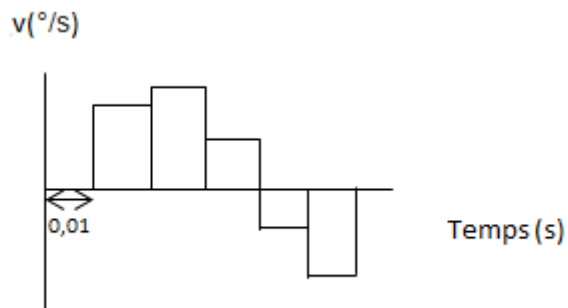
Un altra manera d'entendre aquest mètode és mitjançant gràfics. aquí hi ha el gràfic de la velocitat angular:



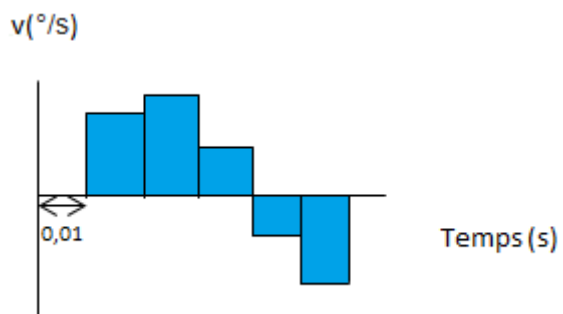
Segway Mindstorms Low Cost



Com que es suposa que la velocitat angular no varia entre cada lectura, el gràfic es pot dibuixar així:



La integral d'un gràfic és l'àrea d'aquest, així que la integral d'aquest gràfic seria l'àrea de la part pintada en el següent:





Segway Mindstorms Low Cost

Per calcular l'àrea pintada fixem-nos en que la gràfica està formada per rectangles. L'àrea d'un rectangle és igual a la base per l'altura. L'àrea total de la gràfica és igual a la suma de les àrees de tots els rectangles, per tant és igual a la suma de les bases per les altures dels rectangles. L'altura de cada rectangle és la velocitat angular i , la base és el temps que sempre és 0,01 segons. Així que la integral és igual a la suma de les velocitats angulars per els temps.

El programa parteix de que l'angle és zero, llegeix la primera velocitat angular, la multiplica per el temps(0,01 segons) i la suma al angle. Un cop realitza la resta d'ordres torna al principi, llegeix la velocitat angular, la torna a multiplicar per el temps i la torna sumar al angle, que aquest ja no val zero, sinó que val la primera velocitat angular per el temps. Aquest conjunt de ordres les realitza repetidament de manera que en tot moment es coneix l'angle.

Així que aquesta part en C s'escriuria així:

```
th = th + v_angular*dt+v;
```

"th" és el angle

"dt" vol dir diferencial de temps, que és en realitat el interval més petit de temps possible. Com he dit abans aquest interval de temps en el segway és d'una centèsima, per tant dt val 0,01.

Proporcional, integral i derivatiu:

Aquesta és la part on es calcula la sortida del motor a partir de l'angle. Per fer-ho s'utilitzen les formules del control PID que he explicat en l'apartat del control PID. Aquestes consisteixen en fer la suma de l'error per la constant k_p , més la integral de l'error per la constant k_i , més la derivada del error per la constant k_d . En aquest cas l'error és l'angle. La integral de l'angle es realitza igual que la integral de la velocitat angular, sumant les



Segway Mindstorms Low Cost

multiplicacions del angle per dt. La derivada de l'angle no cal calcular-la, perquè la derivada de l'angle és la velocitat angular i aquesta ja la dona el giroscopi directament. Així que el codi és :

```
e = th;  
e_acumulat = e_acumulat + e*dt;  
PID = kp*e + ki*e_acumulat + kd*v_angular;
```

“e” és el error i, “e_acumulat” és la integral del error.

Acció del motor:

Per acabar s'ha d'enviar l'ordre de moure's al motor. Per fer-ho s'utilitzen les següents línies:

```
motor[motorB] = PID;  
motor[motorC] = PID;
```

La lletra de “motorB” o “motorC” indica el port del motor al que s'envia l'ordre.

Al cantó del igual s'escriu la potencia a la que ha de funcionar el motor. En aquest cas la potència és la marcada pel control PID. Aquesta potencia va del -100 al 100. El signe d'aquesta potencia indica el sentit en el que es mou. En cas de que la potencia que marca PID sigui major que 100, el programa envia automàticament el 100% de potencia al motor.

Fins aquí la part del programa que fa mantenir l'equilibri de la maqueta.

3.5.1 Moviment de la maqueta

El programa, a part de mantenir l'equilibri, porta un seguit d'ordres que regulen el moviment de la maqueta. Aquestes ordres són les que s'encarreguen de fer girar, avançar o retrocedir la maqueta.



Segway Mindstorms Low Cost

Dins d'aquestes ordres hi ha un altre control PID per a la posició de la maqueta que s'encarrega que la maqueta es mantingui en la posició inicial. Això ho fa llegint els encoders del motor que envien la rotació del motor. Multiplicant aquesta rotació pel perímetre de la roda es pot determinar quant ha avançat o retrocedit la maqueta. Llavors aquest control PID intenta que aquest desplaçament sigui zero.

En aquest control PID es pot modificar la posició de referència per a que la maqueta avanci o retrocedeixi. Per exemple en comptes de dir-li que es mantingui a la posició inicial se li marca que es mantingui a una posició dos centímetres més endavant. Al fer això la maqueta avançarà cap endavant.

Per a fer que la maqueta giri n'hi ha prou en donar-li a un motor més potencia que a l'altre, per fer-ho s'afegeix això a la part final del codi:

```
motor[motorB] = PID + girar_dreta;  
motor[motorC] = PID + girar_esquerra;
```

Quan la variable "girar_dreta" i "girar_esquerra" valen 0, no afectaran en res. Però quan per exemple la variable "girar_dreta" valgui 10, el motor de l'esquerra girarà més ràpid que el de la dreta i el robot girarà cap a la dreta.

Com que les dos rodes estan connectades a un motor diferent, pot passar que quan la maqueta avanci o mantingui l'equilibri, giri involuntàriament. Això pot passar perquè en una de les rodes hi ha més fricció que a l'altra o per altres factors. Per evitar que giri sense que li ordenem hi ha un control que llegeix la diferencia entre el que ha avançat un motor i l'altre. Quan han avançat el mateix aquest control no fa res, però quan detecta que un motor ha avançat més que l'altre vol dir que la maqueta ha girat i per això fa girar la maqueta cap al sentit contrari, per corregir el gir que s'ha realitzat involuntàriament.

Per a veure de forma més detallada el programa, al final del treball hi ha el codi comentat línia per línia.



3.5.2 Ajust de les constants

Un cop fet tot el programa s'han de trobar el valor de les constants k_p , k_i i k_d que fan que la maqueta mantingui l'equilibri de forma estable.

Com he dit en l'apartat del control PID, jo utilitzaré el ajust manual per trobar el valor de les constants. Aquest consisteix en donar valors a les constants, executar el programa, mirar que passa i en funció del que passi es canvien els valors de les constants, es torna a executar el programa, etc... Així fins que la maqueta aguanta l'equilibri de forma estable.

A l'hora d'ajustar el valor de les constants, s'ha de tenir en compte quin efecte produeix en el comportament de la maqueta augmentar el valor de cada constant. En aquesta taula es mostren quins efectes té augmentar cada constant:

	Kp augmenta	Ki augmenta	Kd augmenta
Estabilitat	disminueix	disminueix	Augmenta si k_d és baixa
Velocitat	augmenta	augmenta	augmenta
Error est. estacionari	no eliminat	eliminat	no eliminat

Aquest pas d'ajustar les constants és extremadament llarg, requereix veure moltíssimes vegades caure la maqueta perquè el valor que he posat a les constants no és correcte. A més a més quan es comença a ajustar les constants es impossible veure quin efecte crea augmentar cada una de les constants, ja que l'únic que es veu és caure la maqueta. Un cop la maqueta comença a balancejar-se, ja es pot observar l'efecte de les constants, però d'una forma poc clara.



Segway Mindstorms Low Cost

En resum, el pas d'ajustar les constants requereix molta paciència i temps. A mi em va costar més de dos setmanes que aguantés l'equilibri i casi un mes que fos estable.

Un cop ajustades les constants la maqueta ja pot funcionar.

3.5.3 Proves amb la maqueta del segway

Per fer-ho més divertit he fet dos programes en que la maqueta fa coses mentre manté l'equilibri:

Esquivar obstacles: En aquest programa la maqueta avança fins que detecta que s'està apropant a un obstacle. Quan detecta que l' obstacle està a prop gira cap a la dreta i segueix avançant.

Per fer aquest programa s'ha hagut de afegir el sensor ultrasònic. Aquest sensor mesura la distancia a l' objecte que té al davant. Per fer-ho utilitza un sistema semblant al dels ratpenats. Emet un soroll i mesura quant temps tarda en tornar.

Amb aquest sensor el programa d'esquivar obstacles segueix aquest diagrama:



Figura 3.25



Segway Mindstorms Low Cost

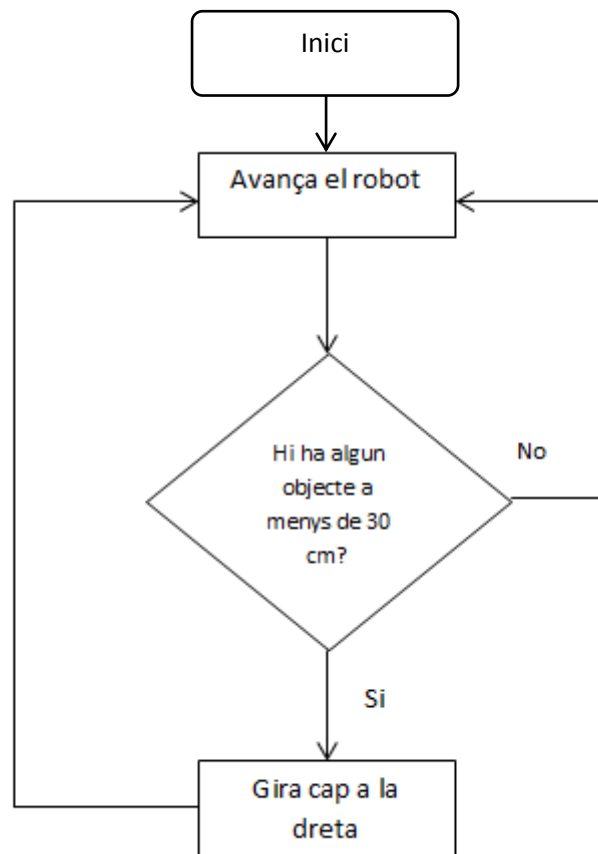


Figura 3.26

Comandament maqueta segway: L'altre programa que he fet consisteix en un comandament per a que nosaltres puguem fer avançar i girar a la maqueta. Aquest comandament està fet utilitzant els dos sensors de tacte del mindstorms, que en realitat són dos polsadors.



Segway Mindstorms Low Cost



Figura 3.27



Figura 3.28

La figura 3.26 és el sensor de tacte.

La figura 3.27 és el comandament que he fet. Aquest comandament funciona de la següent manera:

Quan no hi ha cap polsador clicat la maqueta està quieta. Quan es clica el polsador de la dreta la maqueta gira cap a la dreta. Quan es clica el polsador de l'esquerra la maqueta gira cap a l'esquerra. Quan es cliquen els dos polsadors a la vegada la maqueta avança cap a endavant.

El programa segueix el següent diagrama de flux:



Segway Mindstorms Low Cost

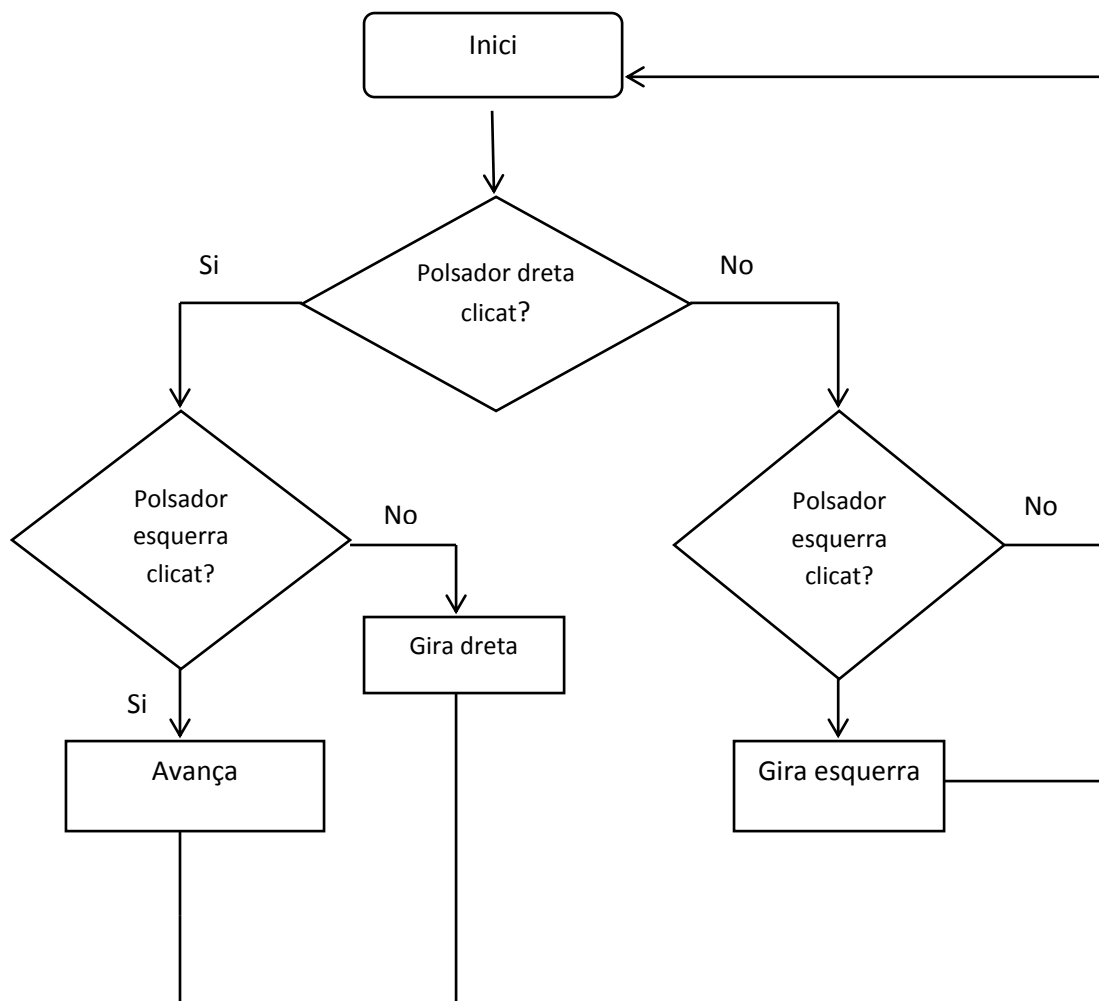


Figura 3.28

A la part final del treball estan escrits aquests dos programes.

Per veure la maqueta en acció, aquí deixo l'enllaç del vídeo de la maqueta funcionant:

<https://www.youtube.com/watch?v=QAuRHaeCWcM>



4. Muntatge del segway

4.1 Croquis

Primerament, cal fer un croquis orientatiu de com volem ficar les diferents parts que conformaran el nostre aparell. S'ha de preveure l'espai suficient per ficar les bateries, motors, electrònica de control, i els nostres peus.

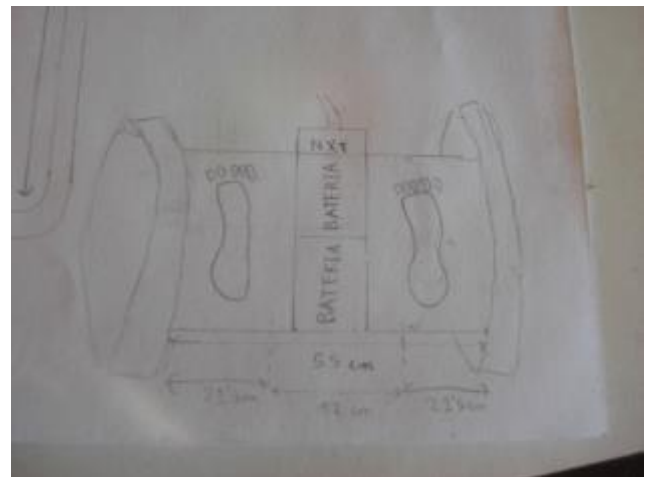


Figura 4.1

La base està feta per una placa de fusta aglomerat de 16mm de gruix, suficient per aguantar a una persona de 100kg. El fet d'utilitzar fusta ens facilita tallar-la, foradar-la i ficar cargols.

En aquesta base hi ha dues rodes alineades connectades mitjançant cadenes a un motor elèctric individual per a cada roda. L'energia és subministrada per dues bateries de plom.

Les bateries i el bloc NXT se situaran a la part superior i al mig de la placa de tal manera que quan s'hi pugi, les bateries i el NXT quedaran enmig de les nostres cames. El motor estarà col·locat sota la placa de fusta i anirà connectat per una cadena motriu de 6mm de pas al plat que a la vegada farà girar la roda.



Segway Mindstorms Low Cost

4.2 Placa de fusta

El primer pas és buscar la placa de fusta. Per fer-la s'ha aprofitat la fusta de una taula vella.



S'extreuen les quatre potes per tenir la peça de fusta lliure, com es veu a la figura 4.3.

Figura 4.2



Figura 4.3

Un cop separada la placa de fusta de les potes pugem a sobre de la placa per a comprovar que pot aguantar el pes d'una persona sense trencar-se.



Figura 4.4



Segway Mindstorms Low Cost

Fiquem un parell de llistons en els extrems i pugem a sobre, amb aquest senzill "test" podem comprovar que pot aguantar el pes d'una persona sense trencar-se.

Ara s'ha de tallar la fusta per a que tingui les mides 55x40 cm, els 55 cm són la distància de roda a roda. S'han triat 55 cm perquè és la mida necessària perquè hi càpiguen les bateries i els dos peus del conductor còmodament.

Els 40 cm de ample són la distància que ocupen les dos bateries col·locades en fila, amb 5 cm de marge per a cada cantó per a poder col·locar els suports que aguantaran les bateries i per tenir espai per a col·locar el bloc NXT.



Figura 4.5



Figura 4.6

Per a tallar la placa de fusta primer marquem amb llapis les línies desitjades segons les mesures que hem decidit.

S'utilitza una serra de vogir qualsevol amb serra per a fusta (figura 4.5) per a tallar. A continuació amb una lima arrodonim les cantonades (figura 4.6).



Segway Mindstorms Low Cost

Aquest és el resultat final:



Figura 4.7

4.3 Rodes

Ara que ja tenim la placa base de fusta ja podem preparar l'acoblament per subjectar les rodes. La roda elegida, com es pot veure a la foto, mesura 30 cm de diàmetre i a la part del centre es poden veure tres forats "senyalats a la foto" en els que cargolarem el plat que servirà per connectar la roda i el motor amb una cadena.

Aquest model elegit de roda pertany al utilitzat en les "poket-bike" fàcil de trobar i a bon preu.



Figura 4.8

Aquestes rodes tenen l'avantatge de disposar de coixinets en el seu eix que tenen un diàmetre interior de 12mm, suficient per ficar un eix metàl·lic d'aquesta mida.



Segway Mindstorms Low Cost

El primer pas és subjectar el plat a la roda:



Figura 4.9

Ara s'ha de fer un eix per a les rodes. Aquest eix consisteix en dos suports rectangulars de fusta per on passa una barra roscada.

Primer es tallen els suports de fusta a la mida:



Figura 4.10

Un cop tallat el tauló es fa un forat del diàmetre adient per fer passar la barra roscada. Un cop fet el forat es comprova que la barra roscada passa correctament pel forat.



Figura 4.11



Segway Mindstorms Low Cost

S'introdueix la barra roscada en el tac i es fixa en el lloc concret mitjançant les femelles corresponents. Les dues femelles situades als dos costats del tac, en enroscar-les, fan pressió una contra l'altra atrapant el tac com si fos un "sanwitch".



Figura 4.12

Es repeteix el pas anterior per fixar el segon tac. Gracies a utilitzar barra roscada i femelles podem ajustar la posició horitzontal de cada tac.

Es marca la posició exacta dels tacs i els punts per on passaran els cargols per fixar els tacs a la placa base.



Figura 4.13



Figura 4.14



Segway Mindstorms Low Cost

Cal fer forats a la base per on passaran els cargols.

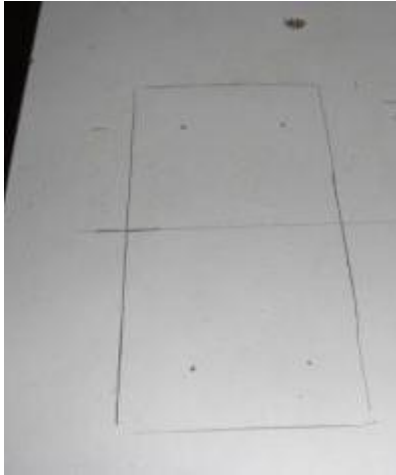


Figura 4.15



Figura 4.16

Un cop fets ja podem unir mitjançant cargols les rodes amb la base.



Figura 4.17



Figura 4.18



Segway Mindstorms Low Cost

Ara es pot pujar a la base encara que no aguanta l'equilibri.



Figura 4.19



Segway Mindstorms Low Cost

4.4 Rodes de protecció

Abans de començar a afegir components a la base cal afegir dues rodetes de protecció per a possibles caigudes del segway.



Figura 4.20

Hi hauran dos rodetes d'aquestes, una davant i l'altra darrere, per si bolca cap endavant o cap enrere. Les rodetes no aniran directament cargolades a la base de fusta sinó que hi haurà una plaqueta de fusta entre la base i la roda per a que quedin més altes. Interessa que estiguin més altes perquè així quan el segway perdi l'equilibri l'únic component que xocarà amb el terra seran les rodetes.



Segway Mindstorms Low Cost

Així és com queden les rodetes un cop subjectades:



Figura 4.21

4.5 Motricitat

El segway necessita un sistema motriu per controlar i fer avançar les rodes. Aquest sistema consisteix en una "*transmissió per cadena*" entre el pinyó que du el motor i el plat que hem ficat a la roda.

Ara cal unir els següents elements:

a.- El motor.

b.- La cadena.

c.- Les rodes.



Segway Mindstorms Low Cost

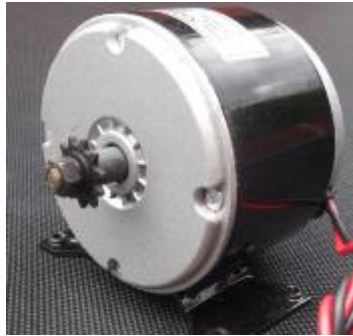


Figura 4.22

Posar els motors i la cadena és la part més delicada del muntatge, ja que ens hem d'assegurar que la cadena quedi recta i ben tensada.

Aquest pas cal fer-lo amb molta cura, cal marcar amb exactitud la posició del motor fixant-nos que la cadena quedi perfectament alineada entre el pinyó del motor i el plat de la roda.

4.5.1 Escurçar la cadena

Com que la cadena és massa llarga, s'ha de tallar. Per fer-ho s'utilitza una eina anomenada tronchacadenes, que es pot veure a la figura 4.23:



Figura 4.23



Segway Mindstorms Low Cost

Aquesta eina serveix per empènyer els eixos que uneixen els eslavons de la cadena, al empènyer amb força aquesta peça surt separant l'eslavó.

Com que no disposava d'aquesta eina he hagut de utilitzar un cargol amb la punta llimada. Amb molta cura i precisió, es donen cops amb un petit martell per separar els eslavons



Figura 4.24

S'han de treure dos eslavons per poder escurçar la cadena



Figura 4.25



Segway Mindstorms Low Cost

Una vegada tenim la cadena a la mida , la unirem amb un esclavó d'extracció ràpida. Aquesta peça especial ens facilitarà treure o ficar la cadena d'una manera molt ràpida sense necessitat del tronchacadenes. En la figura 4.26 es veu aquesta peça.



Figura 4.26

La peça d'unió de la cadena queda perfectament acoblada tal com es veu a la figura 4.26.

Es pot veure en la figura 4.27 que la part que s'ha ajuntat és més gruixuda, ja que porta dues peces per ajuntar-se més una tanca de seguretat.



Figura 4.27



Segway Mindstorms Low Cost

Un cop ficada la cadena, es posa el motor a una distància en que la cadena quedi tensada i recta. El motor es fàcil de subjectar a la base ja que porta quatre forats dissenyats per això.



Figura 4.28

4.6 Bateries

Ara s'han de posar les bateries. Les bateries, com es veu a la foto no porten cap forat o peça per subjectar-les a la base. Per això s'ha de fer un suport per a subjectar-les.



Figura 4.29



Segway Mindstorms Low Cost

Aquest suport es fa amb una barra prima d'alumini que es pot doblegar amb les mans per donar-li la forma del suport. Un cop té la forma es fan forats per cargolar-lo a la base.



Figura 4.30

La primera idea va ser col·locar les bateries sobre la base i al mig de manera que quedessin entre les dos cames, com mostro a la figura 4.31. El problema és que si es posen d'aquesta manera no queda espai pel manillar, així que s'han de posar sota la base.

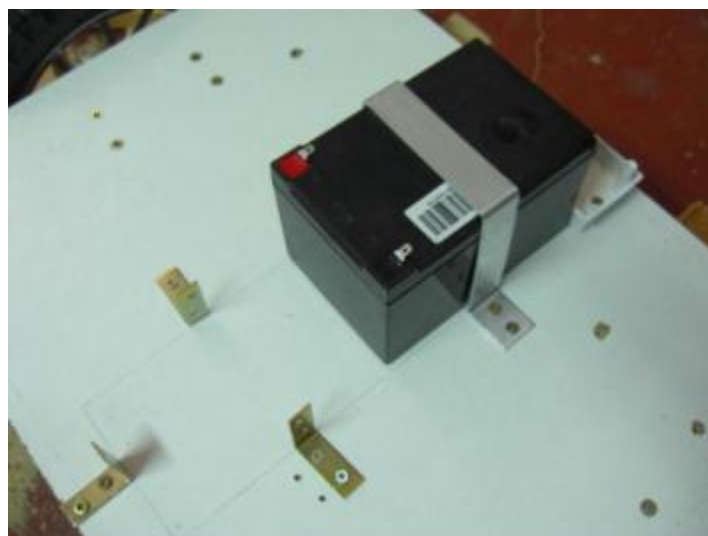


Figura 4.31



Segway Mindstorms Low Cost

Les bateries es podrien carregar directament sota la base, però, els cargols haurien d'aguantar tot el pes de la bateria i aquests cargols són massa petits per aguantar-la. Cargols més grans no es poden utilitzar perquè la base és massa prima i travessaria la base.

Solució: Davant aquesta dificultat la idea va ser fer un segon sostre de fusta per allotjar correctament les bateries. A més queden protegides de cops durant el moviment.

Subjectem les bateries utilitzant el suport que hem fet expressament de manera que quedin atrapades:



Figura 4.32



Figura 4.33



Segway Mindstorms Low Cost

Es cargola a la fusta que té les bateries per la part on hi ha els tacs de fusta. La part encerclada de la figura 4.34 és la part on els tacs toquen a la fusta i per tant on aniran els cargols. Els tacs són tant gruixuts que es pot utilitzar un cargol força gros per aguantar el pes de les dos bateries.

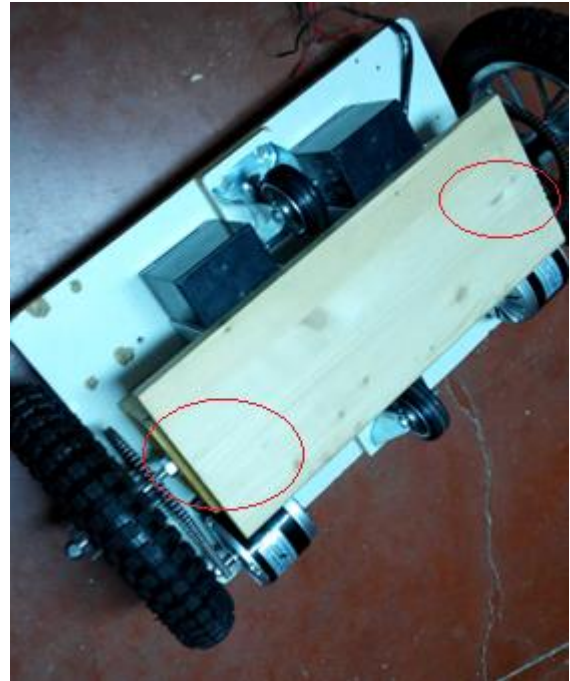


Figura 4.34

4.7 NXT, electrònica i manillar

Ja queda poc per a que aquest prototip pugui fer els primers passos. Cal ficar el cervell de la màquina (NXT), l'electrònica de control i un senzill manillar.

El NXT, la placa on hi ha tota l'electrònica i el manillar aniran sobre la base a la part del mig, de manera quedaran en mig de les cames del conductor.

Per posar NXT s'ha fet un suport molt simple amb les peces de lego:

Aquest suport està fet amb unes peces de Lego de múltiples forats. En aquestes barres s'hi poden ficar els piuetos negres que serviran per ancorar el NXT. Aquestes barretes s'uneixen a la base utilitzant un cargol de 3mm que passa per un dels seus forats.



Segway Mindstorms Low Cost

Soport

Bloc NXT

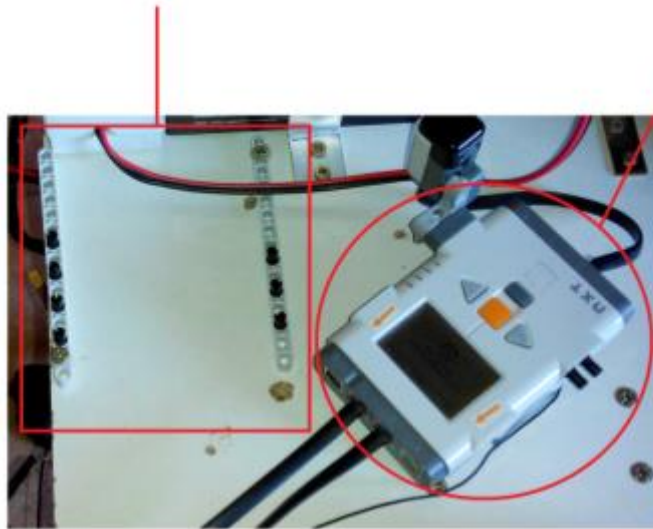


Figura 4.35

4.7.1 Placa de l'electrònica

La placa de l'electrònica porta un forat a cada punta per on es pot passar un cargol per fixar-la a la base, com es veu a la imatge:

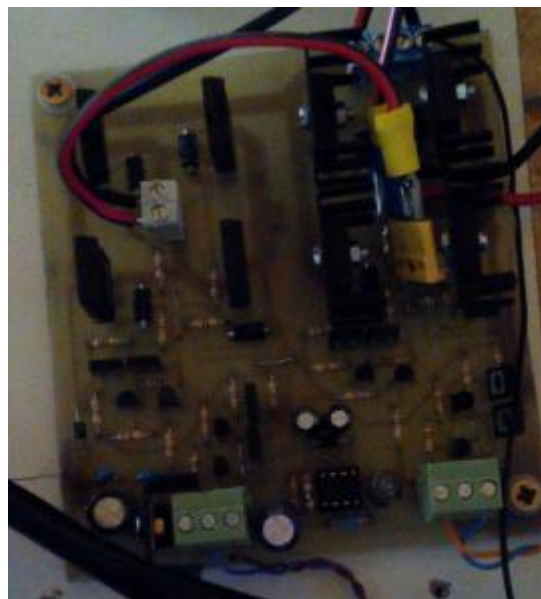


Figura 4.36



Segway Mindstorms Low Cost

4.7.2 Manillar:

Aquest manillar del segway és provisional, només s'utilitzarà per a fer proves. Consisteix en un taco de fusta ancorat a la base amb quatre cargols i amb un forat de 25mm al mig per on fiquem un tub de ferro vertical.

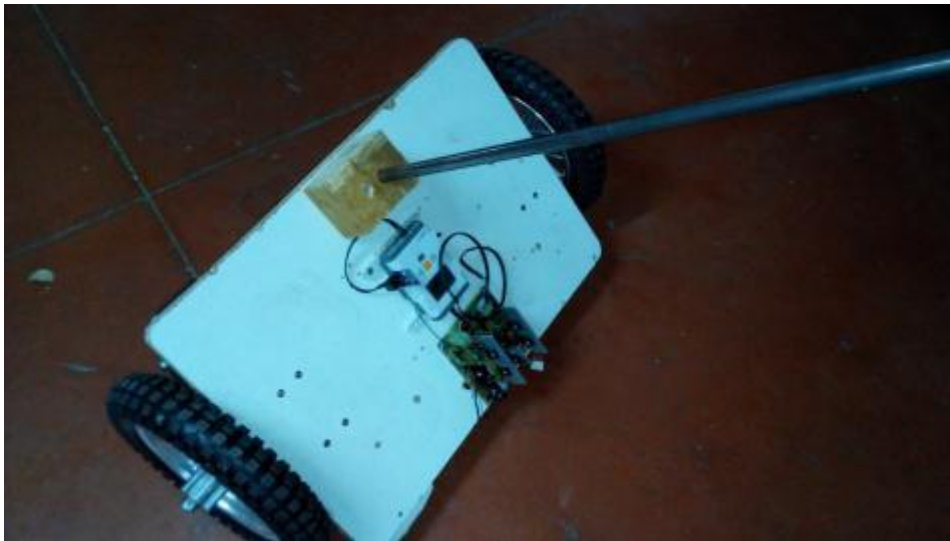


Figura 4.37

Amb tot aquest primer prototip, ja n'hi ha prou per començar a programar per veure com es comportarà, encara que no estigui del tot complet.

També aquest primer muntatge ens ha servit per adonar-nos de diferents dificultats mecàniques que poden fer-se millor.

Ja que al llarg d'aquest projecte s'han anat fent modificacions tan de hardware com de software, hagués quedat tot desorganitzat si hagués barrejat muntatge amb programació. Ara explicaré els diferents canvis que vaig fer en el muntatge i quan ja els hagi explicat tots, llavors em posaré a explicar tota la programació.



4.8 Millores del segway

4.8.1 Canvis a la base de fusta

La base de fusta a la primera versió del segway és la de la figura 4.38 i tenia unes mides de 55x40 cm. Com a base tenia 3 aspectes a millorar, el primer d'ells és que era massa ampla. Al utilitzar el segway es notava moltíssim que sobrava espai, per això es va decidir fer-la més petita perquè el segway fos més lleuger. A més d'això, el color blanc també era un problema, ja que al pujar-hi s'embruta i aquesta brutícia es veu moltíssim. Per últim, a aquesta plataforma hi havia cargolats quasi tots els components del segway i quan cargoles algun component a la base i després ho canvia de lloc, on abans havia un cargol hi queda un forat. Després de fer tants canvis, la base va quedar d'aquesta manera:



Figura 4.38



Figura 4.39



Segway Mindstorms Low Cost

L'única forma de millorar aquesta plataforma era desmuntar tot el segway i canviar aquesta plataforma per un altra. Desmuntar el segway és una feina rapida, fàcil i bastant mecànica. Consisteix en descargolar tots els elements que estiguin cargolats a la base i guardar-los en un racó ben ordenats per tal de fer més fàcil tornar a muntar-lo.

La base de fusta nova és la que es veu a la imatge del cantó. Aquesta té les mides de 45x40 cm, és menys ampla que l'anterior i és de color marró .



Figura 4.40

4.8.2 Motors i cadena

Els motors en la versió de prova van donar dos problemes:

El primer va ser que els cargols no eren suficientment forts per aguantar els motors. Un dia el motor va fer una estrebada i es va soltar de la base.

El segon problema estava en la cadena. Quan vaig muntar el segway la cadena estava tensada, però, a mesura que s'utilitzava la cadena s'allargava i es destensava.



Figura 4.41



Segway Mindstorms Low Cost

Per fer que els motors s'aguantin millor s'utilitzarà el cargol de la figura 4.40 que travessarà la base i atraparà el motor amb l'altre extrem amb una rosca.

Primer s'han de fer els forats per on passaran els cargols



Figura 4.42

Es passen els cargols pels forats de la base i del motor i s'utilitza una rosca per fixar el motor amb la base. Així és com queda per sota



Figura 4.43

A la figura 4.43 es pot veure com hi ha dos rosques a cada forat. La de dalt és la que atrapa el motor amb la base. La de baix és la que permetrà ajustar la tensió de la cadena. Només està en aquests dos forats i fa que el motor estigui inclinat de manera que queda més proper de la roda. Amb aquestes rosques la cadena està tensada, però, com he dit abans les cadenes



Segway Mindstorms Low Cost

amb el temps solen allargar-se i destensar-se. Quan la cadena es destensi retirarem la rosca, cosa que farà que la cadena es tensi.

4.8.3 La placa electrònica

La placa electrònica és la part encerclada en la figura 4.44. Aquesta electrònica està descoberta i desprotegida completament.

Per a protegir-la s'ha de posar dins d'una caixa perquè no rebi cops i aprofitarem la caixa per a posar-hi un ventilador que refrigerarà l'electrònica

Aquesta és la capsa de l'electrònica:



Figura 4.44



Figura 4.45



Segway Mindstorms Low Cost

A la tapa d' aquesta capsa se li ha de fer uns canvis per posar el ventilador. Se li ha de fer un forat gran perquè passi l'aire del ventilador, quatre forats per on passaran els cargols que aguanten el ventilador i uns quants forats repartits per tal de que l'aire que entra pugui sortir.

Es marca la zona que ocuparà el ventilador amb un retolador i es fan els forats pels que sortirà l'aire amb el cúter:



Figura 4.46

Es retalla la marca del ventilador amb un instrument semblant a una mola petita:



Figura 4.47



Segway Mindstorms Low Cost

Per últim s'atornilla el ventilador a la tapa.



Figura 4.48

4.8.4 Soport NXT

El suport per al el bloc NXT en la primera versió estava fet amb aquestes dues peces de lego. Aquest suport no era suficientment fort per mantenir ancorat el bloc NXT quan el segway feia algun moviment bruscat. Per això s'ha de fer un altre suport que agunti el bloc NXT amb més força.

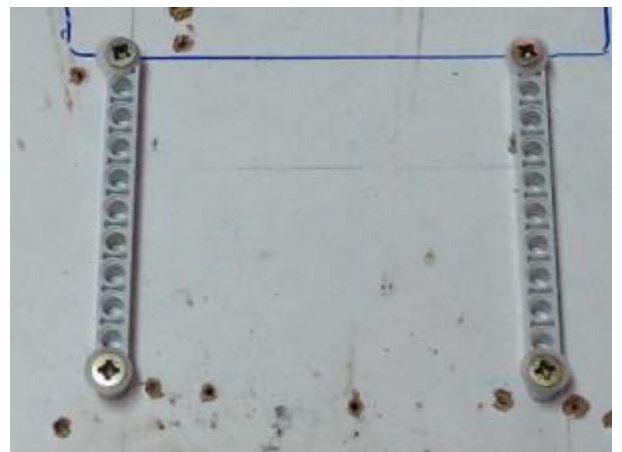


Figura 4.49



Segway Mindstorms Low Cost

Aquest nou suport consistirà en dues peces d'alumini com en forma de U amb 6 forats. Als dos forats de baix hi passarà un cargol per subjectar el suport amb la base.

Els forats del canto uniran el NXT amb aquest suport utilitzant la peça de la figura 4.51.



Figura 4.50

Aquesta peça passarà pel forat del suport i pel forat del bloc NXT marcat a la figura 4.52:



Figura 4.51

Al passar aquesta peça, el NXT i el mindstorms queden units i fixes.

A més ens permet soltar el NXT quan vulguem.



Figura 4.52



Figura 4.53



Segway Mindstorms Low Cost

4.8.5 Sensor giroscòpic

El sensor que utilitzava en la primera versió del segway era el de la foto i anava unit al bloc NXT.



Figura 4.54

Per raons relacionades amb el software vaig haver de canviar de sensor.

Aquest sensor es cargolarà directament a la base aprofitant els tres forats que té.



Figura 4.55

Així és com queda el sensor cargolat a la base:



Figura 4.56



4.8.6 Manillar

El manillar de la primera versió del segway era el de la figura 4.57:

Aquest manillar era de prova i només servia per subjectar-te.

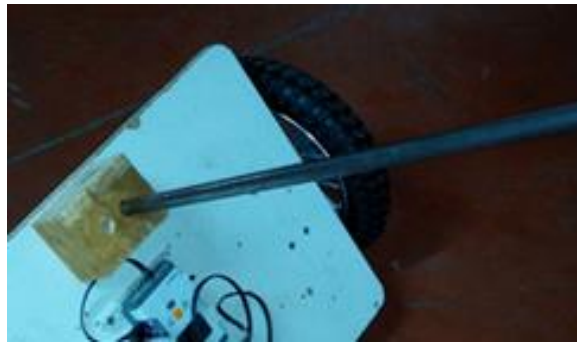


Figura 4.57

El nou manillar està fet amb una barra d'alumini que passa per dins del forat d'un tac de fusta ancorat a la base. La diferència amb el primer està en que aquest pot rotar. De manera que quan es rota el manillar, el segway gira. A més a més el manillar porta dos molles que fan que el manillar torni a la posició original automàticament.

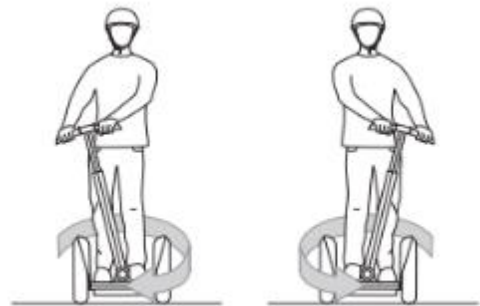


Figura 4.58



Segway Mindstorms Low Cost

El primer pas per a muntar el manillar és doblegar la barra d'alumini 90° en forma de corba.
Es doblegarà fixant-la amb el cargol de banc i fent força amb les mans:



Figura 4.59



Figura 4.60



Segway Mindstorms Low Cost

Ara es talla la barra d'alumini doblegada i es passa pel forat del tac de fusta:



Figura 4.61



Figura 4.62



Segway Mindstorms Low Cost

Ara s'ha de soldar una peça que ajuntarà les molles amb el manillar:

Aquesta peça té una forma de L.

Per poder ficar les molles se li fan dos forats, un per a cada molla. Les molles s'agafaran a aquests forats i a la base del segway. La raó de que aquesta peça sigui tan alta és per una qüestió de moments angulars. Com a més distància de l'eix tingui, més moment angular tindrà. I com més moment angular, més fàcil serà moure el manillar.



Figura 4.63

Primer es solda la peça al manillar.



Figura 4.64



Segway Mindstorms Low Cost

Aquest és el resultat:



Figura 4.65

Es fan els forats on aniran les molles.



Figura 4.66



Figura 4.67



Figura 4.68



Segway Mindstorms Low Cost

Ara s'ha de fer la segona part del manillar, aquesta és la de la figura 4.69. Està feta per dos barres d'alumini que formen una T.

Per fer-la s'han hagut de tallar les dos barres d'alumini a la mida corresponent i soldar-les amb aquesta forma. Aquesta forma de T permet que el conductor del segway pugui agafar-se a ell còmodament.



Figura 4.69

La barra d'alumini d'aquesta segona part del manillar és d'un diàmetre més gros que la barra d'alumini de la primera part del manillar. De manera que per ajuntar-les s'introdueix una dins de l'altra:

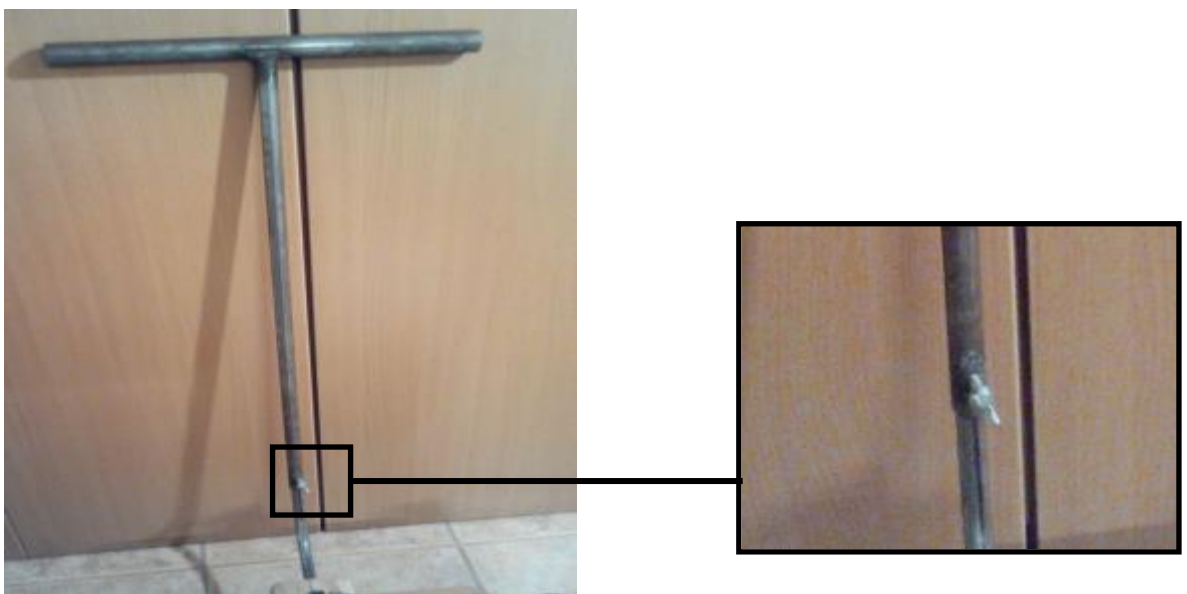


Figura 4.70



Segway Mindstorms Low Cost

La peça que es veu ampliada és una clavilla i la seva funció és fixar les dos peces de les que està compost el manillar. Per fixar-les, es pot introduir i girar dins d'un forat que porta el manillar. Al girar-la s'introdueix cada cop més a dins fins que arriba a tocar l'altra peça del manillar, se li dona mitja volta més per a que faci força sobre la peça i no es pugui moure.



Figura 4.71

Per últim s'ha de fer un suport que aganti les molles. Aquest suport té forma de U i porta 4 forats, 2 forats a la base pels quals passarà un cargol que fixarà el suport amb la base del segway. Els altres dos forats aniran als cantons i seran on s'agafaran les molles.



Figura 4.72

Finalment s'ha de fixar el suport i el manillar a la base utilitzant cargols. Aquest és el resultat:



Figura 4.73



Figura 4.74



Segway Mindstorms Low Cost

Aquest manillar pot girar cap a l'esquerra i cap a la dreta. Quan es solta el manillar aquest torna a la posició.

Per a llegir el giro del manillar cal ficar un potenciòmetre:

El potenciòmetre és el sensor encarregat de llegir el giro. Per afegir-lo al manillar s'ha de empegar la part negra a dins de la barra d'alumini de la que està fet el manillar, i s'ha de soldar la part grisa amb un suport que està enganxat a la base. Així la part negra gira independentment de la grisa fent que el sensor sigui capaç de llegir els graus que gira el manillar.



Figura 4.75

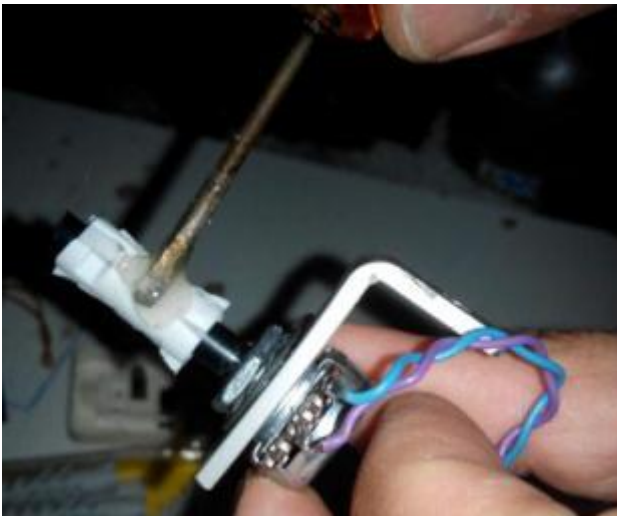


Figura 4.76



Figura 4.77

Com que el potenciòmetre era massa prim per empegar-lo dins la barra d'alumini, aquest s'ha de envoltar amb una peça com es veu en la figura 4.76. Aquesta peça el fa més gruixut de manera que es pot empegar dins la barra d'alumini.

Amb tot això queda finalitzat el muntatge del segway.



Segway Mindstorms Low Cost



Figura 4.78



5. Electrònica



Figura 5.1

El Lego Minstorms pot fer funcionar petits motors de 9V especialment dissenyats per a petits enginys.

Llavors tenim un problema, com podem activar un motor centenars de vegades més potent?



Figura 5.2



Segway Mindstorms Low Cost

Primer de tot es necessita una font d'alimentació que proporcioni els 24V al motor. Aquesta consisteix en dos bateries Volta de 12V que connectades en sèrie proporcionen 24V al motor.



Figura 5.3

A més a més, es necessita una placa electrònica que permeti al lego mindstorms controlar tant la potencia com el sentit de gir del motor (anar endavant o enrere). Per fer-ho utilitza els següents sistemes:

5.1 PWM

El pwm és el sistema que utilitza el lego mindstorms per controlar la potencia del motor. El que fa es regular el cicle de treball del motor. Per entendre el pwm fixem-nos en la figura 5.4. En aquesta figura es pot veure com es comporta el pwm segons el percentatge de potencia que volem que funcioni el motor.

Quan volem que el motor funcioni al 0% de potencia el mindstorms no envia corrent als motors.

Quan volem que el motor funcioni al 25% de potencia el mindstorms envia corrent als motors el 25% del temps, l'altre 75% del temps el motor no rep corrent, però porta una inèrcia així que no es para. Com que el mindstorms està enviant voltatge el 25% del temps, el motor funciona al 25% de potencia.

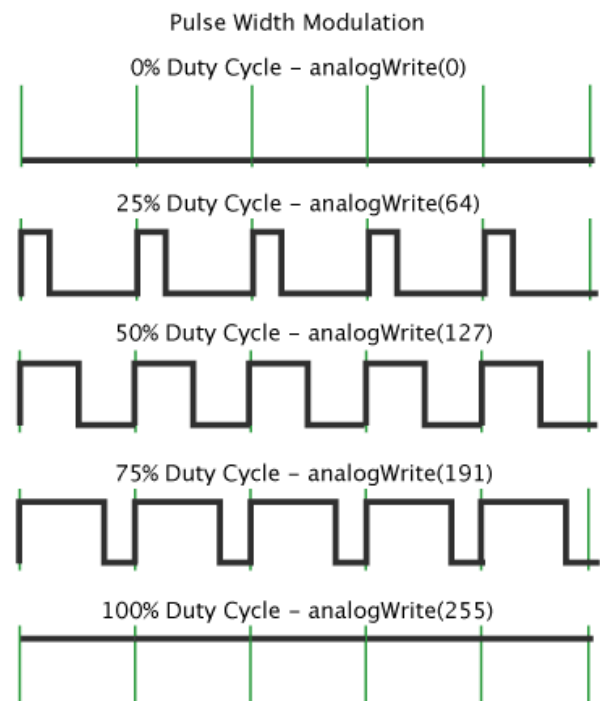


Figura 5.4



Segway Mindstorms Low Cost

El mateix passa amb el 50%, 75% i 100%.

El mindstorms realitza el pwm automàticament, nosaltres només se li ha de dir el tan per cent de potencia al que ha de funcionar i ell ja realitza el pwm corresponent.

5.2 Pont H

El pont H és el circuit que portarà la placa electrònica per controlar el sentit de gir del motor. Aquest consta de quatre interruptors (S1, S2, S3 i S4) col·locats d'una forma que recorda a una H (figura 5.5).

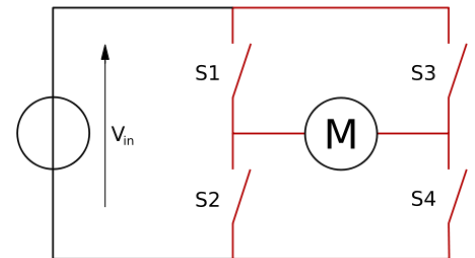


Figura 5.5

Quan S1 i S4 estan tancats mentre S2 i S3 estan oberts se li aplica una tensió positiva al motor, fen-lo girar en un sentit.

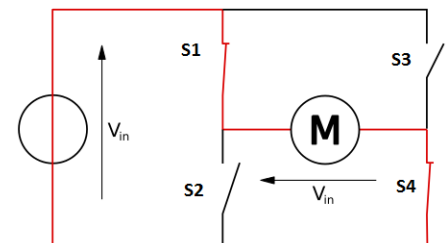


Figura 5.6

Quan S2 i S3 estan tancats mentre S1 i S4 estan oberts el voltatge s'inverteix fent que el motor giri en sentit contrari.

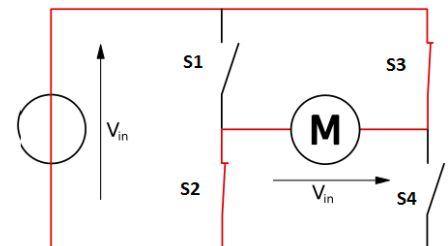


Figura 5.7



Segway Mindstorms Low Cost

5.3 Disseny placa electrònica

Per dissenyar la placa electrònica es necessiten molts coneixements d'electrònica que jo no tinc, per això la placa l'ha dissenyat el meu pare.

Aquesta placa utilitza les bateries per augmentar el voltatge de 9V del mindstorms a 24V.

El pont H que porta el controla el mindstorms mitjançant transistors mosfet. Aquests transistors necessiten 11V en la "Gate" respecte el sortidor, per això s'ha d'augmentar el voltatge de 24 a 35V.

A més a més, aquest circuit porta integrat un filtre RC, que protegeix els components de la placa dels impulsos elèctrics no desitjats que crea el motor.

La següent figura és el model de la placa:

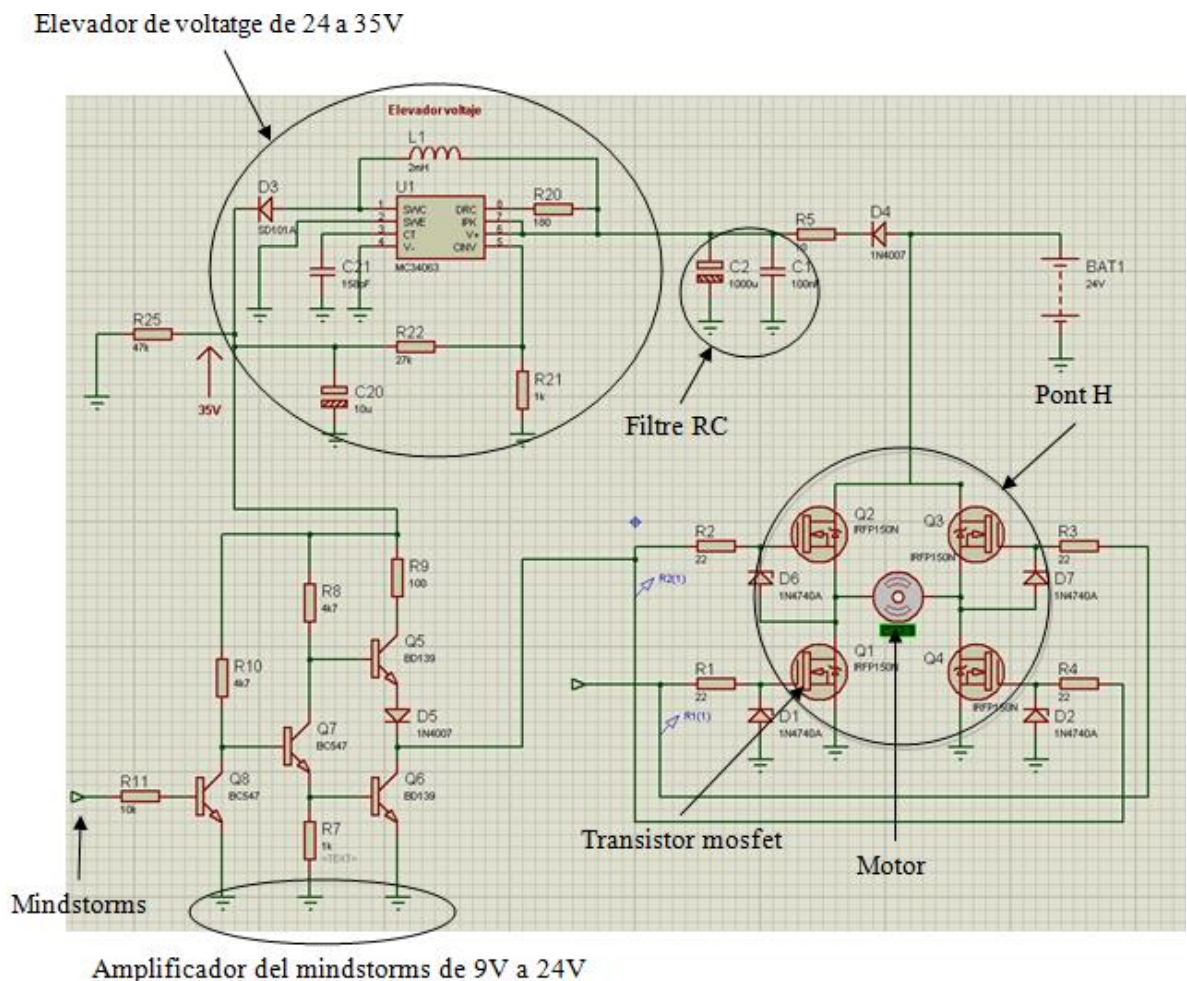


Figura 5.8



Segway Mindstorms Low Cost

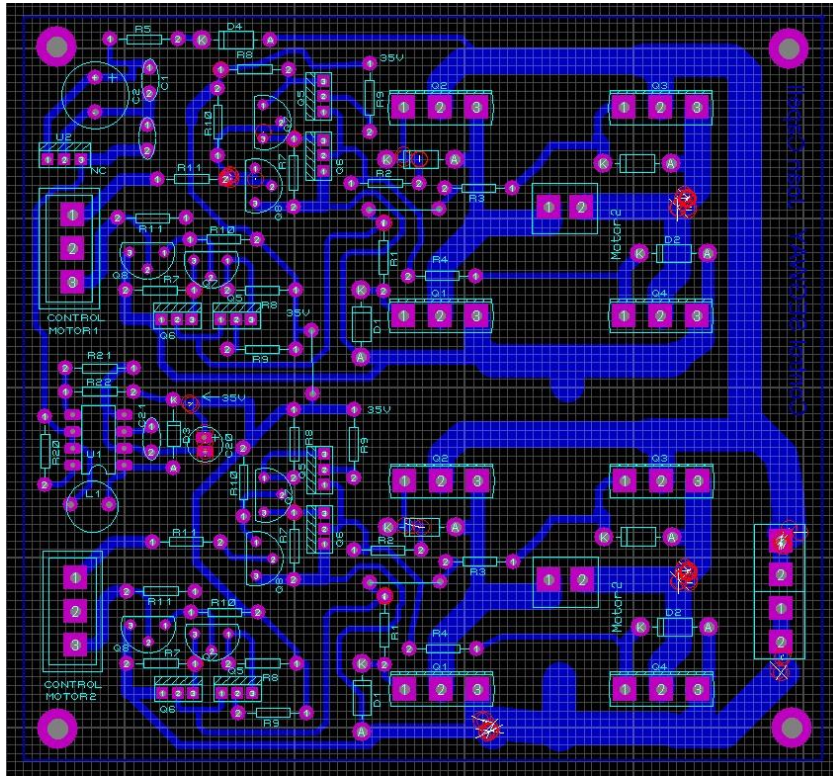


Figura 5.9

La següent figura és una simulació en 3D de la placa:

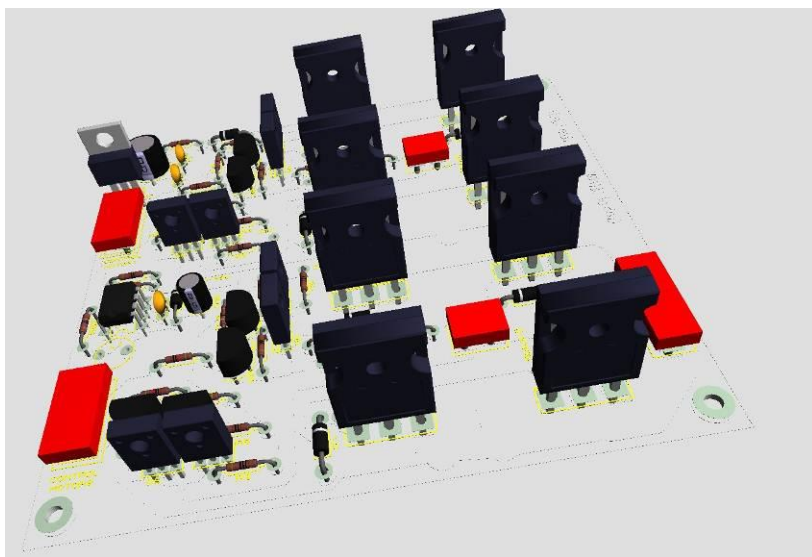


Figura 5.10



5.4 Muntatge placa electrònica

Un cop fet el disseny de la placa s'ha de muntar la placa.

El primer pas consisteix en imprimir la placa en un plàstic transparent "fotolit":

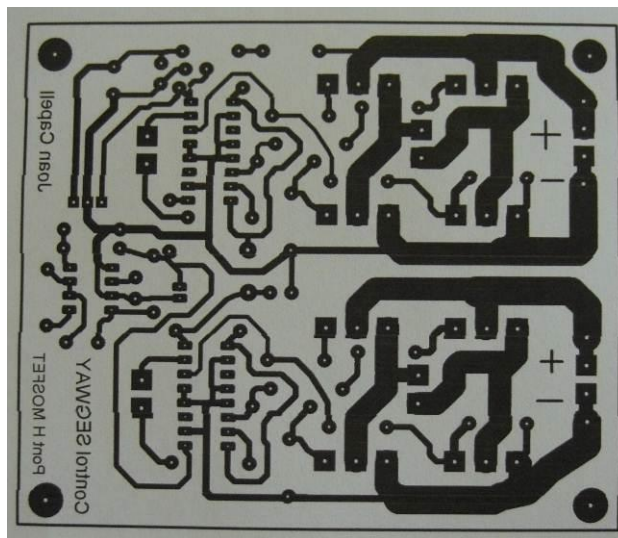


Figura 5.11

En el segon pas es necessita una placa fotosensible, aquesta disposa d'una capa "fotosensible" que protegeix el coure:

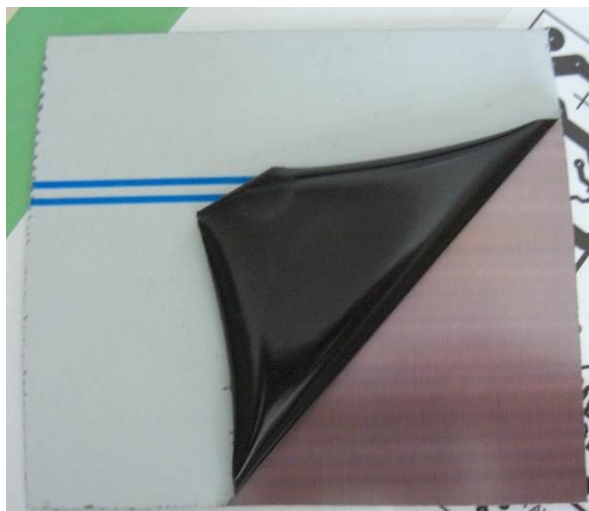


Figura 5.12



Segway Mindstorms Low Cost

Es fica la placa fotosensible junt amb el model imprimit en fotolit dins de la " insoladora" durant 80 segons, en la part transparent que hi toca la llum quedarà destruïda la part fotosensible, en canvi, en la part que no hi arriba la llum serà la que es convertirà en les pistes de coure.:

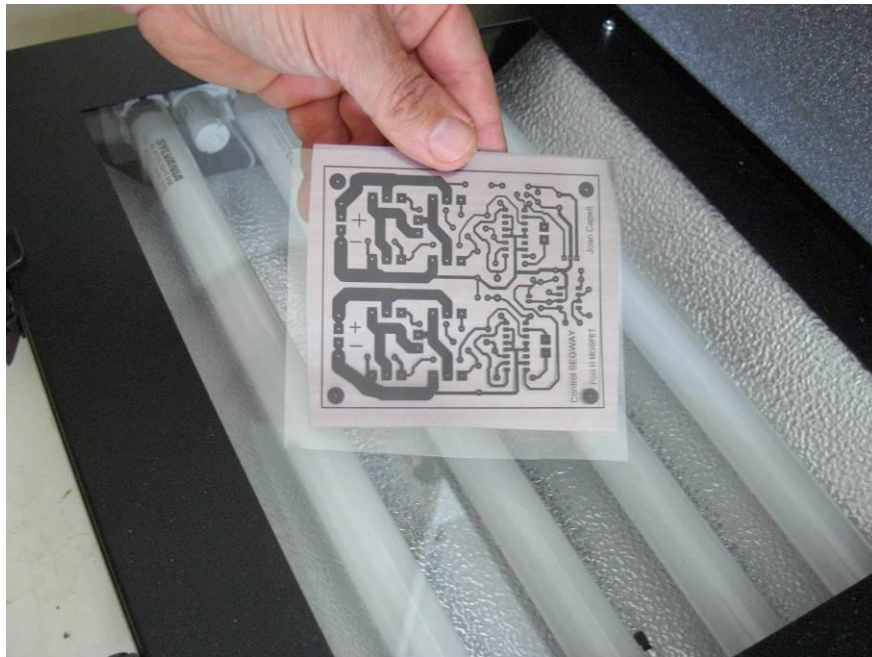


Figura 5.13



Figura 5.14



Segway Mindstorms Low Cost



Figura 5.15

Un cop fet es posa la placa dins del líquid revelador, que s'emportarà la part fotosensible en la que hi ha tocat la llum:



Figura 5.16



Segway Mindstorms Low Cost

Es remou fins que agafa aquest aspecte:

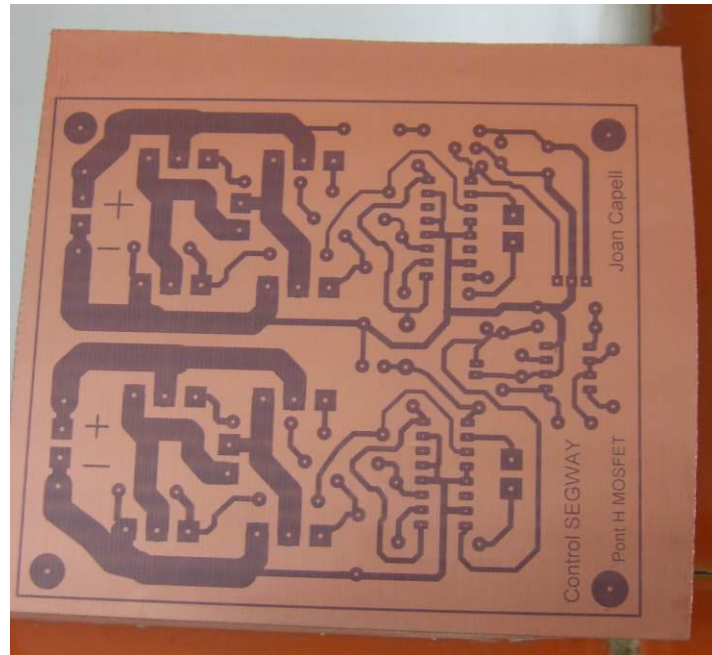


Figura 5.17

Ara s'ha de posar la placa dins del atacador ràpid, una dissolució d' àcid sulfúric en aigua oxigenada capaç de menjar-se el coure:



Figura 5.18



Segway Mindstorms Low Cost

Es remou dins d'un lloc ventilat per evitar els gasos que produeix la dissolució:



Figura 5.19

A mesura que es remou la dissolució agafa un color verdós fruit de la reacció química:



Figura 5.20



Segway Mindstorms Low Cost

Un cop passat per la dissolució la placa té aquest aspecte, on podem observar amb claredat les pistes conductores:

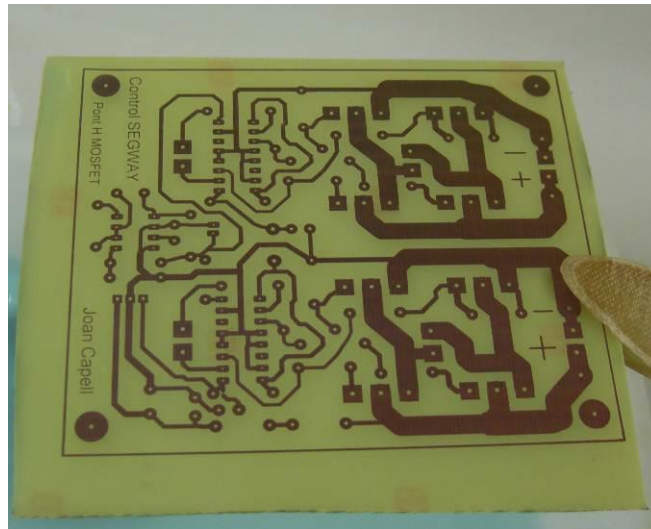


Figura 5.21

Es talla pels marges amb una serra:

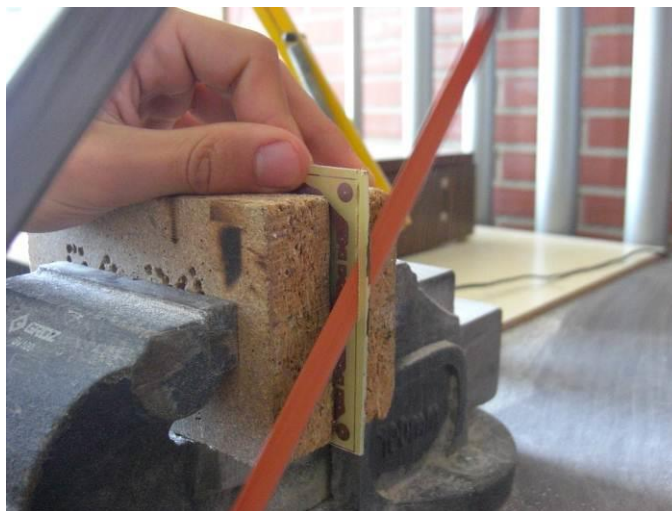


Figura 5.22



Segway Mindstorms Low Cost

Es fan els forats amb el trepant petit:

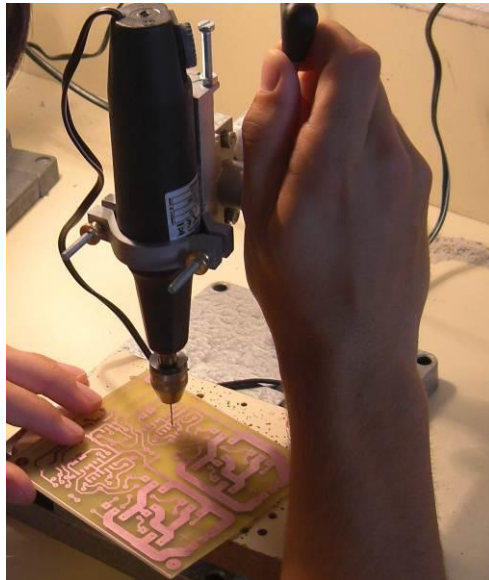


Figura 5.23

I per últim es solden els components:



Figura 5.24

Un cop feta la placa es connecta a les bateries, motors i al lego mindstorms, i ja queda tot preparat per funcionar.



6. Programació

segway gran

El programa per al segway gran és pràcticament el mateix que el de la maqueta del segway, segueix mantenint l'equilibri a través d'un control PID, però s'han hagut de fer els següents canvis:

6.1 Conducció del segway

Per a poder conduir el segway es necessita poder fer-lo avançar, retrocedir i girar.

Per a fer-lo avançar o retrocedir n'hi a prou amb que el conductor inclini el pes del cos cap endavant o cap a enrere. El segway automàticament avançarà cap a endavant o cap a enrere per intentar mantenir l'equilibri. Per a que faci això no cal afegir res al codi, és simplement una conseqüència del fet que aguantis l'equilibri.

Per a fer-lo girar, s'ha d'inclinar el manillar de la següent manera:

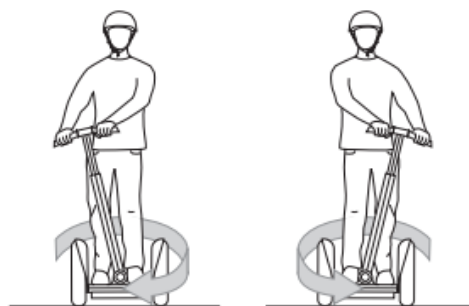


Figura 6.1



Segway Mindstorms Low Cost

El manillar porta a dintre un potenciòmetre que gira quan s'inclina el manillar.

Quan el manillar està recte, el potenciòmetre envia un valor de 805 al bloc NXT. Però quan s'inclina el manillar el potenciòmetre gira, llavors el valor que envia canvia. Si s'inclina cap a l'esquerra el valor del potenciòmetre disminueix, llavors el segway gira cap a la esquerra. Quan s'inclina cap a la dreta el valor del potenciòmetre augmenta, llavors el segway gira cap a la dreta.

6.2 Lectura de l'angle

En la maqueta del segway, per calcular l'angle es llegia el sensor giroscòpic, que donava la velocitat angular i s'integrava aquesta velocitat angular per saber l'angle. Aquest procés funcionava en general bé, però tenia un problema. El giroscopi no era del tot precís a l'hora de mesurar la velocitat angular, tenia petits errors. Per exemple quan el robot estava quiet el sensor marcava que s'estava movent $1^\circ/s$. Aquests errors no són gaire grans, però a l'hora d'integrar, aquests errors s'acumulen, un error de $1^\circ/s$ a cada lectura al cap de 10 segons s'acaba convertint en un error de 10° .

Per això he hagut d'afegir un altre sensor, l'acceleròmetre.

L'acceleròmetre és un sensor que en realitat mesura forces, però aquestes forces són normalment produïdes per acceleracions. Per entendre el seu funcionament ens hem d'imaginar l'acceleròmetre com una bola dins d'una caixa en que cada paret porta un sensor de pressió:



Segway Mindstorms Low Cost

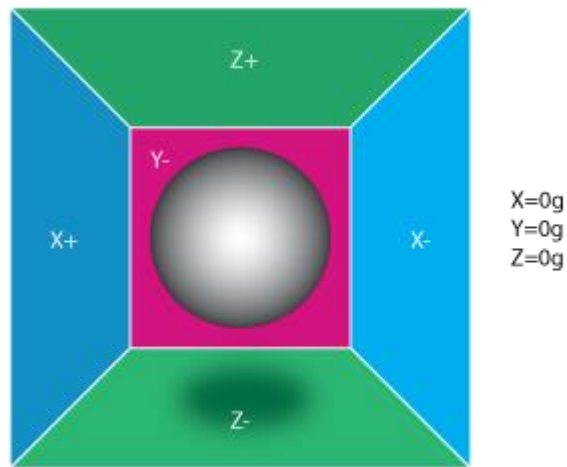


Figura 6.2

Encara que l'acceleròmetre no sigui així internament aquest model serveix per fer-nos una idea del seu funcionament.

Si aquest model estigués al terra la bola cauria cap a baix per la força de la gravetat. Es donaria el següent model:

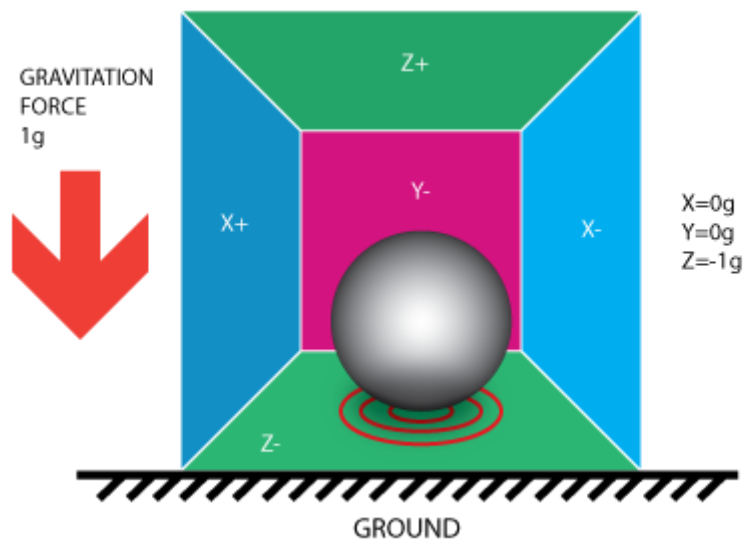


Figura 6.3



Segway Mindstorms Low Cost

En la figura es veu com la bola aplica una força cap al terra de $1g=9,8m/s^2$.

Si inclinéssim la caixa 45 graus es donaria la següent situació:

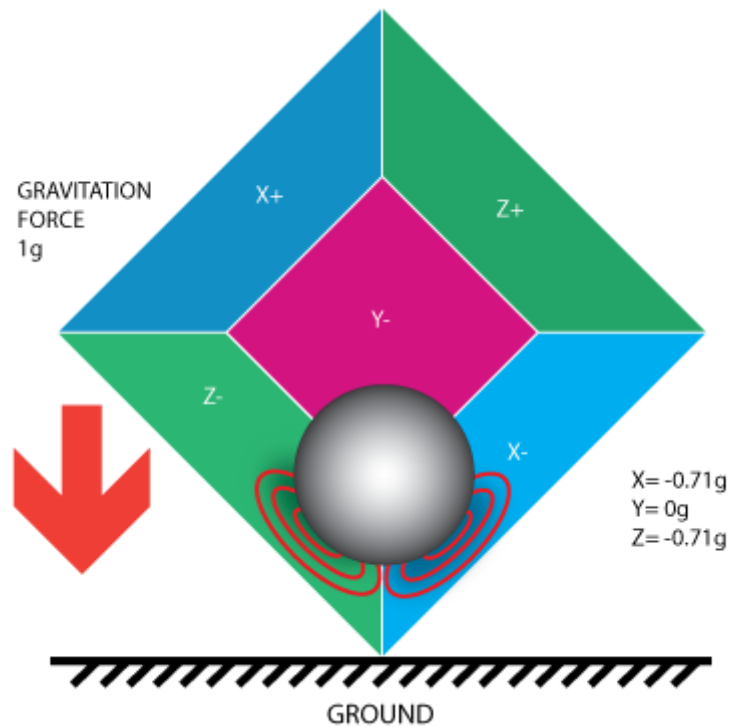


Figura 6.4

La caixa està inclinada 45 graus, així que la força de la gravetat s'ha repartit entre les dos parets. Ara la força en Z val $0,71=\cos(45)$ i la força en X val $0,71=\sin(45)$.

Es veu clar que hi ha una relació directa entre l'angle en que es troba l'acceleròmetre i la força que s'aplica a cada paret. Per deduir la formula que calcula l'angle en funció de les forces hem de seguir el següent procediment: $\frac{F_x}{F_y} = \frac{g \sin(\alpha)}{g \cos(\alpha)} = \tan(\alpha)$. Si fem la \tan^{-1} de tot

ens queda: $\tan^{-1}\left(\frac{F_x}{F_y}\right) = \tan^{-1}(\tan(\alpha)) = \alpha$. Per tant l'angle és igual l'arctangent de $\frac{F_x}{F_y}$.

L'acceleròmetre no té el problema del error acumulat que té el giroscopi, perquè en cada lectura mesura l'angle directament sense necessitat d'integrar. Però l'acceleròmetre té un altre problema. El problema està en que l'acceleròmetre no només mesura les forces



Segway Mindstorms Low Cost

creades per la gravetat, també pot mesurar la força que es produeix quan el segway accelera. Llavors quan el segway accelera cap a endavant l'acceleròmetre marcarà un angle diferent al real de manera que el segway serà inestable.

Així que s'ha de buscar un sistema que elimini l'error acumulat del giroscopi i només es cregui al acceleròmetre en moments de mínima acceleració. Aquest sistema és el filtre kalman.

El filtre kalman és un algoritme que fusiona les lectures dels dos sensors. Les matemàtiques que utilitza per fer-ho són massa avançades per mi, per això la part de codi del filtre kalman no l'he escrit jo, l'he copiat directament d'aquesta web:

<http://www.todopic.com.ar/foros/index.php?PHPSESSID=pue1t3eleopgek8rfr7e4rr0b7&topic=12748.msg203375#msg203375>

Per tenir tant l'acceleròmetre com el giroscopi al segway vaig haver de comprar el dimu sensor. Aquest sensor porta incorporat un giroscopi i un acceleròmetre que poden llegir els tres eixos, però jo només es necessita llegir un eix del giroscopi i dos eixos del acceleròmetre.

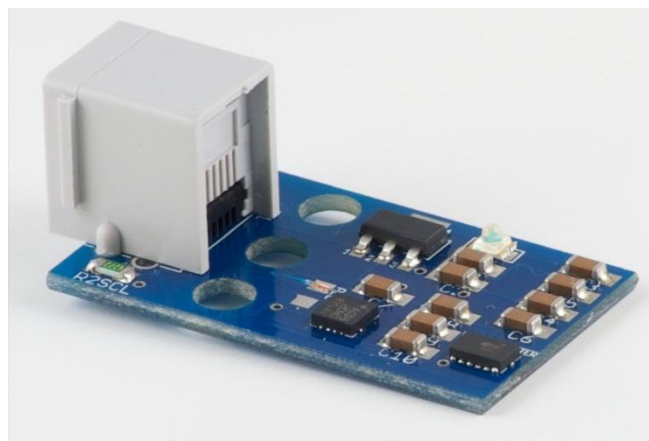


Figura 6.5



6.3 Ajust constants control PID

El segway gran segueix mantenint l'equilibri amb un control PID, però la massa del segway és molt més gran que la de la maqueta i la potència que tenen els motors també és completament diferent. Per això s'han de tornar a ajustar les constants.

Per ajustar les constants del segway gran he tornat a utilitzar el mètode de ajust manual, aquest consisteix en provar valors, executar el programa, mirar què passa, canviar els valors, tornar a executar el programa etc... Ajustar les constants per aquest mètode és un gran perill, perquè els motors del segway tenen molta força i, mentre s'ajusten les constants el segway és molt inestable i pot arribar a descontrolar-se. Si es descontrola degut a la seva força és molt complicat de parar, pot arribar a xocar amb una persona o pitjor, xocar amb una paret i trencar-se ell.

Per això és important anar amb molta cura a l'hora d'ajustar les constants.

6.4 Ajust de la potència del motor

Quan estava programant el segway me'n vaig adonar de una anomalia a l'hora de fer funcionar el motor. Resulta que quan enviava una ordre al motor de moure's a una potencia inferior al 30%, el motor no es movia. Això feia que el segway a l'hora de mantenir l'equilibri reaccionés molt

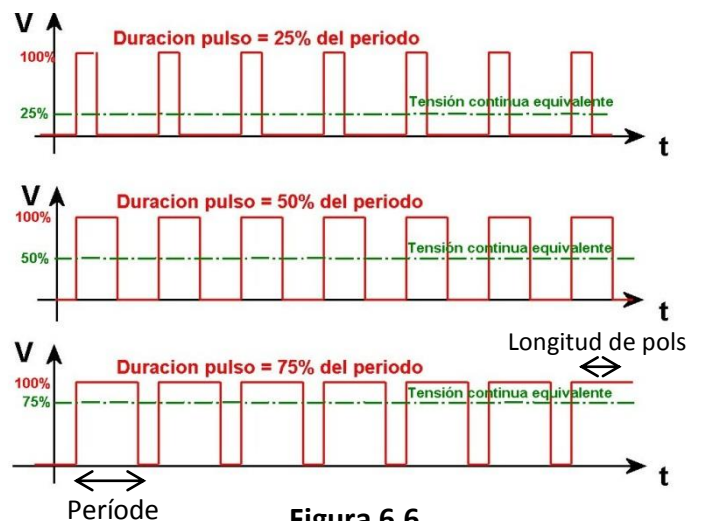


Figura 6.6



Segway Mindstorms Low Cost

tard.

Aquest problema era degut al pwm que utilitza el mindstorms. El pwm del mindstorms és rapidíssim, de manera que el període és molt curt. Llavors quan s'envia una ordre al motor de moure's a una potència inferior al 30%, la longitud de cada pols és molt curta, tan curta que no és suficient per arribar a moure el motor.

La primera solució que vaig intentar per aquest problema va ser modificar el pwm del mindstorms per a que fos més lent. Però el pwm del mindstorms és impossible de modificar. Així que la solució que he implementat consisteix en convertir la potència que calcula amb el control PID. Una potència que va de 0 al 100%, a una potencia que vagi del 30% al 100%. La fórmula per fer això és la següent:

$$\text{Potencia_motor} = 30 + \text{PID} * 0,7$$

6.5 Sensor de pes

El segway ha d'estar preparat per aguantar l'equilibri amb o sense una persona pujada a sobre. Però no és la mateixa la força que han de fer els motors amb una persona a sobre que sense. Per això he afegit un sensor de pes que detecta quan una persona està pujada al segway.

Aquest sensor de pes consisteix en un polsador incrustat dins la base de manera que quan una persona puja al segway ha de xafar aquest polsador. Segons si el polsador està clicat o no el segway actuarà amb més o menys força.

Amb tot això el segway queda acabat.

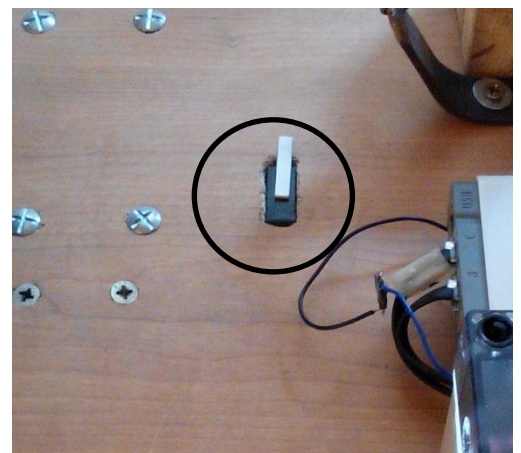


Figura 6.7



Segway Mindstorms Low Cost

7. Anàlisi final

El meu segway aguanta l'equilibri perfectament i de forma suau, respon bé als moviments del meu cos i quan inclino el manillar gira. No és tan estable com un segway oficial però segueix sent bastant bo.

Es pot arribar a moure a 15 km/h i les bateries aguanten més de mitja hora.





Figura 7.1



Figura 7.2


El pressupost del segway és aquest:

Components	unitats	preu unitari	preu total	foto
24 VOLT 300 WATT ELECTRIC E-SCOOTER MOTOR	2	29,99 €	59,98 €	
LEGO Mindstorms bloc programable NXT 2.0	1	169,00 €	169,00 €	



Segway Mindstorms Low Cost

BATERIA BATERIAS SAIT ELECTRONICA MOTOS	2	12,00 €	24,00 €	
Dexter industries dimu sensor	1	55,00 €	55,00 €	
magneto bipolar 32A	1	6,95 €	6,95 €	
placa de fusta 45x40cm	1	18,45 €	18,45 €	
cadena pas 25H	2	11,20 €	22,40 €	
eslavó cadena fina 25H	2	2,16 €	4,31 €	
corona d'acer 68 cadena fina	2	7,24 €	14,48 €	
roda minimoto	2	39,00 €	78,00 €	
fusible 25A	2	0,10 €	0,20 €	
barra d'alumini	1	6,50 €	6,50 €	
caixa de la electrònica	1	12,50 €	12,50 €	

	Segway Mindstorms Low Cost		

barra roscada	1	1,68 €	1,68 €
---------------	---	--------	--------



rosca hexagonal 12mm	6	1,73 €	10,38 €
----------------------	---	--------	---------



ventilador refrigeració 12 V	1	4,50 €	4,50 €
------------------------------	---	--------	--------



interruptor	1	1,50 €	1,50 €
-------------	---	--------	--------



potenciòmetre	1	0,50 €	0,50 €
---------------	---	--------	--------



molla	2	3,00 €	6,00 €
-------	---	--------	--------



electrònica: placa+components	1	22,30 €	22,30 €
-------------------------------	---	---------	---------



Total:			520,63 €
---------------	--	--	-----------------

El preu final és de 520€, una autentica ganga tenint en compte que comprar un segway oficial costa 6.795€.

i2

- **Diseño minimalista, multitud de usos**
- El Segway® Personal Transporter (PT) i2 es nuestro modelo más versátil. El diseño del i2 permite usarlo fácilmente en distintos terrenos, gracias a nuestro nuevo sistema LeanSteer™ y el nuevo controlador InfoKey™.



→ Más información

6.795€ + IVA

→ Financiación



8. Conclusions

Després d'haver dedicat tant temps i esforç a fer el segway, veure'l funcionar i poder-lo conduir m'ha fet moltíssima il·lusió. La sensació que tinc al saber que allò que estic conduint ho he fet jo m'omple d'alegria, i el fet de que durant tot el temps que he estat fent el treball hagi tingut la incertesa de no saber si funcionaria, fa que la meva alegria sigui el doble.

Mentre feia el projecte me'n vaig adonar de moltes coses. Com a exemple la primera de totes és que fer coses relacionades amb la tecnologia a la pràctica és més complicat del que sembla. Una cosa tant simple com mecanitzar la part motriu (motor-roda), em va costar força més de cap fins que va quedar ben alineat el sistema i la cadena amb la tensió adequada per que girés tot plegat amb la suavitat desitjada.

Cada pas recorregut al llarg d'aquest treball ha estat com pujar per una escala, en cada esglaió he tingut que superar diferents problemes no sempre fàcils, adoptar una postura serena i constant, no desesperar ha estat clau per arribar a la meta.

Mai hagués imaginat que tot plegat fos tant complex i que en petites coses que mentalment imagines una ràpida solució, surten imprevistos que et compliquen avançar.

Un altra cosa que m'he adonat és de la complexitat de molts aparells electrònics d'avui dia. Una feina tan fàcil per a nosaltres com és mantenir l'equilibri, per a que la faci un aparell es necessiten una gran quantitat de mecanismes, sistemes sensors i entendre el seu funcionament.

Una altra cosa a destacar és que el fet de tenir una súper eina com Internet, ens sembla que tot ens ho solucionarà, però per fer aquest treball he tingut que utilitzar molt l'enginy personal per solucionar els constants problemes de diversa índole que han anat sorgint,



Segway Mindstorms Low Cost

aquest fet m'ha obert la ment i m'ha fet adonar que no totes les solucions les tenim en un "Clic".

Una altra valoració a fer es que aquest treball m'ha ajudat a reflexionar envers diferents dispositius comercials que ens envolten en la nostra vida quotidiana sense que hi donem cap importància, però ara m'adono del gran treball que hi al darrera i el gran esforç que han tingut que fer les persones que han creat aquell aparell.

En general aquest projecte ha estat una experiència enriquidora en la que he après moltes coses d'informàtica, matemàtiques, física, mecànica i electrònica. Durant el projecte hi van haver moments en els que vaig estar desesperat. A pesar d'això vaig seguir treballant i finalment tots els esforços, diners i temps invertits en aquest treball han valgut la pena. Només per poder conduir i veure funcionar correctament un aparell molt complex fet amb les meves mans i programat per mi.



9. Agraïments

La realització d'aquest treball no hagués estat possible sense la ajuda de les següents persones:

-El meu pare, que ha sigut ell qui ha dissenyat l'electrònica a més m'ha ajudat molt en el muntatge.

-La meva mare, que s'ha encarregat de corregir la presentació del treball escrit.

-El meu tutor, que va confiar en mi al acceptar aquest treball.