

Cames robotitzades: **AUTOMATIC HALFBODY WALKER**

TREBALL DE RECERCA (2014-2015)

REALITZAT PER:

Pseudònim: Xocolata desfeta

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
OBJECTIUS.....	2
OBJECTIUS CONCEPTUALS	2
OBJECTIUS PROCEDIMENTALS	3
OBJECTIUS HUMANS.....	3
METODOLOGIES.....	4
COS DEL TREBALL	7
BIOMECÀNICA DE LA MARXA HUMANA.....	7
El Cicle de la marxa humana	8
Anàlisi Cinemàtic de la marxa humana	10
Anàlisi Cinètic de la marxa humana	17
Estudi real de la marxa humana	23
PNEUMÀTICA.....	26
Introducció.....	26
Generadors	26
Unitat de manteniment	27
Actuadors.....	27
Vàlvules.....	30
PROTOTIPS DEL ROBOT	31
DESCRIPCIÓ DEL MATERIAL UTILITZAT	32
Elecció dels cilindres	32
Elecció de les vàlvules distribuïdores de cabal.....	33
Descripció del elements utilitzats al circuit pneumàtic.....	34
DISSENY DEL ROBOT	35
IMPRESSIÓ 3D.....	41

ELECTROPNEUMÀTICA	42
Introducció	42
PRÀCTIQUES: ESTUDI PREVI	45
Pràctica 1: Control de les electrovàlvules amb Arduino.....	45
Pràctica 2: Control de dos cilindres.....	53
Pràctica 3: Control de quatre cilindres.....	54
Pràctica 4: Incorporació dels servomotors.....	56
Pràctica 5: Equilibri	59
Pràctica 6: Modificació dels servomotors	64
Pràctica 7: Comprovació del funcionament dels elements individualment	65
Pràctica 8: Programa final	69
Pràctica 9: Arduino+Bluetooth	71
Pràctica 10: LCD "Hello world!"	77
Pràctiques amb ventoses	82
L'EQUILIBRI I L'AVANÇAMENT	88
Sentit de l'equilibri	88
MUNTATGE.....	98
CONCLUSIONS.....	103
FONTS D'INFORMACIÓ.....	104
AGRAÏMENTS	106

INTRODUCCIÓ

El nostre nom és _____, som dues alumes de l'àmbit tecnològic de 2n de Batxillerat de l'_____.

Per a realitzar un treball de recerca que impliqués tantes hores de treball, vam decidir escollir un tema que ens apassionés, un tema del qual poguéssim aprendre en molts sentits i que poguéssim aprofundir en molts àmbits. Així que després d'analitzar diverses idees vam arribar a la conclusió de que volíem realitzar un projecte dins del món de la robòtica, ja que podíem obtenir molta informació amb l'objectiu d'innovar en aquest camp.

Vam voler centrar-nos en la idea de fusionar la robòtica amb alguna part del cos humà, és a dir, automatitzar una part del cos humà mitjançant la robòtica.

Primerament vam pensar en un braç robòtic automatitzat. Aquesta era una bona opció, però no ens va convèncer pel fet que ja s'havia realitzat abans. Per tant, vam pensar d'altres. Vam pensar també en el fet que si aquesta part seria aplicada a robots o bé seria una pròtesi biònica aplicable a humans amb discapacitats. Per la part del cos que vàrem decidir finalment, la primera opció va ser la que ens va cridar més l'atenció.

Finalment, vam decidir que la part del cos humà que volíem representar seria un robot bípede que imités l'acció de caminar. Posteriorment, quan vam explicar la idea del projecte al nostre tutor del treball, ens va proposar dues maneres de realitzar-ho: mitjançant l'electrònica o la pneumàtica. La segona opció ens permetia innovar en el món de la robòtica perquè difícilment podem veure robots controlats pneumàticament, però per altra banda, l'electrònica també ens cridava l'atenció. Per tant, vam decidir fusionar dos conceptes que, fins ara, havien tingut una relació escassa.

Per això aquesta és la hipòtesi del nostre projecte: Si aconseguim fusionar l'àmbit de l'electrònica i el de la pneumàtica amb èxit i aconseguim comprendre els diversos moviments que el cos humà es capaç de realitzar quan camina, serem capaces de crear un robot innovador enriquint així l'ampli món de la robòtica.

OBJECTIUS

OBJECTIUS CONCEPTUALS

Com a objectius conceptuals volem arribar a conèixer profundament l'electrònica i obrir-nos les portes del coneixement en l'àmbit de la pneumàtica, concretament l'electropneumàtica, branca de la tecnologia que desconexíem. Realment, l'objectiu principal del treball no va consistir a aprofundir en l'electrònica; la branca ja coneguda, i aprendre sobre l'electropneumàtica com a conceptes per separat, sinó fusionar aquestes dues branques per tal d'ampliar els nostres coneixements en el món de la robòtica.

Per tal de realitzar un robot capaç de simular i imitar el moviment de caminar, el nostre primer objectiu ha de ser arribar a conèixer tots els moviments que el cos humà és capaç de realitzar, així com entendre com aquest els arribar a fer tenint en compte els factors que influeixen aquesta acció.

Pel que fa al disseny de les peces del robot haurem d'aprendre el funcionament de programes de disseny en 3D per a poder construir-lo, imprimint-ne les peces posteriorment. Els programes amb els quals haurem de treballar i aprofundir el nostre coneixement per tal d'obtenir les peces desitjades són:

En quant el disseny de les peces: AutoCAD, SolidWorks i SketchUp.

Per tal d'imprimir-les en 3D: Cura, Netfabb i Slicer

Pel disseny i control de circuits tant electrònicament com pneumàticament: Fritzing, Automation Studio i Arduino.

OBJECTIUS PROCEDIMENTALS

Com a objectius procedimentals, l'objectiu és ser capaces d'aplicar els coneixements adquirits al marc teòric i, una vegada assolits els objectius conceptuals, saber aplicar-los correctament. Així creant un robot que sigui capaç d'imitar la marxa humana normal, construït per nosaltres mateixes, i dissenyat i programat des de zero.

Per tant, els nostres objectius procedimentals principals són arribar a dissenyar un robot amb les peces adequades per a posteriorment construir-lo. Per a poder dur a terme un bon projecte haurem de tenir en compte molts factors que influiran en el futur muntatge de la maqueta.

Un cop el robot estigui muntat, el nostre últim objectiu és poder programar el robot per a què pugui dur a terme la seqüència adequada amb l'objectiu d'imitar el més acuradament possible el caminar humà.

OBJECTIUS HUMANS

Pel que fa als objectius humans ens hem proposat principalment ser capaces de treballar en grup, superant tots els entrebancs que el projecte pugui suposar. Per a dur a terme el projecte en el termini de temps marcat hem de saber organitzar-nos i seguir una planificació establerta del procés que hem de dur a terme per a desenvolupar el treball correctament.

Som conscients que un treball d'aquestes característiques implica dedicar-li moltes hores de treball, és per això que ens hem plantejat estar centrades únicament en el treball evitant les distraccions durant el temps planificat anteriorment per tal d'optimitzar les hores que li dediquem.

En resum, per tal de dur a terme aquest projecte volem portar al dia els objectius que ens proposem tan a curt com a llarg termini, seguint una planificació i una bona organització de totes les tasques que hem de realitzar.

METODOLOGIES

En el moment en el que ens vàrem decidir en quina part del cos centrar-nos, les cames, no sabíem exactament si volíem fer una cama, dues cames, o bé les dues incloent cintura i tots els seus components.

La primera idea però, no va romandre molt de temps en les nostres expectatives perquè simbolitzar una cama implicava aconseguir realitzar únicament un moviment i, per tant, això implicava descartar la idea de simular l'acció de caminar. Amb una sola cama seria possible representar la seqüència d'una cama en l'acció de la marxa humana però no representar aquest moviment, és a dir, no podíem simular l'acció de caminar, que era un dels nostres objectius principals. Per tant, aquesta idea va ésser descartada.

Com hem dit, per a representar el moviment que tenim clar que volem aconseguir, necessitàvem dues cames. Al descartar la primera opció ens vam basar en la tercera idea, però al adonar-nos que la part de la cintura era massa complexa ja que aquesta té tres graus de llibertat, ens vam acabar decidint per treballar únicament les dues cames. Aquesta opció, la realització de les dues cames sense cintura, va ser duta a terme durant un curt període de temps. Perquè no va acabar essent la més factible. D'això, ens vam adonar quan vàrem començar a fer quedades amb el professor de la Universitat Politècnica de Barcelona, _____.

Una vegada ens vam posar amb contacte amb aquesta universitat, va ser quan ens van facilitar el correu del professor que s'encarregava d'aquesta part que realment ens interessava per al nostre treball: la biomecànica de la marxa humana.

Una vegada feta la recerca i l'aprenentatge dels conceptes de la biomecànica necessària per comprendre l'acció de caminar, vam reflexionar i gràcies a l'ajuda de __, vam acabar per arribar a la conclusió que necessitàvem incloure la cintura. Aquesta, no hauria de ser una estructura molt complexa, només necessitaria un grau de llibertat.

En _____ treballa al laboratori de Biomecànica i per tant no és expert en pneumàtica però sí en la seva especialitat: la biomecànica de la marxa humana, part en la qual ens va ajudar. Va ser ell qui ens va explicar que, sense l'ajuda d'una cintura, ens seria impossible simular l'acció de caminar: *"realment, quan caminem movem la cintura, per tant aquesta és necessària; si no poguéssim la cintura ens estariem referint a un altre tipus de moviment, i no al de caminar"* - ens explicava. Com que nosaltres el que volíem des d'un

bon principi era simular l'acció real de caminar, vam optar per afegir la cintura. Quan caminem, la cintura només acciona un dels seus graus de llibertat, i no tots tres; els altres dos graus de llibertat prenen la seva funció en altres moviments. Per tant, la hipòtesi que vam fer abans de triar una opció: *"la creació de la cintura serà molt més complicada degut als seus tres graus de llibertat"* es va convertir en falsa ja que, per complir el nostre objectiu de simular l'acció de caminar, només necessitem representar un grau de llibertat.

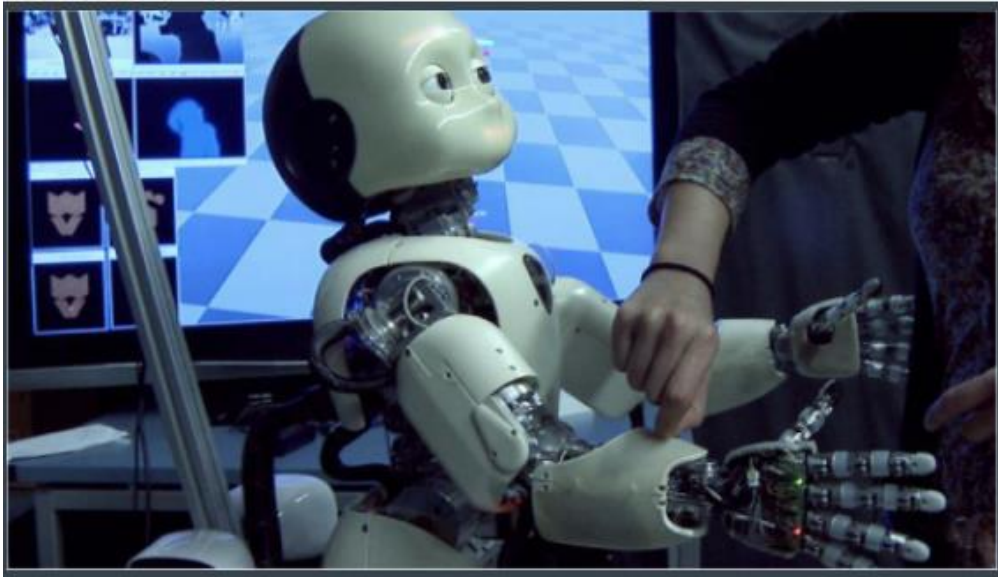
Un cop decidida l'estructura, vam decidir recercar i introduir-nos al món de la pneumàtica, concretament, l'electropneumàtica. Per això, ens va ser de molta ajuda el curs de pneumàtica que va iniciar l'escola justament per aquelles dates. Paral·lelament al curs, anàvem realitzant les proves necessàries amb els components pneumàtics concrets que necessitaríem per aquest treball, així comprovant el seu funcionament i, a mida que anàvem coneixent més sobre aquest àmbit gràcies al curs de pneumàtica i paral·lelament l'experimentació concreta, vam acabar aconseguint el control dels cilindres pneumàtics mitjançant electrovàlvules. Més tard, amb uns coneixements previs sobre electrònica, vam controlar aquesta part de circuit pneumàtic mitjançant l'Arduino.

A partir d'aquest punt, vàrem anar millorant aquests coneixements mitjançant l'experimentació.

Més tard, vam decidir introduir a l'estructura bípeda més components com els servomotors, el giroscopi i l'acceleròmetre. Paral·lelament a la introducció d'aquests, vàrem fer una sortida a la Universitat Pompeu Fabra, aquesta oportunitat ens va permetre observar el funcionament de sensors com són el giroscopi i l'acceleròmetre vivencialment.

El grup Synthetuc Perceptive, Emotive and Cognitive Systems: SPECS és el grup de la Universitat Pompeu Fabra (UPF) que es dedica a l'àmbit de la robòtica. És un grup multidisciplinari fundat el 2005 per Paul Verschure i des de llavors forma part del Departament d'Informació i Comunicació de la Universitat Pompeu Fabra de Barcelona. El 2012 SPECS es va convertir en un membre del Centre de Sistemes Autònoms Neuro-Robotics and Autonomous Systems, N-RAS, un nou centre "UPF Research Centre". SPECS utilitza mètodes sintètics per estudiar i sintetitzar la neuronal, psicològica i principis de comportament, l'emoció i la cognició. Les seves activitats s'organitzen al voltant de tres dimensions complementàries, s'anomenen:

- Theory of mind and brain
- Biomimetic real-world artefacts
- Brain repair and quality of life technologies



Allà ens varen ensenyar el funcionament i les aplicacions dels sensors que volíem implementar a les nostres cames. Ens van rebre molt agradablement i va ser una visita molt gratificant i productiva. Ens van ensenyar diferents robots que tenien implementats servomotors i estaven controlats electrònicament i ens van aconsellar sobre l'ús d'aquests: els que havíem d'utilitzar nosaltres per la nostra estructura haurien de ser potents. També ens van mostrar petits robots els quals el seu objectiu era no caure: la seva estabilitat estava controlada pel giroscopi i l'acceleròmetre, sensors que volíem afegir al nostre robot. Allà ens van explicar que aquests sensors normalment es col·loquen en robots d'una baixa alçada i poc pes, per tant en el nostre cas no sabríem si aquests sensors farien el mateix efecte o no ens anirien bé.

Per comprovar si el giroscopi i l'acceleròmetre funcionaven correctament vam realitzar una pràctica simple que ens van proposar a la Universitat. Aquesta tractava de agafar aquests sensors i mitjançant l'Arduino, observar si detectava el moviment i el rectificava segons uns paràmetres marcats: pràctica extreta de la pàgina web d'Arduino, a l'abast públic per tal de comprovar el funcionament d'aquests sensors. Un cop comprovat el funcionament, per falta de temps, no els vam poder incorporar al nostre robot.

COS DEL TREBALL

BIOMECÀNICA DE LA MARXA HUMANA

Cinètica i cinemàtica de les articulacions en el cicle de la marxa

La Biomecànica és una disciplina científica que es dedica a estudiar l'activitat del nostre cos, en circumstàncies i condicions diferents, i d'analitzar les conseqüències mecàniques que es deriven de la nostra activitat, ja sigui en la nostra vida quotidiana, a la feina, quan fem esport, etc. Per estudiar els efectes d'aquesta activitat, la Biomecànica utilitza els coneixements de la mecànica, l'enginyeria, l'anatomia, la fisiologia i altres disciplines. A la Biomecànica li interessa el moviment del cos humà i les càrregues mecàniques i energies que es produeixen per aquest moviment.

L'objectiu de la Biomecànica és resoldre els problemes que sorgeixen de les diverses condicions a què es pot veure sotmès el nostre cos en diferents situacions.

La Biomecànica ofereix possibilitats de millora en quant la salut i qualitat de vida de moltes persones. Aquesta és un camp de coneixements en contínua expansió capaç d'aportar solucions científiques i tecnològiques molt beneficioses.

La projecció industrial de la Biomecànica ha aconseguit a diversos sectors, servint de base per a la concepció i adaptació de nombrosos productes: diagnòstic per la imatge, implants i instrumental quirúrgic, pròtesis, ajudes tècniques a persones amb discapacitat, sistemes d'avaluació de les nostres activitats, eines i sistemes de seguretat en automoció, entre molts altres.

La marxa humana és un procés de locomoció en el qual el cos humà, en posició dreta, es mou cap endavant, essent un pes suportat, alternativament, per ambdues cames. Mentre el cos es desplaça sobre la cama de suport, l'altra cama es balanceja cap endavant, com preparació del següent recolzament.

Per tant, la biomecànica de la marxa humana descriu el comportament dels diferents elements que conformen la cama humana en el seu conjunt durant la marxa normal, és a dir, l'acció d'un caminar a velocitat espontània d'un adult, aquesta oscil·la de 75 a 80 m/min, és a dir: de 4,5 a 4,8km/h. L'estudi de la biomecànica compren la cinemàtica i la cinètica. Per tant, per comprendre la marxa humana és necessari analitzar ambdues, és a dir, el moviment de les estructures del cos humà (cinemàtica) i les forces (cinètica), tant externes com internes, que els produeixen.

És molt important estudiar i conèixer aquest procés per tal de construir un prototip de cames robòtiques que es comportin de manera aproximada a les cames humanes.

El Cicle de la marxa humana

Cal definir la locomoció humana normal com “una sèrie de moviments alternatius, rítmics, de les extremitats i del tronc que determinen un desplaçament cap endavant del centre de gravetat”.

El Cicle de la marxa comença quan un peu fa contacte amb el terra i acaba amb el següent contacte del mateix peu, a la distància entre aquests dos punts de contacte amb el terra se li diu un pas complet. Esquema que trobarem detallat posteriorment (figura 3.1.).

Dividim el cicle de la marxa en dos principals components: la fase de suport i la fase de balanceig (figura 3.1) . Una cama està en fase de suport quan està en contacte amb el terra i després està en fase de balanceig quan no contacta amb el terra.

Aquestes dues fases es van alternant d'una cama a l'altra durant la marxa. En un pas complet , el suport senzill es refereix al període en què només una cama està en contacte amb el terra.

El període de doble suport es dona quan tots dos peus estan en contacte amb el terra simultàniament. La diferència entre córrer i caminar és l'absència d'un període de doble suport.

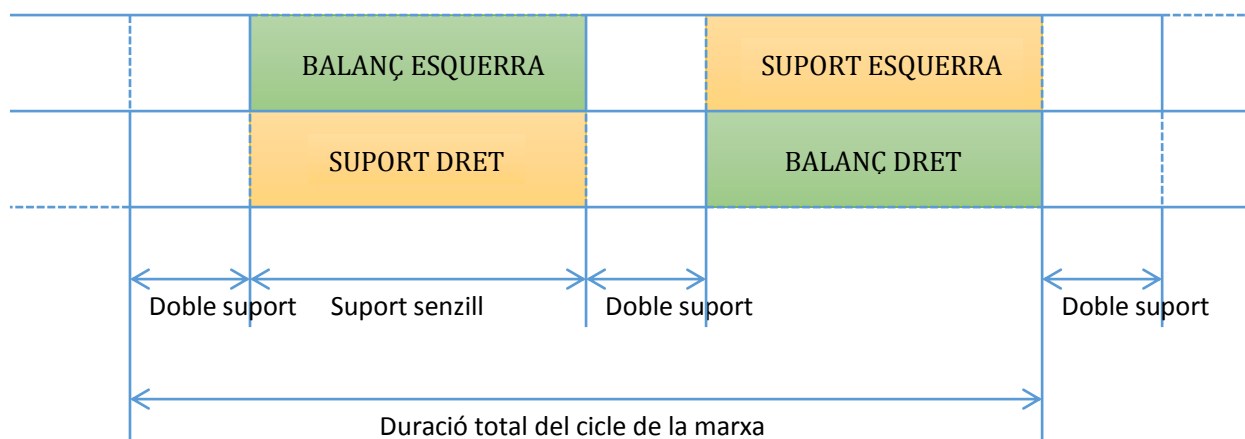


Figura 3.1 – Representació de les principals components de la marxa.

Podem dividir la fase de suport i la fase de balanceig en grups d'interval·ls; la fase de suport està dividida en cinc interval·ls i la fase de balanceig està dividida en només tres.

Fase de suport

- Contacte del taló: És l' instant en què el taló toca el terra.
- Suport plantar: Contacte de la part anterior del peu amb el terra.
- Suport mig: Moment en què el trocànter major es troba alineat verticalment amb el centre del peu, vist des del pla sagital.
- Elevació del taló: Instant en què el taló s'eleva del sòl.
- Enlairament del peu: Moment en què els dits s'eleven del terra.

Fase d'oscil·lació

- Acceleració: Moment on hi ha una ràpida acceleració de l'extrem de la cama immediatament després que els dits deixen el terra.
- Balanceig mig: La cama en moviment depassa a la cama de suport com un pèndol.
- Desacceleració: La cama desaccelera en acostar-se al final de l'interval.

Temps que comporta cada fase

Per al nostre projecte no només és important conèixer les fases de la marxa humana, sinó que també és fonamental saber el temps que prenen cadascuna de les fases del cicle de la marxa, d'aquesta manera tindrem una idea general per comprovar amb el prototip. El percentatge de temps que comporta cada fase en la marxa humana en un trajecte lineal és:

- Fase de suport: 60% del cicle
- Fase d'oscil·lació: 40% del cicle
- Doble suport: 20% del cicle

Com podem observar en la figura 3.2:

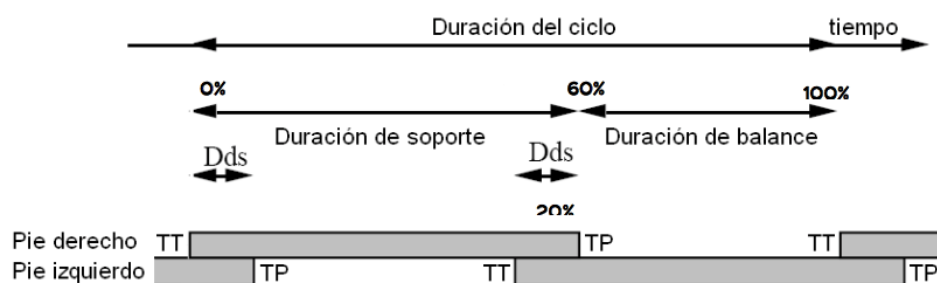


figura 3.2 – Estructura temporal del cicle de la marxa humana on:

- *Dds: doble duració de suport.*
- *TT: toc del taló.*
- *TP: toc de punta.*

Anàlisi Cinemàtic de la marxa humana

Necessitem conèixer i analitzar què és el que passa en cadascun dels segments de la cama al caminar durant una marxa normal amb la finalitat que el nostre robot imiti i reproduïxi aquests moviments mitjançant la pneumàtica i l'electrònica.

A continuació ens centrarem en l'anàlisi cinemàtic. Aquest consisteix en descriure els moviments del cos en conjunt i els moviments relatius de les parts del cos durant les diferents fases de la marxa. Aquestes seran les nocions bàsiques que necessitarem per a començar a estudiar la seqüència de moviments dels cilindres pneumàtics controlats també electrònicament, amb Arduino.

Analitzarem la marxa humana al pla Sagital, que es tracta del pla perpendicular al terra i amb angle recte amb els plans frontals, que divideixen el cos en meitats dreta i esquerra:

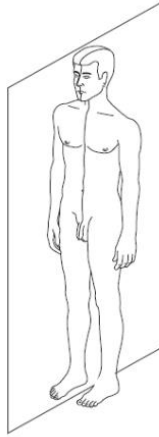


Figura 3.3 – Pla sagital del cos humà.

L'anàlisi cinemàtic està dividit en tres intervals en els quals es descriu com actuen el turmell, el genoll i el maluc en el pla Sagital per a cadascuna de les fases de la marxa (fase de suport i fase d'oscil·lació).

Primer interval

Moviment de les articulacions en el pla sagital entre el contacte del taló amb el terra i el punt de recolzament mig.

EL TURMELL

Moment de contacte del taló amb el terra	L'articulació del turmell està en posició neutra (0°) . Just entre la dorsiflexió i la flexió plantar.
---	---

Simultàniament amb el contacte del taló.	L'articulació del turmell comença a moure en direcció de la flexió plantar.
---	---

Moment en què la planta del peu fa contacte amb el terra.	L'articulació del turmell es mou 15° de la posició neutra a la flexió plantar.
--	---

En la fase mitja	L'articulació del turmell passa ràpidament a aproximadament 5° de dorsiflexió.
-------------------------	---

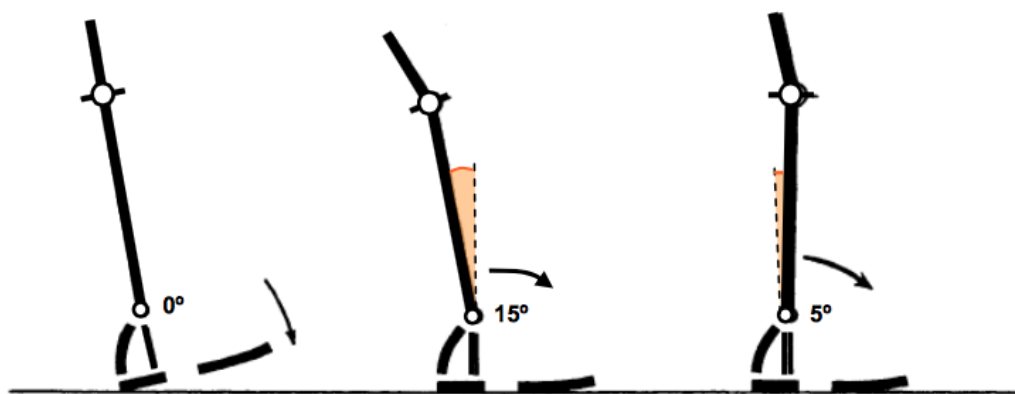


Figura 3.4 – Estudi cinemàtic del turmell en l'interval I de la marxa.

EL GENOLL

Immediatament abans del contacte del taló amb el terra. L'articulació del genoll es troba en completa extensió.

Simultàniament amb el contacte del taló amb el terra. L'articulació del genoll comença flexionar-se i continua fins que la planta del peu està plana al terra.

Immediatament després d'haver arribat a la posició plana del peu. El genoll té aproximadament un angle de 20° de flexió i comença a estendre's.

En el suport mitjà. El genoll té aproximadament un angle de 10° de flexió i continua estenent-se.

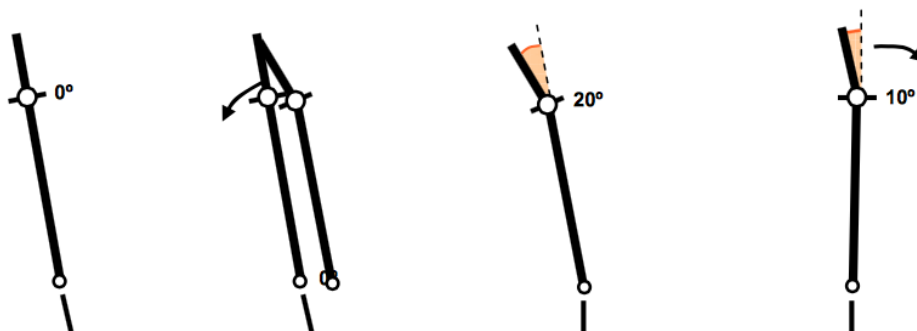


Figura 3.5 – Estudi cinemàtic del genoll en l'interval I de la marxa.

EL MALUC

Simultàniament amb el contacte del taló amb el terra.	El maluc està aproximadament a 30° de flexió.
---	---

Immediatament després del contacte del taló amb el terra.	L'articulació del maluc comença a estendre.
---	---

En la posició del peu pla a terra.	L'angle de flexió disminueix al voltant de 20°.
------------------------------------	---

Entre el peu pla i el suport mitjà.	L'articulació del maluc es mou a la seva posició neutral (0°).
-------------------------------------	--

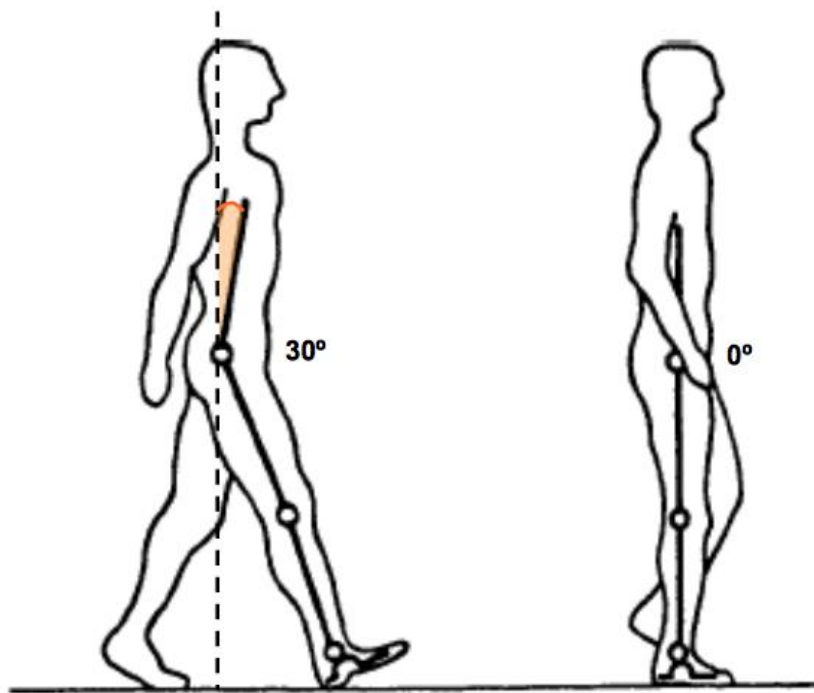


Figura 3.1 – Estudi cinemàtic del maluc en l'interval I de la marxa.

Segon interval

Moviment de les articulacions en el pla sagital entre el suport mitjà i enlairament del peu de terra.

EL TURMELL

En el suport mig

L'articulació del turmell passa ràpidament a aproximadament 5° de dorsiflexió.

En el moment que el taló es desenganxa del terra.

L'articulació del turmell està aproximadament a 15° de dorsiflexió.

En l'interval d'elevació del taló i l'enlairament del peu.

El turmell es mou ràpidament 35°, de manera que a l'enlairar el peu de terra l'articulació està aproximadament a 20° de flexió plantar.

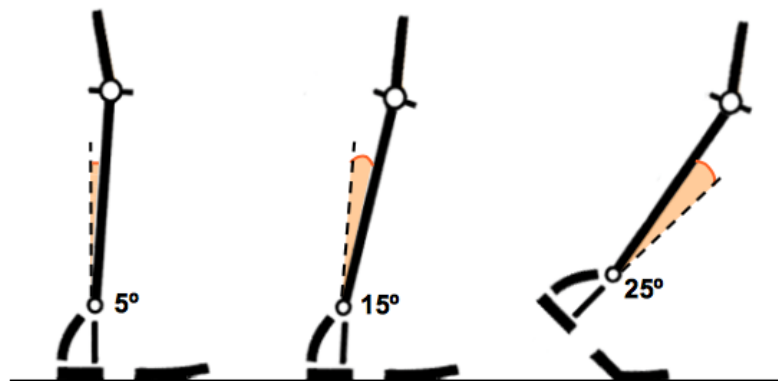


Figura 3.7 – Estudi cinemàtic del turmell en l'interval II de la marxa.

EL GENOLL

En el suport mitjà.	El genoll té aproximadament un angle de 10° de flexió i continua estenent-se.
Immediatament abans que el taló perdi contacte amb el terra.	El genoll està a 4t de l'extensió completa.
Entre l'enlairament del taló i el dels dits.	L'articulació del genoll es mou d'una extensió gairebé completa a 40° de flexió.

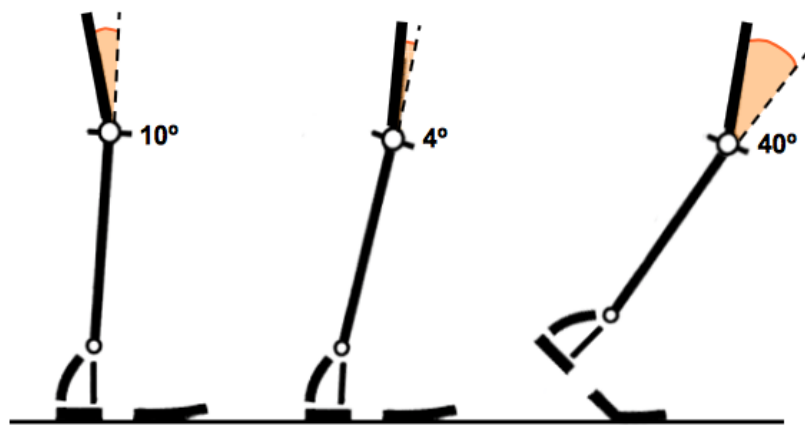


Figura 3.8 – Estudi cinemàtic del genoll en l'interval II de la marxa.

EL MALUC

En el suport mitjà.	L'articulació del maluc es troba en posició neutra, és a dir: 0° , i comença a moure's cap a l'extensió.
Immediatament després de l'enlairament del taló.	El maluc arriba a un màxim d'hiperextensió de 20° .
En el moment d'enlairament dels dits del sòl.	El maluc és a prop d'una posició neutra i es mou en direcció de la flexió.

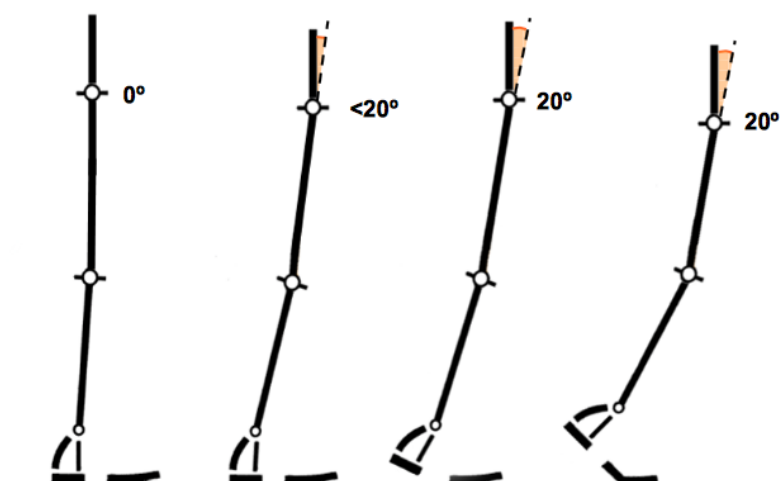


Figura 3.9 – Estudi cinemàtic de la cintura en l'interval II de la marxa.

Tercer interval

Descriu el moviment de les articulacions en el pla sagital en l'etapa de balanceig.

EL TURMELL

Durant l'etapa de balanceig.

El peu es mou de la seva posició inicial de flexió plantar al desprendre del sòl a una posició essencialment neutra (0°) que es manté durant tota l'etapa de balanceig.

EL GENOLL

Entre l'enlairament del peu i la part mitjana de l'etapa de balanceig .

El genoll es flexiona d'una posició inicial d'aproximadament 40° a un angle de màxima flexió d'aproximadament 65° .

Entre la part mitjana de l'etapa de balanceig i el contacte del taló.

El genoll s'estén gairebé completament fins a l'últim moment de l'etapa de balanceig.

EL MALUC

Durant l'etapa de balanceig.

Partint d'una posició neutral, l'articulació del maluc es flexiona aproximadament 30° i es manté en aquesta posició.

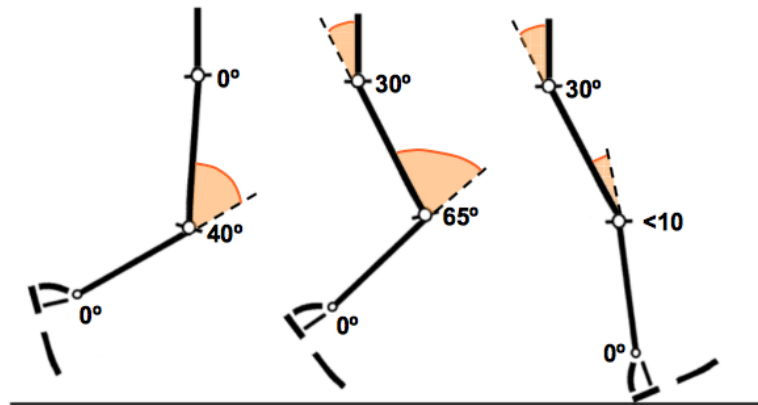


Figura 3.10 – Estudi cinemàtic de les articulacions en l'interval II de la marxa.

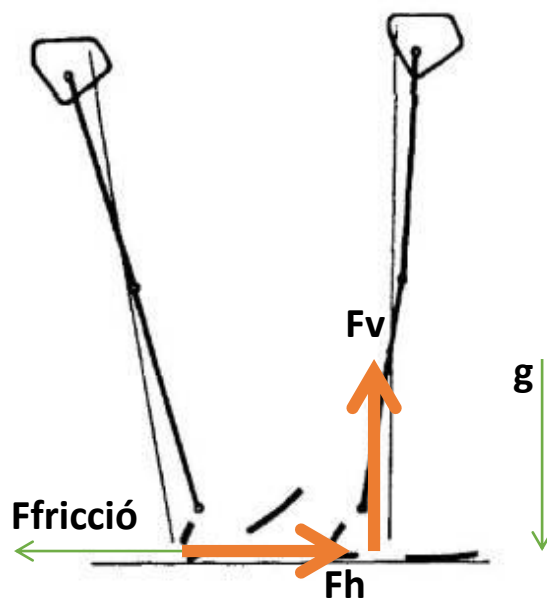
Anàlisi Cinètic de la marxa humana

L'anàlisi cinètic de la marxa humana estudia les forces que intervenen en la mateixa.

En la provisió de l'energia necessària per a la marxa és molt important l'acció de la gravetat, col·laborant en la transferència entre energia potencial i cinètica. El cos humà durant la marxa utilitza al màxim la força de gravetat i de reacció, la inèrcia i la mínima força del múscul. Aquestes són, juntament amb la fricció o fregament, les principals forces que influeixen en la marxa.

La força de gravetat: La marxa es caracteritza per la translació del centre de gravetat del cos cap endavant, arribant momentàniament més enllà de la vora anterior de la base de sustentació, la qual cosa origina una pèrdua transitòria de l'equilibri i l'acció de la gravetat tendeix a fer caure el cos cap endavant i avall, incrementant la velocitat i transformant l'energia potencial en cinètica, en aquest punt el peu que oscil·lava se situa a terra, recuperant l'equilibri, en oferir una base de sustentació molt més àmplia i evitant, així, la caiguda del cos.

La força de reacció que fa el terra sobre l'individu, a través dels peus i que és de la mateixa magnitud que l'impuls cap avall del peu durant la marxa, però en sentit contrari. En el moment del xoc del taló produïm una força de frenada, mentre que en el moment de l'enlairament es produeix una força d'empenta cap endavant. En l'impuls i en la frenada la direcció de la força de reacció és diagonal i pot estar expressada en dos components. El component vertical (F_v) serveix per contrarestar la tensió cap avall de la força de gravetat (g), mentre que el component horitzontal (F_h) serveix per al xoc de taló, per frenar el moviment cap endavant i en l'enlairament de l'avantpeu per generar la propulsió.



Si a la superfície de suport li falta solidesa com en el cas del fang, neu humida i sorra, aquella ofereix una resistència molt petita de contrapressió, que porta com a conseqüència un enfonsament o lliscament, que augmenta la despesa energètica i disminueix l'eficàcia de la marxa.

La marxa requereix a més una fricció adequada entre el peu i el pis per no relliscar. La força de fricció o de fregament dependrà del tipus de materials en contacte i de les forces que exerceixen pressions entre ells. Perquè la marxa sigui eficaç, la fricció ha de ser suficient per equilibrar el component horitzontal de les forces d'impuls i de frenada. Si és insuficient, el peu lliscarà. Aquest fet es comprova en observar a un individu quan camina sobre gel o en un sòl encerat, en què la fricció és mínima i ha de reduir la longitud del pas, per disminuir la component horitzontal i evitar així relliscar.

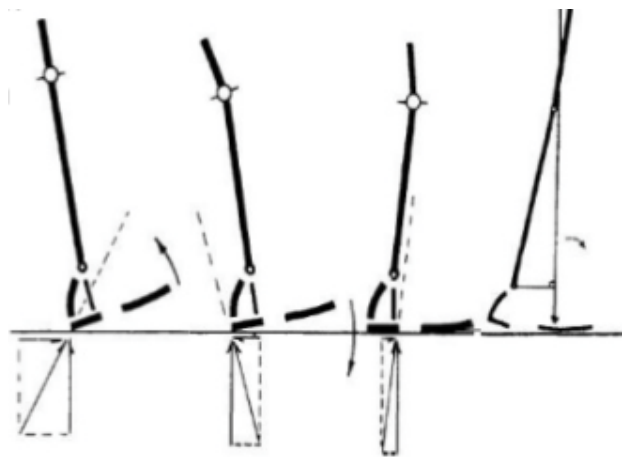
La inèrcia, entesa com la incapacitat del cos o dels seus segments per canviar el seu estat de repòs o de moviment sense la intervenció d'alguna força, ha de ser vençuda en cada pas i com més gran sigui el pes del cos més gran serà la inèrcia que s'ha de vèncer.

Pel que fa al coneixement de les diferents forces musculars que actuen en la marxa, la seva valoració és un problema extremadament complex i més encara quan es consideren els aspectes fisiològics i mecànics. El moment de força d'un múscul depèn de la longitud efectiva del braç de palanca amb el qual actua, de la seva secció transversal fisiològica, de la velocitat de contracció i de la longitud prèvia del mateix, sent màxima quan el múscul està elongat (aproximadament al 120% de la seva longitud en repòs). La major demanda muscular de la marxa passa, precisament, en l'instant en què el múscul presenta una major longitud.

EL TURMELL

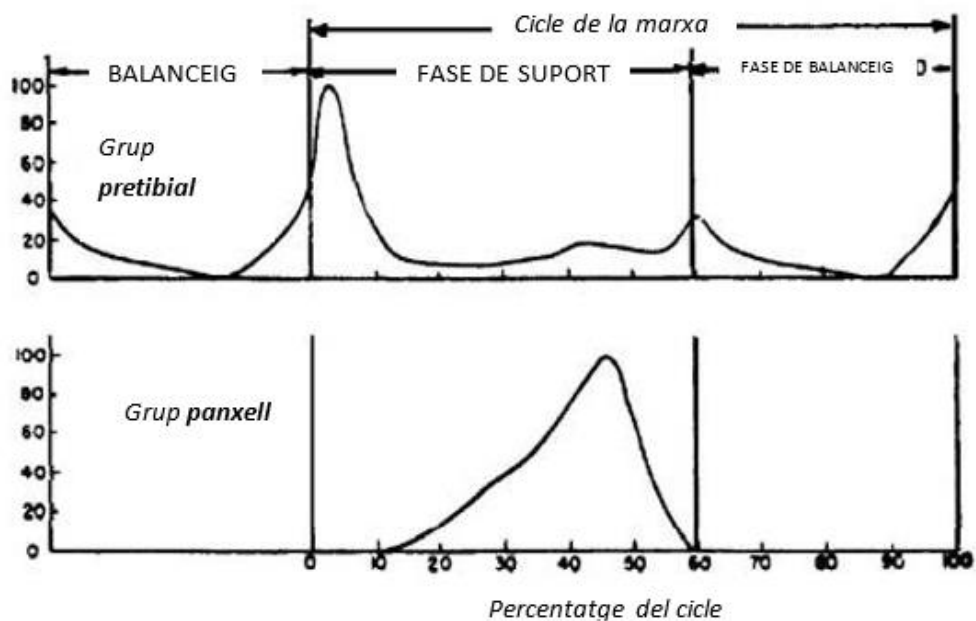
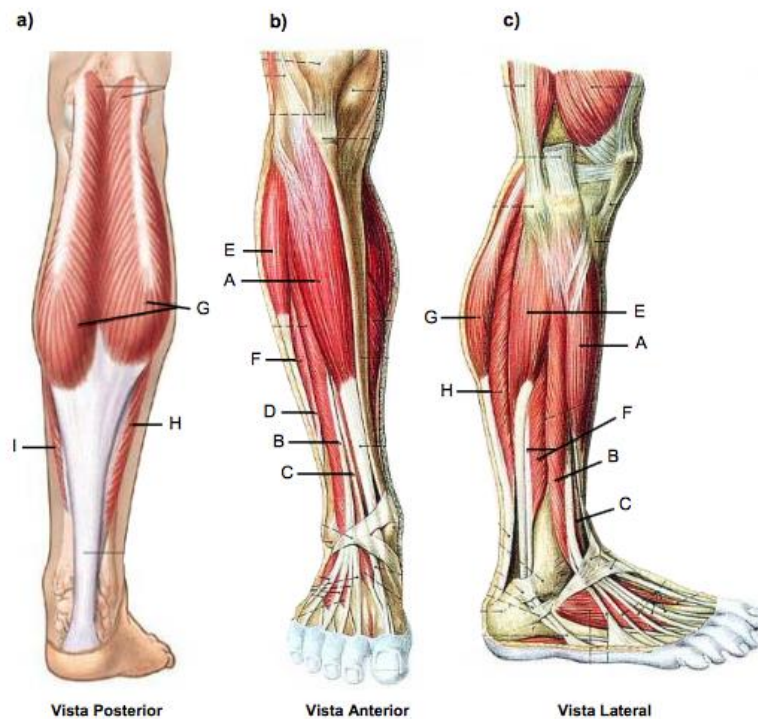
Forces externes

1. Força resultant de la reacció del sòl davant del turmell.
2. A l'augmentar el pes del cos en la cama, la resultant passa per darrere.
3. La rotació anterior de la cama desplaçat cap endavant el centre de gravetat (CDG) a mesura que el taló s'eleva.
4. Posició neutra del CDG.



Forces internes

1. Activació dels tres dorsiflexors primaris del turmell.
2. Contracció excèntrica del grup pretibial (imatge detalladament explicada en l'apartat d'anatomia).
3. Després de posar el peu pla al terra, s'activen els músculs de la cuixa.
4. Després de l'enlairament s'inactiven.



EL GENOLL

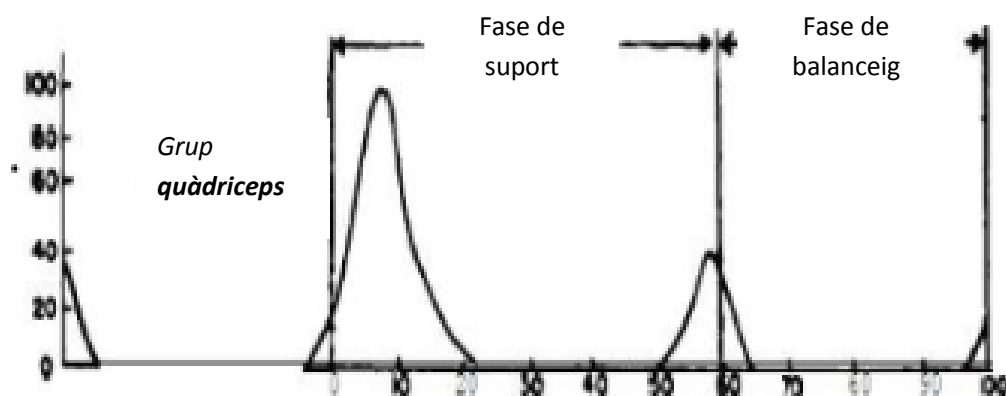
Forces externes

1. La resultant de les forces verticals passa per darrere.
2. A la vegada que el cos es mou cap endavant la força també ho fa.
3. Després de l'enlairament la resultant retorna a la part posterior.
4. Durant l'enlairament, el CDG es desplaça davant del turmell, fins assolir el suport doble.



Forces internes

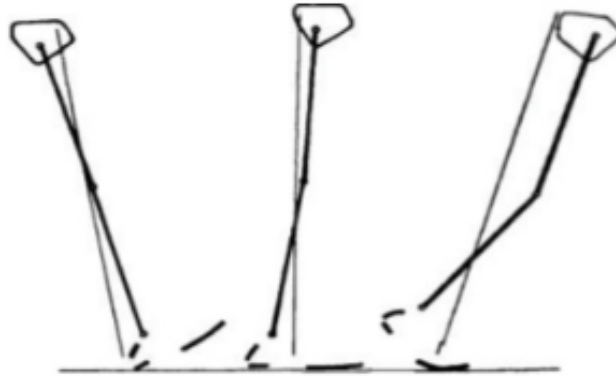
1. Allargament del quàdriceps per contracció excèntrica o muscular, que es produeix quan una resistència donada és major que la tensió exercida per un múscul determinat.
2. Amb el peu pla al terra, en la fase de suport de l'esquema que veurem a continuació, el quàdriceps s'escurça (contracció concèntrica) on el percentatge de treball del grup quàdriceps arriba al 100% durant aquesta fase.
3. Durant l'enlairament del membre oposat, el gastrocnemi evita la seva hiperextensió i el treball del grup quàdriceps, per tant, és d'un 0%.
4. Quàdriceps controla la flexió.
5. Isquiotibials desacceleren el balanceig anterior.



EL MALUC

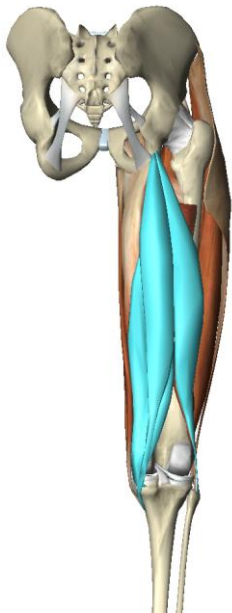
Forces externes

1. En el contacte del taló, les forces externes flexionen el maluc.
2. La reacció del terra es trasllada a la part posterior del maluc.
3. A la fase del doble recolzament el pes del cos es trasllada a l'extremitat oposada, i posteriorment la flexió disminueix ràpidament.

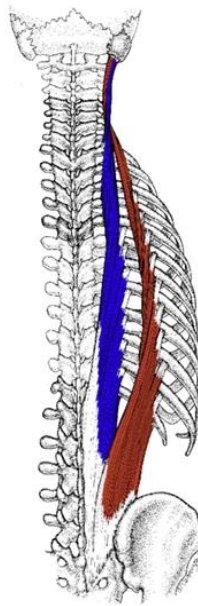


Forces internes

1. El gluti major i l'isquiotibials resisteixen la seva flexió. Els erectors de la columna suposen a la flexió anterior del tronc.



Isquiotibials



Erectors

2. Psoas-ilíaco i adductor llarg resisteixen la seva hiperextensió, flexionant-la a la vegada.
3. Isquiotibials regulen el seu moviment anterior.

Estudi real de la marxa humana

La Universitat Politècnica de Barcelona ens va proporcionar ajuda en la biomecànica que necessitàvem per la base d'aquest treball de recerca. Al principi, pensàvem que la biomecànica ens era útil simplement per conèixer el funcionament de les articulacions i moviments del nostre cos (en el nostre cas, de cintura cap avall: maluc, cames i peus) i per estar informades del que volíem arribar a fer més tard, però no només ens va proporcionar una idea general, la biomecànica va ser fonamental ja que un cop als laboratoris de la universitat, vam descobrir que allà havíem d'obtenir una gran base per poder fer possible la construcció del robot i el funcionament d'aquest. És a dir, no només necessitàvem informació teòrica per conèixer les nostres cames, sinó que necessitàvem dades posades en pràctica: un estudi real de l'acció de caminar humana.

_____, el director del laboratori de biomecànica de la Universitat Politècnica de Barcelona, juntament amb la seva companya, _____, ens van ajudar a endinsar-nos en aquest món i a anar coneixent tot el que ens era essencial per continuar endavant amb el projecte.

A l'inici alhora de buscar universitats o empreses col·laboradores, l'única que ens va proporcionar ajuda va ser la Universitat Politècnica de Barcelona, que ens varen concedir una entrevista per parlar sobre el projecte amb aprofundiment. Així va ser, vam anar a la Universitat i allà, a la primera reunió, vam proporcionar-los plànols i la idea inicial que teníem; aconseguir que un robot constituït per dues cames, mitjançant la pneumàtica, caminés. Al principi, en _____ ho va veure difícil degut a que mai s'havia creat cap robot basat en la pneumàtica amb aquest tipus de finalitat, però aquesta era una idea que nosaltres havíem de desenvolupar més endavant, així que ell s va centrar en la seva feina i va aconsellar-nos en el que ell era professional: la biomecànica de la marxa humana.

Primerament, vam agafar llibres de la seva biblioteca sobre l'anatomia de la cama humana, la biomecànica de l'acció de caminar i fonaments bàsics que necessitàvem. D'allà, vam extreure la informació necessària per tal de tenir una bona base i entendre aquesta acció que sembla tan senzilla, caminar. Aquests coneixements els hem emmagatzemat a la part teoria del treball titulada "Biomecànica de la marxa humana".

Una vegada feta la recerca essencial, no era suficient tenir un coneixement teòric; necessitàvem una base pràctica, dades reals. I aquest va ser el pas següent, l'ús del laboratori de biomecànica de la Universitat Politècnica de Barcelona.

El grup d'Enginyeria Biomecànica (BIOMEC) és un grup de recerca de la Universitat Politècnica de Catalunya i del Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB). Aquest centra la seva recerca en el desenvolupament de mètodes teòrics, numèrics i experimentals per a l'anàlisi i simulació del moviment humà, i per al disseny de dispositius robòtics d'assistència i rehabilitació. Les línies de recerca del grup són les següents:

- Captura i anàlisi cinemàtica del moviment humà. Anàlisi de la marxa de persones sanes i de la marxa patològica.
- Desenvolupament de models multisòlid per a l'anàlisi dinàmica del moviment i l'estudi del repartiment muscular.
- Disseny mecànic i simulació de dispositius robòtics d'assistència i rehabilitació del moviment.
- Desenvolupament de models biomecànics per a la predicció de forces musculars i de contacte a l'articulació mitjançant tècniques de mesura no invasives.
- Aplicació de l'anàlisi del moviment a la indústria del calçat i a l'esport.

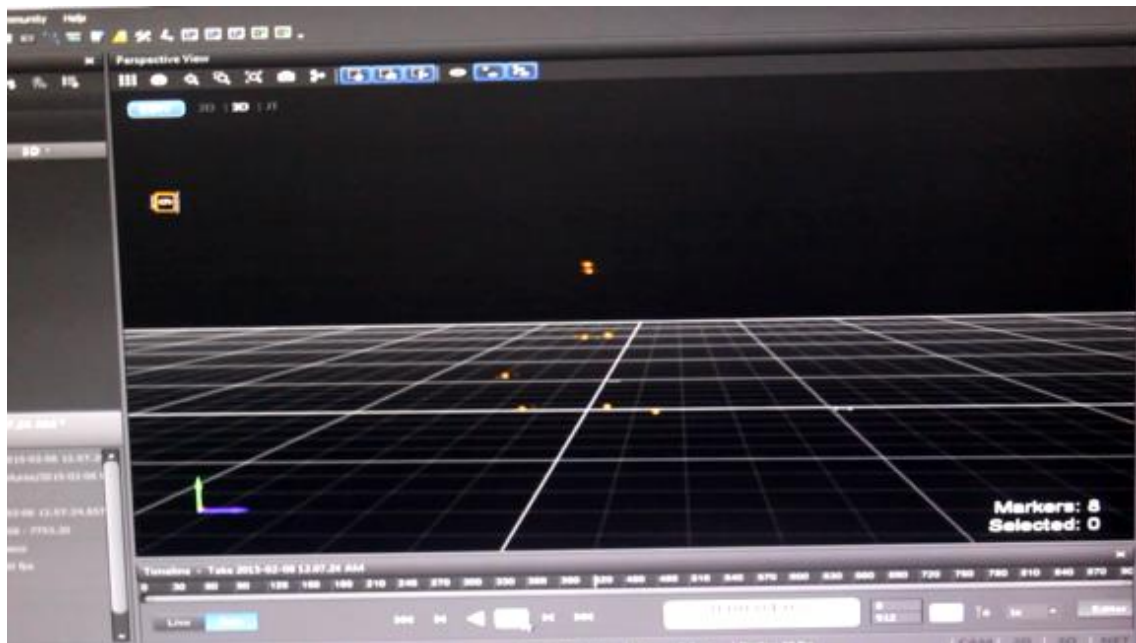
Els coneixements adquirits al laboratori de biomecànica els vam aprofundir gràcies a que ens van convidar a una visita organitzada per a una escola on ____ (nom) ____ ens va explicar el funcionament de diferents programes que utilitzaven, les parts del laboratori i el que feien. Ens va deixar provar els sensors i els programes, material del qual disposareu al CD.



Sensors implantats per a capturar el moviment



Captura mitjançant sensors del moviment de les cames quan caminem



Representació gràfica del moviment de caminar.

Una vegada realitzat tot aquest procediment d'aprenentatge amb ajuda de professionals, vam ser capaces de seguir el procés après i obtenir les nostres dades reals utilitzant les eines que ens varen proporcionar al laboratori, com els sensors i els programes informàtics. I gràcies a la possibilitat de fer aquest estudi al mateix temps que assistíem a un curs de pneumàtica, vam poder aclarir les nostres idees i tenir més ganes i esperança d'innovar, de fer possible el fet d'introduir i fusionar el món de la pneumàtica a una funció humana.

PNEUMÀTICA

Introducció

La pneumàtica és la tecnologia que fa funcionar mecanismes utilitzant com a font de transmissió d'energia l'aire comprimit. Per a explicar el funcionament d'aquesta tecnologia, hem de conèixer els diferents elements que formarien part d'un circuit elèctric. Podem diferenciar en cinc grans grups: Els generadors, els distribuïdors, els elements de manteniment, els elements de control i els actuadors.

En línies generals, un circuit pneumàtic simple funciona de tal forma en que un compressor alimenta el circuit amb aire comprimit, aquest aire es canalitza a les vàlvules, i aquestes distribueixen l'aire als actuadors, en el nostre cas als cilindres i a les ventoses.

Generadors

Per a generar l'aire comprimit es fan servir els compressors. Un compressor és un màquina de flux que augmenta la pressió i desplaça fluxos com els gasos i els vapors. Per a fer-ho, es realitza un intercanvi d'energia entre la màquina i el flux, en el qual el treball exercit per la màquina es transferit a la substància que s'està comprimint. Gràcies a aquest procés s'augmenta la pressió i l'energia cinètica per a impulsar-la a fluir.

Els compressors són considerades màquines tèrmiques ja que el seu flux és compressible, per tant pateix un canvi de densitat i també de temperatura. Per tant, durant la compressió de l'aire: la pressió de l'aire augmenta, el volum es redueix, però la temperatura d'aquest augmenta. Trobem diversos factors que s'han de controlar ja que aquests poden alterar el procés de compressió:

- Temperatura: És necessiten sistemes de refrigeració ja que es poden arribar a temperatures elevades.
- Humitat relativa: Podria condensar l'aigua, i l'aigua podria perjudicar el gas comprimit.
- El gas que es comprimeixi podria reaccionar amb l'oli utilitzat al procés.
- Pressió: S'han de controlar la diferència de pressió d'entrada i de sortida.

És per això que és necessari tenir una unitat de manteniment que reguli les característiques de l'aire comprimit quan surt del compressor.

Unitat de manteniment

Els circuits pneumàtics consten d'una unitat de manteniment. Aquest element té la funció de donar certes característiques a l'aire comprimit que es farà servir per posar en marxa el circuit. Aquesta unitat de manteniment té tres elements principals

- Filtre: Aquest element les partícules de pols, les impureses i elimina la humitat que presenta l'aire comprimit.
- Regulador de temperatura: L'aire comprimit surt amb una temperatura molt elevada del compressor, és per això que és necessari reduir-la.
- Lubricador: El lubricador afegeix oli a l'aire comprimit, per a que els mecanismes es moguin més fàcilment.
- Regulador de pressió: El regulador de pressió té la funció de regular la pressió de l'aire quan arriba al circuit.

La unitat de manteniment que hem fet servir per a regular l'aire del nostre projecte té les característiques que podem apreciar a la imatge. La pressió en la que surt l'aire comprimit d'aquesta unitat de manteniment és d'entre 0 i 16 bars. Com hem explicat anteriorment, també regular la temperatura a la qual surt l'aire, en aquest cas, la temperatura màxima és de 60°C. En el recorregut de la unitat de manteniment també es filtre l'aire i se li aplica "ISO VG 32": el nom de l'oli que s'utilitza per lubricar l'aire comprimit.



Actuadors

Els actuadors pneumàtics són els components finals que apareixen en un circuit. Poden ser tant cilindres que actuen de forma lineal com actuadors rotatius. Els actuadors reben l'aire comprimit generat als compressors, transportats pels tubs i distribuïts per les vàlvules. Gràcies a aquest aire s'aconsegueix produir moviment als actuadors.

Els actuadors pneumàtics es poden dividir en: Actuadors lineals i actuadors rotatius.

Actuadors lineals: Cilindres pneumàtics

Els cilindres pneumàtics són els actuadors principals en els circuits, aquests produeixen moviment mitjançant l'acció d'un pistó col·locat dintre d'un cilindre a pressió. Tot hi que existeixen moltes varietats de cilindres, tots estan formats per quatre parts principals: L'entrada o sortida d'aire, la tija, l'èmbol i el cilindre. Per a entendre el funcionament dels cilindres pneumàtics hem de saber que aquests poden estar en dos posicions:



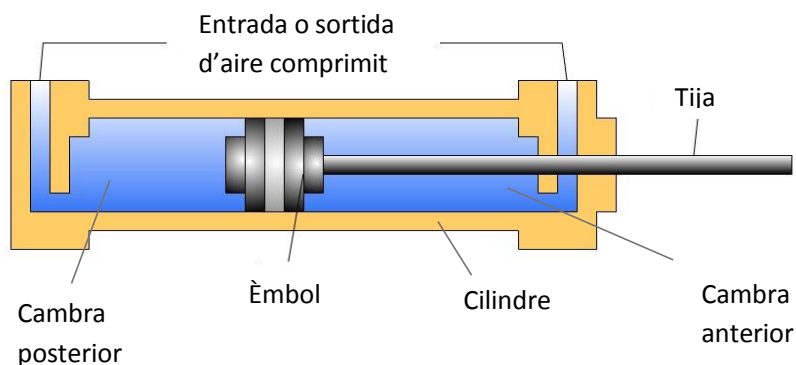
Cilindre en posició de retrocés

Cilindre en posició d'avanç

Existeixen principalment dos tipus de cilindres pneumàtics: Els cilindres de simple efecte que tenen una entrada de pressió i un retrocés per molla i els cilindres de doble efecte, els quals hem utilitzat en el nostre projecte:

Cilindre de doble efecte

Els cilindres de doble efecte es caracteritzen per el treball que realitza l'aire comprimit, aquest ho fa en ambdós sentits. El cilindre realitza la cursa d'avanç en aplicar l'aire comprimit a la cambra posterior per avançar i per a retrocedir ho fa a la cambra anterior.

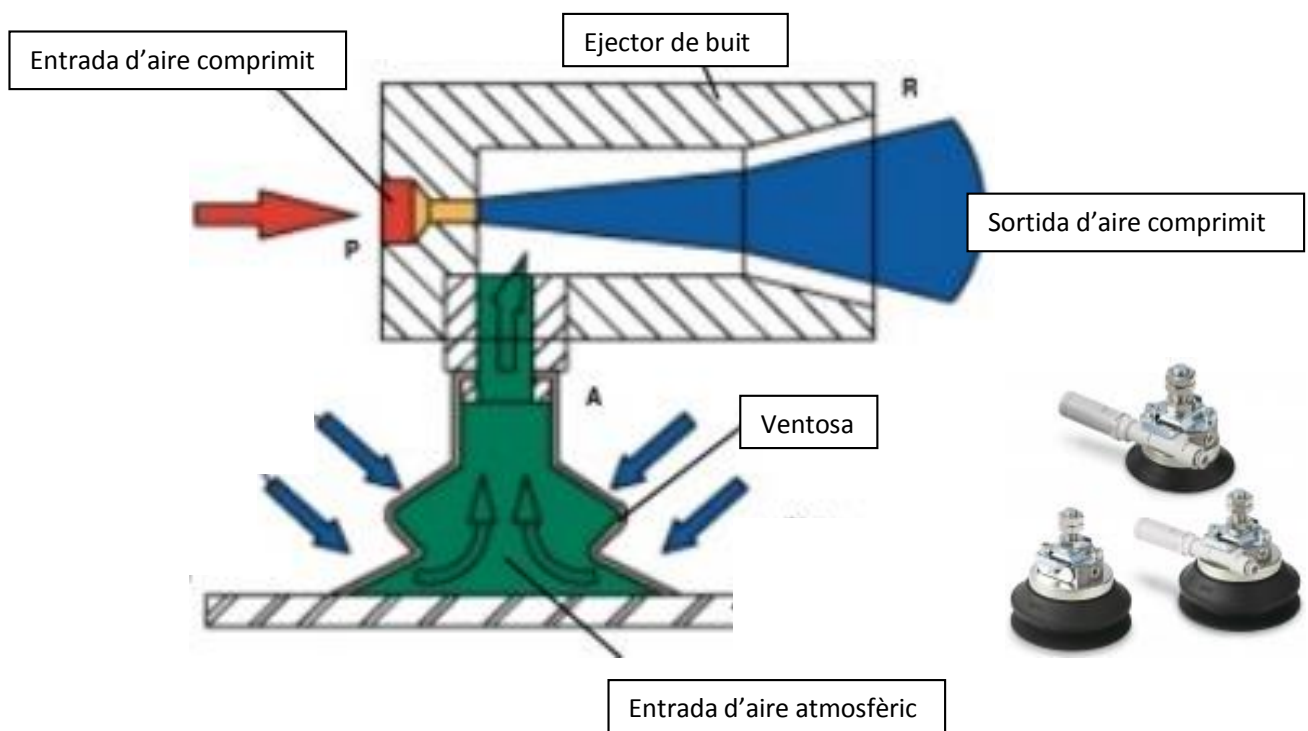


Ventoses pneumàtiques

Les ventoses pneumàtiques són actuadors que funcionen mitjançant el buit. Aquestes actuen a partir d'un ejector de buit que fa que aquestes es mantinguin fixes a una superfície plana.

Els ejectors de buit funcionen de la següent manera:

Els ejectors de buit funcionen gràcies a una derivació de l'anomenat efecte Venturi. Aquesta tècnica consisteix a fer passar l'aire comprimit per l'ejector a gran velocitat creant el buit en un orifici perpendicular a la direcció de l'aire comprimit. En aquest orifici es connecta la ventosa. Un cop el buit està format l'aire de l'atmosfera que en aquest moment té una major pressió entra per la ventosa fins arribar a l'orifici on s'ha creat el buit. D'aquesta manera l'aire atmosfèric va en direcció perpendicular a la superfície i pel que fa al sentit aquest va des de la ventosa fins a l'ejector que finalment l'expulsa junt amb l'aire comprimit. Gràcies al sentit de l'aire atmosfèric la ventosa es manté succionada a qualsevol superfície llisa.

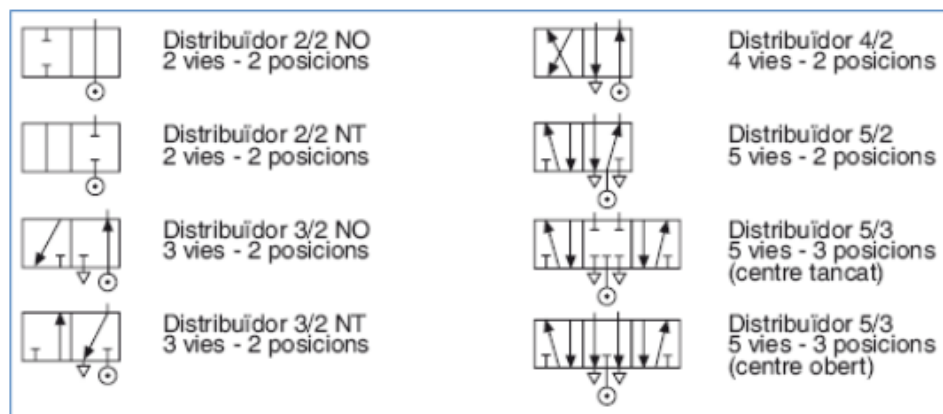


Vàlvules

Les vàlvules pneumàtiques serveixen per a comandar, regular i controlar la pressió, el cabal i el sentit de circulació de l'aire comprimit per aconseguir el moviment i el correcte funcionament dels actuadors. Els elements controladors més usats freqüentment són les vàlvules distribuïdores, les vàlvules de control i regulació i els captadors de senyal.

Vàlvules distribuïdores

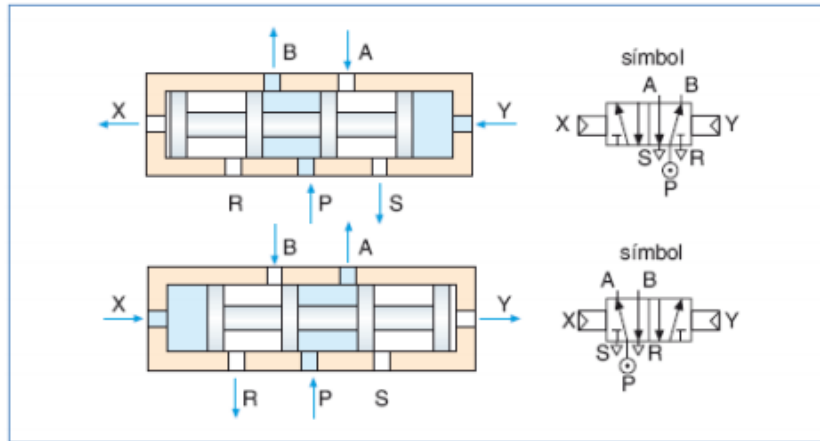
Les vàlvules distribuïdores controlen l'arrencada, l'aturada i el sentit de l'aire comprimit. La funció de les vàlvules distribuïdores en un circuit d'automatització pneumàtic és governar, d'acord amb les ordres o senyals rebudes, les connexions entre els conductes a elles connectats per obtenir els corresponents senyals de sortida que accionin els actuadors.



Tot hi haver un gran ventall de vàlvules distribuïdores vam utilitzar les vàlvules 5/2:

Vàlvula distribuïdora 5/2

Per a pilotar un cilindre pneumàtic de doble efecte o per accionar vàlvules de major mida s'utilitza a la pràctica una vàlvula distribuïdora de cinc vies: un orifici per a l'entrada, dues sortides i dos escapaments. Normalment, els cilindres de doble efecte es comanden amb vàlvules 4/2 i 5/2, encara que existeixen versions de vàlvules 5/3, les quals permeten deixar immobilitzat o bloquejat el cilindre en la posició central.



PROTOTIPS DEL ROBOT

Durant el procés de disseny del robot vam variar l'estructura d'aquest. És per això que vam dur a terme diferents dissenys dels prototips. D'aquests prototips es farà referència durant el disseny, la construcció i la seqüència programada.

PROTOTIP 1: És el nostre disseny en ment inicial: dues cames articulades pel genoll (1 cilindre fent de fèmur i 1 cilindre fent de tíbia ; per cada cama) i 1 altre cilindre més petit per a cada peu amb la funció de moure els dits.

PROTOTIP 2: Després de la visita a la UPC i demanar consell ens va explicar que la cintura seria necessària per a fer-lo caminar (explicat a l'anatomia humana) i vam haver de fer un altre canvi en el prototip 1. En aquest prototip vam afegir el maluc perquè el robot fos capaç de caminar.

PROTOTIP 3: ídem prototip 2 però definitivament eliminant els cilindres dels peus, ja que aquests no duen una funció important a l'hora de caminar. Això va implicar fer un canvi en la seqüència.

PROTOTIP 4: ídem prototip 3 però amb els peus definits. Després d'analitzar com podíem aconseguir l'equilibri per al robot vam decidir realitzar els peus amb rodets a la part inferior per fer més lleuger el caminar amb dues ventoses pneumàtiques per aconseguir l'equilibri i també per ajudar en l'avanç del robot.

DESCRIPCIÓ DEL MATERIAL UTILITZAT

Elecció dels cilindres

Un cop vam conèixer tots els tipus d'electrovàlvules i cilindres, vam haver d'escollir els adequats per a dur a terme el nostre robot. Com que el projecte que volíem realitzar era de gran precisió, vam decidir utilitzar cilindres de doble efecte, ja que, aquests ens permetien regular la força i velocitat d'avanç i retrocés. Per a poder controlar aquest tipus de cilindres vam optar per fer servir electrovàlvules 5/2 biestables. L'escola ens va oferir el material del que ja disposaven. Entre tota una varietat de longituds de cilindres que disposaven vam seleccionar prèviament les mesures que estaven repetides com a mínim dues vegades, ja que, necessitàvem dos cilindres de cada per a poder construir ambdues comes i aquests no podíem ser de diferent mida perquè sinó influïrien en l'equilibri del robot. Per a realitzar la selecció vam elaborar una taula amb les mesures corresponents de cada cilindre:

	CILINDRE 1	CILINDRE 2	CILINDRE 3	CILINDRE 4	CILINDRE 5	CILINDRE 6
LLARGÀRIA TOTAL (cm)	34,5	31	24,3	27	27	31
DIAMETRE TIJA (cm)	2,5	2,5	3	2,5	3,5	2,5
DIAMETRE ÈMBOL (cm)	6,5	5,5	5,5	6	6	5,5
LLARGÀRIA TIJA (cm)	13,5	12	9,5	10	10	12



Finalment, ens vam decidir per el cilindres 2,4,5 i 6:



4



2



5



6

Elecció de les vàlvules distribuïdores de cabal

Per a escollir les vàlvules per utilitzar en el robot vam fer una llista de totes les vàlvules que l'escola disposava. Com que el nostre robot està programat amb Arduino havíem d'utilitzar electrovàlvules. Les més adients per als cilindres de doble efecte són les electrovàlvules 5/2 biestables, i com que en aquest moment el prototip que teníem pressent era el PROTOTIP 4 (Explicat al apartat prototips del robot), només en necessitàvem 4, el nombre exacte de les que disposava l'escola.

Posteriorment, quan vam variar el prototip ens vam adonar que necessitàvem 4 electrovàlvules més. Com que no disposàvem més de les utilitzades per als 4 primers cilindres vam decidir utilitzar 3/2 monoestables, que fessin una funció adequada també pel nostre projecte.



Electrovàlvula 5/2 biestable



Electrovàlvula 3/2 monoestable

Les vàlvules biestables són aquelles que necessiten una senyal per a canviar a les dues posicions possibles de l'electrovàlvula. En canvi, les monoestables només en necessiten una ja que la segona posició és produeix mitjançant una molla, per tant, quan l'electrovàlvula no rep cap senyal aquesta torna a la seva posició inicial per si sola.

Descripció del elements utilitzats al circuit pneumàtic

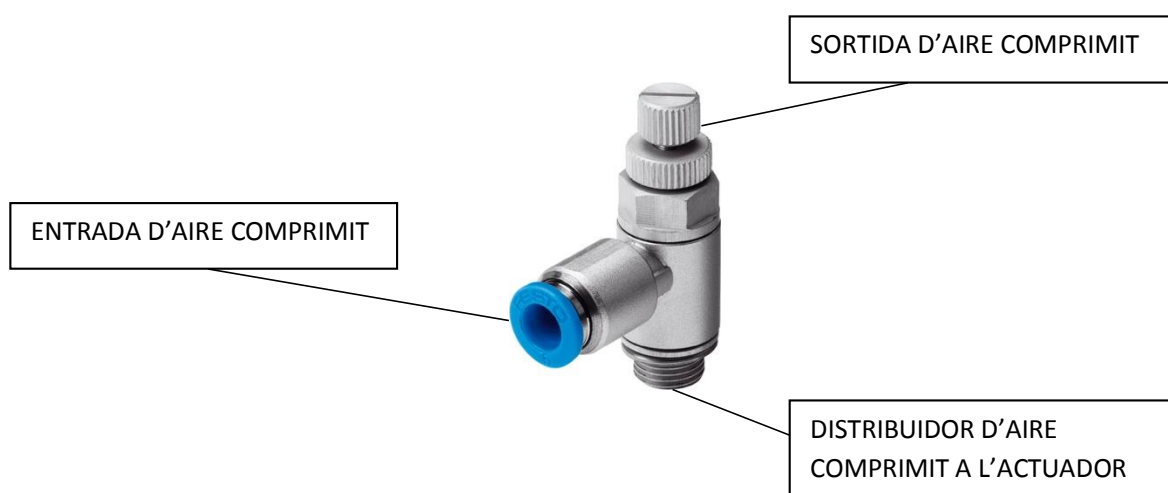
Els circuits pneumàtics a part dels actuadors, generadors i distribuïdors també consten d'altres elements necessaris per a poder dur-lo a terme:

Vàlvules de caudal

Aquest tipus de vàlvules regulen el caudal de l'aire comprimit que arriba als actuadors. La seva finalitat, en el nostre cas, consisteix a regular la velocitat dels cilindres per a què aquesta sigui òptima pel moviment que ha de realitzar cadascun.

El caudal que aquestes vàlvules deixen passar es regula mitjançant una rosca que deixa escapar més o menys aire a l'exterior.

Per controlar la velocitat d'avanç i retrocés dels cilindres pneumàtics vam col·locar dues vàlvules de caudal per a cada cilindres (una a l'entrada i una a la sortida d'aire comprimit).



Ràcords

Els ràcords uneixen el tub que transporta l'aire comprimit als cilindres, funciona d'una manera molt semblant a les vàlvules de caudal, però aquests no tenen la capacitat de regular l'aire que arriba als cilindres.



Canonada distribuïdora d'aire

El tub distribueix l'aire comprimit per tot el circuit, aquest és de plàstic i té un diàmetre de 6mm. Per a les connexions de les ventoses i els ejectors de buit vam haver d'utilitzar tubs de 8mm de diàmetre.



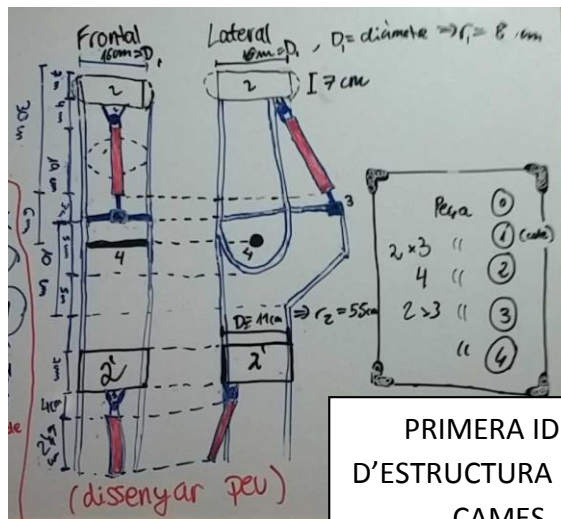
Unions T

Les unions "T" tenen la funció de facilitar la connexió entre les canonades distribuïdores d'aire comprimit.



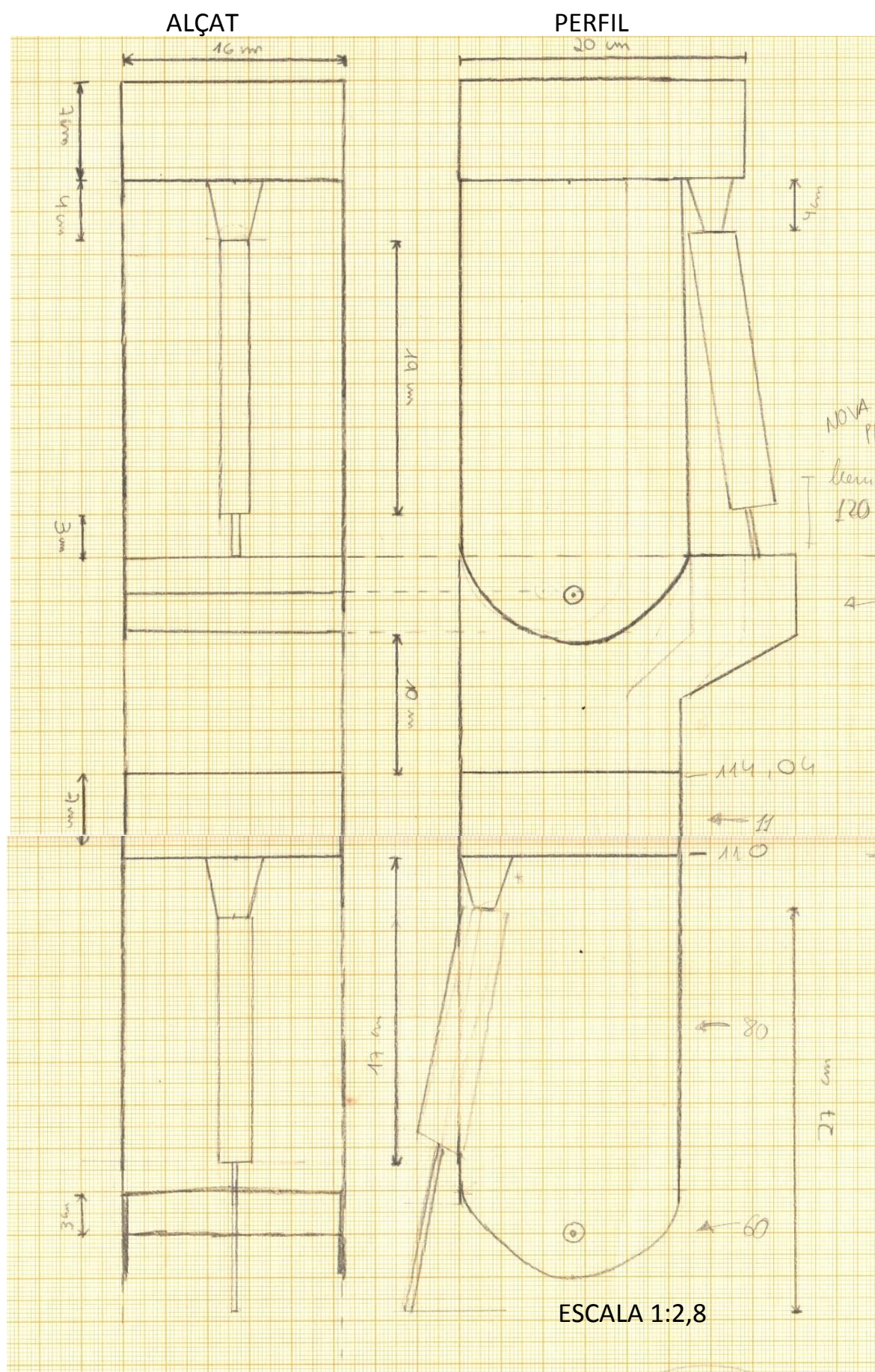
DISSENY DEL ROBOT

Una vegada elegits els cilindres, ja podíem començar a dissenyar les comes del primer prototip (Prototip 1), és a dir, de la primera imatge mental que teníem de l'estructura abans de començar el muntatge; el nostre primer objectiu. En aquest primer disseny només vam pensar en el moviment dels genolls i dels peus. Les mides d'aquest eren aproximatives, ja que encara no havíem decidit com construiríem les peces.



PRIMERA IDEA
D'ESTRUCTURA DE LES
CAMES

Com que volíem que les comes s'assemblessin el més possible a la mida d'unes reals, vam escollir cilindres de les mides descrites en l'apartat elecció dels cilindres del treball. Cal esmentar que aquests cilindres no són canviats en les diferents modificacions del disseny del robot. Podem dir que l'estructura correspon a una mitjana de les mides del fèmur i tibia o peroné humans d'una estatura de nen al voltant dels 10 anys; una estructura ni massa baixa ni massa alta; semblant a mides reals humanes. Per acabar d'ajustar les mides per tal que s'assemblessin al nostre objectiu, és a dir, aconseguir que fossin d'una mida el més semblant possible a les comes humanes, vam fer el nostre primer esbós.



En ell podem observar les vistes frontal i lateral de les cames. L'estructura està composta per peces senzilles que fan de suport dels cilindres i que els permeten l'articulació del genoll en l'avanç de la tija del cilindre de la part superior. També tenim quatre peces a cada cama que fan de recobriment del que representaria el fèmur i d'altra banda, la tibia i peroné. Les veurem posteriorment més detalladament al representar-les al programa de disseny.

Una vegada fet aquest esbós a mà, vam escollir el programa AutoCAD per a realitzar el disseny d'aquestes peces en dues dimensions (2D).

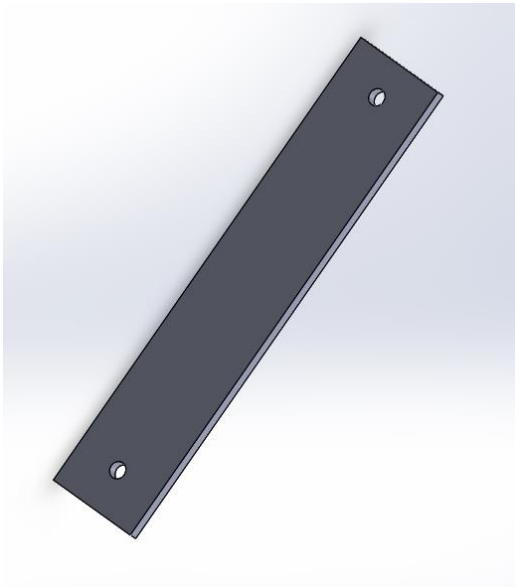
Les vuit peces de recobriment (descrites anteriorment) realitzades amb l'AutoCAD són exactament les mateixes que les dissenyades a mà en l'esbós anterior. I en quant a les peces que fan de suport dels cilindres i que es permeten l'articulació del genoll en l'avanç de la tija del cilindre, no va ser necessari dissenyar-les perquè podíem comprar-les, ja que no eren peces que requerissin una forma que haguéssim d'ajustar al nostre robot, sinó que es tracten de peces amb mides que les empreses ja posen a la venda.

Una vegada realitzades les peces de recobriment, vam pensar en la idea d'imprimir-les amb la impressora 3D. En el moment que comencéssim a construir el robot necessitaríem un programa per a dissenyar en 3D, per això vam haver d'escollir un programa més complert, ja que aquest no tenia la possibilitat de transformar les peces fetes en 2d a un model 3d, opció que vam trobar al programa SolidWorks, que també és un programa CAD per a modelat mecànic en 3D.

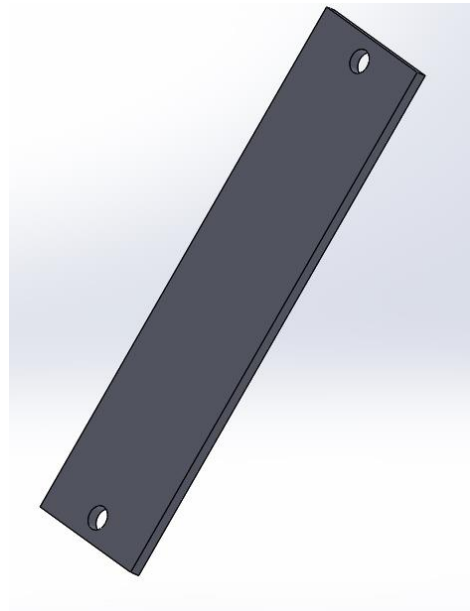
A més a més, vam decidir dissenyar l'estructura del robot sencera en el mateix dibuix per tal de veure com quedaria realment l'estructura en 3D. Això ho vam fer gràcies a la possibilitat de separar-les després i obtenir les dades de cada peça per separat.

Les peces que vam dissenyar van ser les següents:

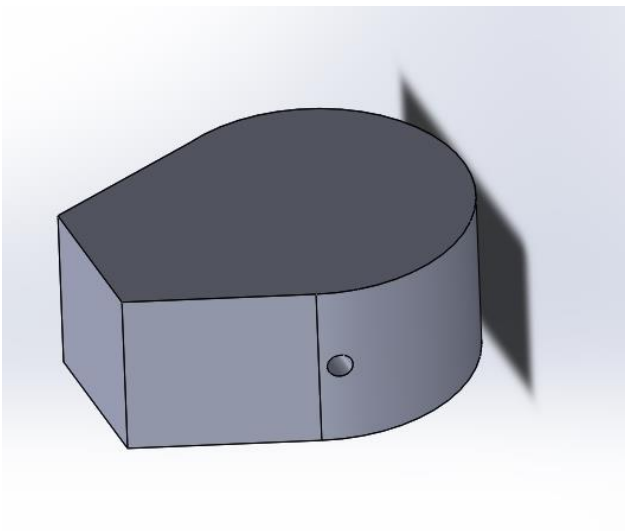
Els plànols amb les mides i les diferents vistes en 2D es troben a l'apartat de disseny dels annexos.



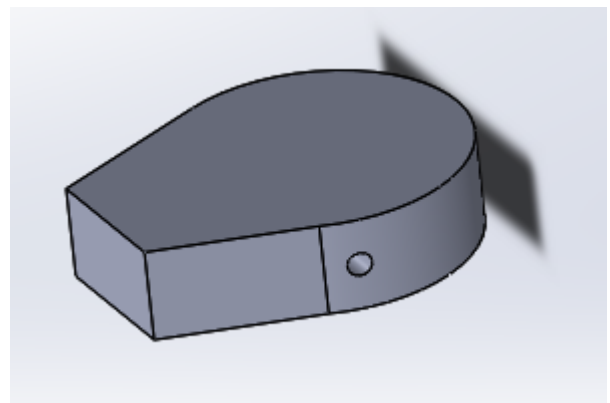
Peça lateral superior de la cama.



Peça lateral inferior de la cama.



Peça amb la funció de maluc



Peça amb la funció de genoll

Teníem pensat crear les peces per imprimir-les totes en 3D però vam tenir un problema amb les peces laterals les quals representarien el fèmur. Per tant, imprimir totes les peces no va ser possible, ja que la mida d'algunes peces que volíem imprimir superava els rangs màxims de les mides de la impressora. Una altra idea va ser dividir en dues parts les peces grans per tal de poder imprimir-les, però no va ser una bona opció perquè ens vam adonar que això ens suposaria un major problema: aquestes peces no aguantarien el pes i la pressió del robot al moure's faria que aquestes es trenquessin si estiguessin simplement enganxades pels extrems, per tant havia de ser una sola peça sòlida, no dues meitats enganxades.

Finalment, la solució va ser construir les peces de majors dimensions (les dimensions no assolibles amb la impressora 3D) amb fusta i, més endavant, dissenyar i imprimir recobriments més fins amb la impressora: fundes per a aquelles peces fetes amb fusta. Aquests recobriments han de ser de la mateixa mida que les peces grans les quals no va ser possible imprimir a causa de la necessitat d'ésser el més sòlides possibles, característica que no necessitàvem per a les fundes, ja que aquesta funció la feia la peça feta amb fusta i, per tant, va ser possible dividir les fundes de les peces grans en dues i després fixar-los a les peces corresponents. Per tant, la idea final va ser cobrir tota l'estructura d'una capa fina de PVC (policlorur de vinil), que és el material derivat del plàstic més versàtil, amb peces rectangulars com a funda de les peces fetes amb fusta.

Les peces fetes amb fusta van ser, en un principi (PROTOTIP 1), les peces que representen el fèmur, és a dir, dues per a cada cama. I les peces arrodonides que representen els genolls i el començament del fèmur, és a dir, les peces on el cilindre superior de cada cama estava subjectat pels seus extrems, i el cilindre inferior de cada cama roman subjectat per la culata superior.

Les peces de fusta que havíem de fer a mida les vam encarregar a una empresa anomenada “_____”, els quals ens vam proporcionar les peces amb fusta de densitat mitjana (DM) amb les mides i el pes adequat.

Un cop dissenyades amb SolidWorks, vam observar l'estructura final de les nostres cames en 3D i vam prosseguir amb les millores del disseny d'aquestes. Al principi vam pensar de fer un recobriment total de les cames:



Recobriment superior



Recobriment inferior

Però finalment vam optar per una part menys anatòmica i més tecnològica, ja que aquestes cames serien aplicables a robots i per tant vam pensar que seria més interessant deixar les cames cobertes solament pels costats per tal que es pogués observar el mecanisme emprat per al funcionament d'aquestes.

Com hem esmentat abans, vam fer un canvi de programa d'AutoCAD a SolidWorks perquè aquest últim ens proporcionava més facilitat de recrear les cames ensemblades i obtenir els plànols peça per peça, i amb visualització 2D i 3D, per després adaptar les peces al format de la impressora 3D. Però abans de ser impresos, necessitaven passar per dos programes més, aquests s'anomenen: Netfabb i l'Slicer.

El fet de passar les peces per tres programes diferents abans de ser impreses amb la impressora 3D ens suposava un problema perquè la peça no acabava d'imprimir-se correctament i tampoc com esperàvem, la impressora rebia errors i no era capaç de fer el procés d'imprimir les peces dissenyades amb SolidWorks. Per tant, ens vam veure obligades de fer un segon canvi de programa en el qual només necessitaríem un programa per fer el disseny en 3D, l'SketchUp, i per tal de tenir la possibilitat d'imprimir la peça dissenyada, només passar-la peça per un segon programa anomenat Cura i finalment cap a d'impressora.

IMPRESSIÓ 3D

Per a poder imprimir les peces, aquestes havien d'estar dissenyades de Sketch up i seguidament exportades en format STL. Un cop exportat aquest fitxer vam tenir dues possibilitats de cara a transforma la peça a el codi que la impressora és capaç de detectar (G-code.): Utilitzar només 1 programa anomenat CURA que realitzava els canvis següents:

- Corregir els errors
- Munta la impressió: Posició, mida, col·locar les peces a les coordenades adequades, canviar el gruix, entre d'altres.
- Crea el G-code

Per altra banda, també vam utilitzar dos programes per a dur a terme les funcions que el programa esmentat anteriorment pot realitzar. Primerament vam haver d'utilitzar el Netfabb per:

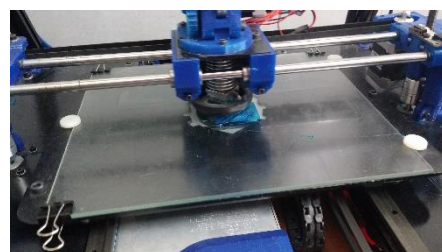
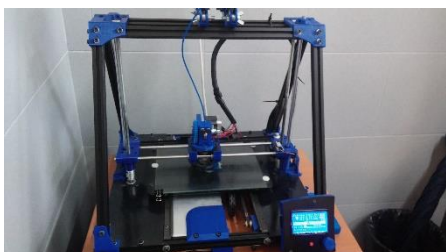
- Corregir errors
- Muntar la impressió però només en quant posició i mida

I posteriorment l'Slicer:

- Acabar de muntar la impressió
- Exportar al G-code

Com a opinió personal, el cura, que és *used-friendly*, és més fàcil d'utilitzar. Vam començar amb el segon procés fins que van conèixer el segon, a través del qual vàrem anar més ràpides.

Un cop vam tenir els G-codes exportats només va caldre enviar-los a la impressora i esperar.



ELECTROPNEUMÀTICA

Introducció

L'electro-pneumàtica és l'aplicació que combina la pneumàtica amb l'electrònica. Per a poder controlar els actuadors de manera electró-pneumàtic es necessita un controlador programable, aquest acostuma a ser un PLC, placa Arduino o un altre microprocessador.

Cal comentar que els PLC van ser una opció de cara al nostre robot, però finalment vam decidir utilitzar l'Arduino en substitució d'aquest, és per això que no aprofundim en aquest apartat.

L'Arduino és un microcontrolador amb un codi de programació molt senzill i molt estès en termes de mercat. És per això que vam decidir utilitzar-lo per a controlar el nostre robot.

El funcionament de l'Arduino es troba a l'apartat Arduino dels annexos.

Controlar la pneumàtica amb l'Arduino és una manera de fer-ho molt poc utilitzada, és per això que ens va permetre realitzar una recerca i experimentació molt important per al nostre treball.

ELECTROVÀLVULES

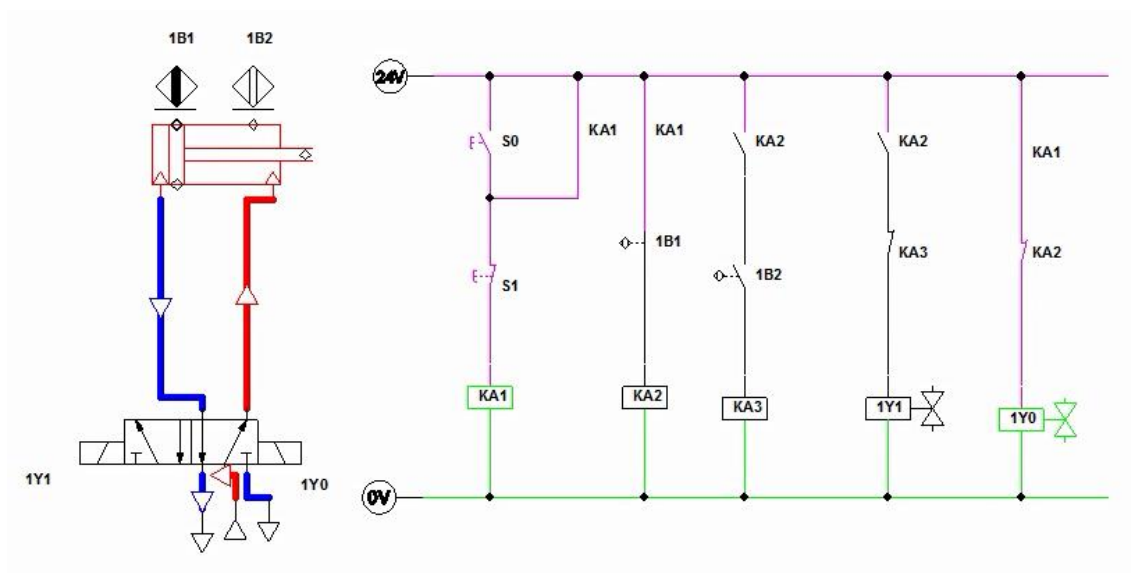
Les electrovàlvules són vàlvules distribuïdores. Aquestes s'accionen mitjançant connexions elèctriques. Les electrovàlvules funcionen normalment amb 12 o 24v. Quan reben la tensió necessària canvien de posició, de tal manera que si l'electrovàlvula té dues posicions, aquesta tindrà dues entrades elèctriques, una a cada lateral i dues connexions a "ground", una a cada lateral també.

El funcionament d'una electrovàlvula esquemàticament seria, el següent:

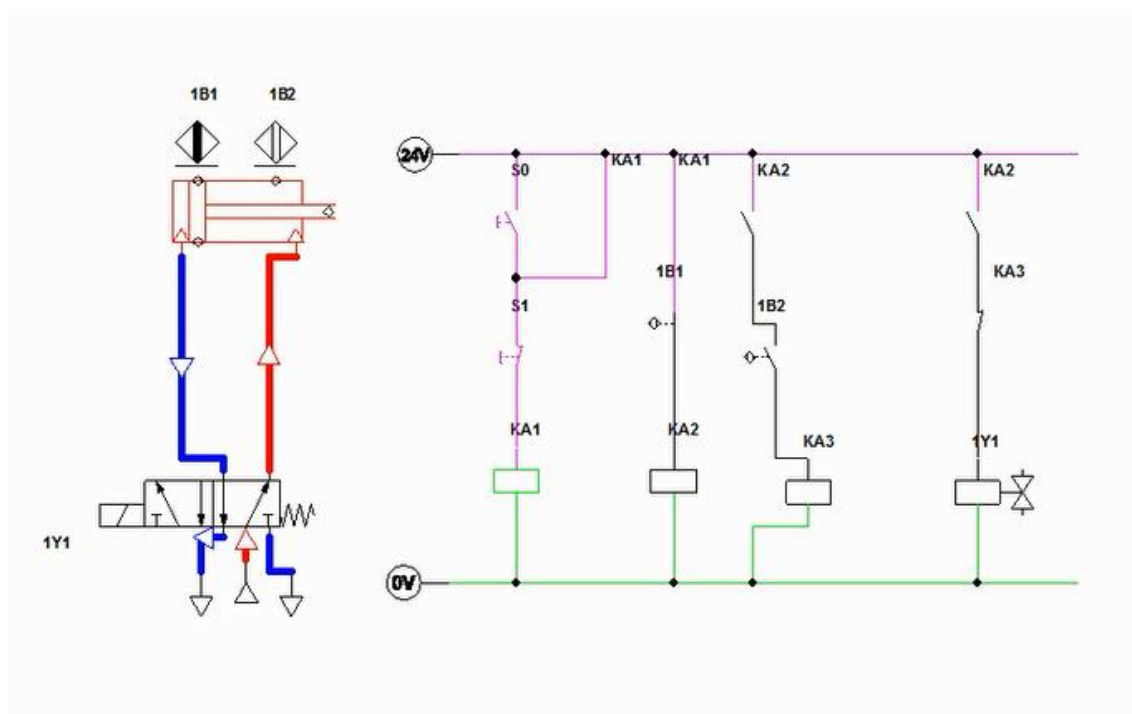
En aquest utilitzem una electrovàlvula 5/2 monoestable, només té un solenoide connectat a un lateral, ja que torna a la posició inicial mitjançant una molla. El cilindre té dos sensors que detecten la seva posició (avanç o retrocés) que connecten amb el circuit de relés per a enviar un senyal de 24v o 0v a l'electrovàlvula.

El següent esquema està realitzat amb el programa Automation Studio.

Avanç:

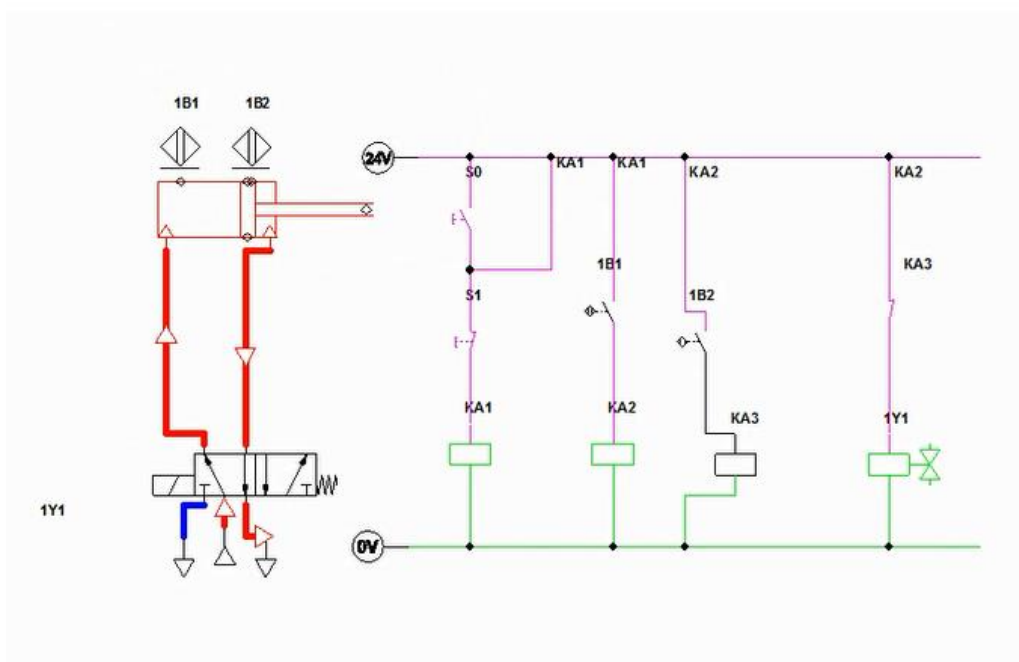


Retrocés:



Es pot observar el funcionament al vídeo [“control cilindre 1.wmv”](#).

En el cas del nostre robot, vam utilitzar electrovàlvules 5/2 biestables, és a dir cinc vies i dues posicions. El funcionament és igual que el del circuit anterior però l'electrovàlvula ha de rebre el senyal per cada lateral. Per tant, ha d'haver-hi dos solenoides, un que comuniqui amb cada posició de l'electrovàlvula.



Es pot observar el funcionament al vídeo [“control cilindre II.wmv”](#).

PRÀCTIQUES: ESTUDI PREVI

Per dur a terme el nostre projecte vam haver de realitzar un estudi previ del circuit que feia funcionar tot el robot. Per a fer-ho vam decidir realitzar diverses pràctiques dissenyant per separat cada part del circuit.

Pràctica 1: Control de les electrovàlvules amb Arduino

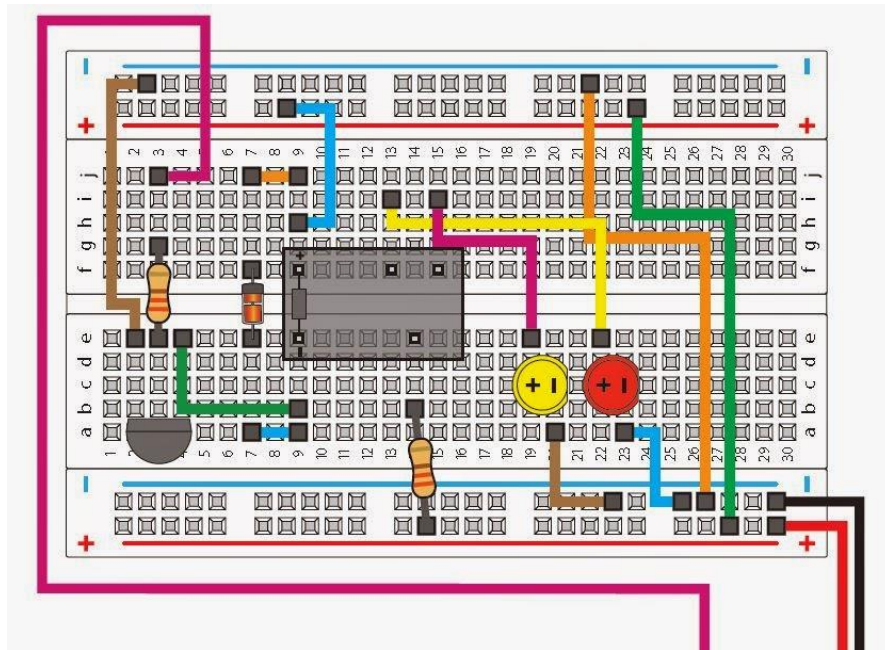
La part principal del projecte són els actuadors que realitzen la funció de moure el robot, és per això que vam decidir que el primer que havíem d'aconseguir era el correcte moviment d'aquests i ser capaces de poder controlar-los de la manera desitjada. Els cilindres pneumàtics funcionen mitjançant les electrovàlvules i aquestes han de ser programades per distribuir l'aire correctament.

Com hem explicat anteriorment, vam decidir fusionar l'Arduino amb l'electropneumàtica, per a controlar el moviment del robot, és per això que quan ens vam disposar a fer-ho ens vam adonar de què hi havia un gran inconvenient: l'Arduino funciona amb 5v i les electrovàlvules amb 24v. Per tant, vam haver de posar-nos a buscar una solució.

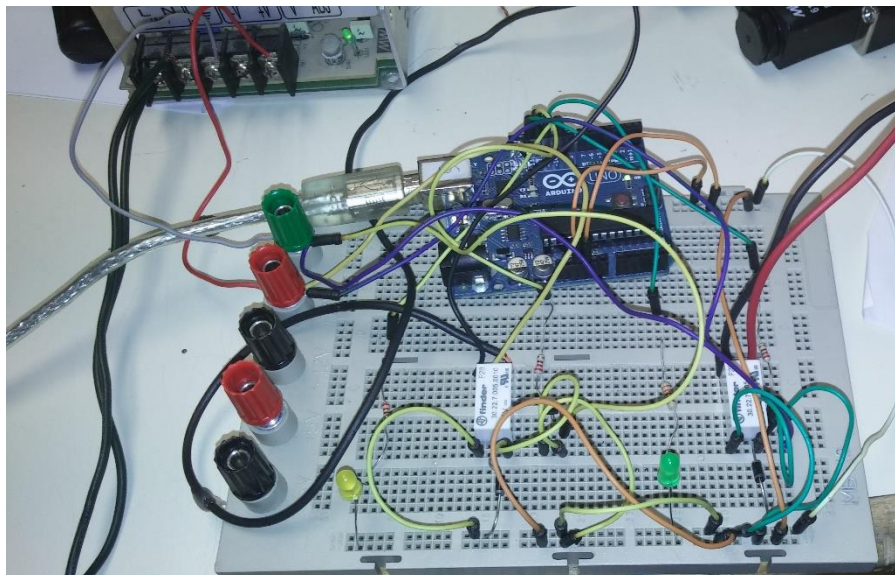
Cal dir, que transformar aquests 5v a 24v va suposar una part important en el desenvolupament del treball.

Circuit amplificador de tensió

Primerament vam buscar la forma de fer un circuit mitjançant relés i transistors per a poder obtenir els 24v. Els relés actuaven com a interruptors i els transistors amplificaven la tensió. Aquest circuit estava format per molts components i era necessari molt cablejat, aquest es multiplicava pel nombre de cilindres a controlar. El temps del qual disposàvem per tenir controlat el funcionament dels cilindres era reduït, i aquests circuits ens portava molts problemes pel gran nombre de connexions, i a més ocupava massa espai per a traslladar-ho al robot. El circuit per a controlar un únic cilindre que vam muntar va ser el següent:



Un cop vam haver adquirit tots els components necessaris, vam començar amb el muntatge del circuit:

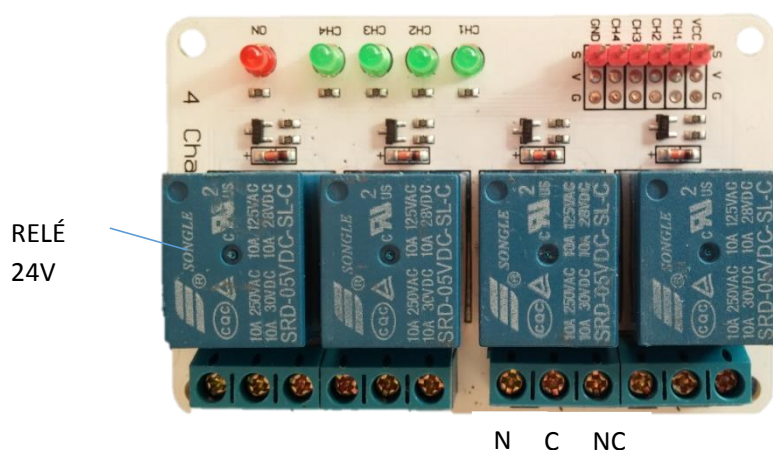


Després d'intentar-ho varies vegades i amb components diferents ens vam adonar que no era la millor solució per al robot. Aleshores vam trobar una placa de relés que tenia tot el circuit integrat:

Placa 4 Channel Relay

Després de tots els intents d'amplificar la tensió que ens proporcionava l'Arduino, vam descobrir unes plaques de 4 relés que mitjançant una font d'alimentació de 24v connectava l'Arduino amb les electrovàlvules. Aquesta era la millor solució per a fer el canvi de 5v a 24v, ja que teníem menys possibilitats de cometre errades per problemes de connexions.

La placa de relés funciona de la següent manera:



La placa de relés es connecta mitjançant l'Arduino, en aquest cas, el pin que dona 5v es connecta a Vcc de la placa. Per a tancar el circuit aquesta també es connecta al pin GND (ground). Un relé té un funcionament semblant al d'un interruptor, aquest deixa que circuli, en aquest cas, 0v o 24v, mai una tensió mitjana.

Podem observar que aquesta placa també té 4 pins anomenats CH1, CH2, CH3 i CH4 on CH és una abreviació de Channel (Canal en anglès). Aquests canals es connecten amb els pins de sortida a l'Arduino i cada canal està connectat a un relé. Per tant, quan l'Arduino envii una senyal en codi binari el relé connectat al pin "s'obrirà" o "es tancarà". Cada relé té tres connexions diferents: NO (Normalment obert), C (24v) i NC (Normalment tancat).

NO→ Es connecta l'electrovàlvula, aquest estarà obert quan l'Arduino li envii 0 i estarà tancat quan li envii 1. És a dir, des d'aquest pin s'enviarà 24v a l'electrovàlvula quan l'Arduino li envii un senyal HIGH.

NC→Es connecta l'electrovàlvula, aquest estarà tancat quan l'Arduino li envii 0 i estarà obert quan li envii 1. És a dir, des d'aquest pin s'enviarà 24v a l'electrovàlvula quan l'Arduino li envii un senyal LOW.

C→ En aquest pin és connecta la font d'alimentació externa, en aquest cas els 24v que enviarà el relé quan aquest estigui tancat.

El nostre circuit

Pràctica senzilla

Per aprendre el funcionament de la placa i comprovar que tot funcionés correctament, vam decidir fer una pràctica més simple abans de fer les connexions de tot el circuit. El circuit més simple va ser el següent:

Aquest circuit està format per les plaques Arduino UNO i 4 Channel Relay, una electrovàlvula 5/2 biestable i un cilindre pneumàtic de doble efecte. L'Arduino UNO controla el circuit electrònic i s'encarrega, mitjançant la programació de seguir la seqüència desitjada, en aquest cas: A+A-.



```
//Definim el relé 1 controlat pel pin 4 de l'Arduino UNO
int rele1=4;

void setup() {
  //L'establim com a sortida: OUTPUT
  pinMode(rele1,OUTPUT);
}

void loop() {
  //El cilindre controlat pel "rele1" roman en retrocés mentre

  digitalWrite(rele1,LOW);

  //Esperem 2 segons
  delay(2000);

  //El cilindre controlat pel "rele1" avançarà

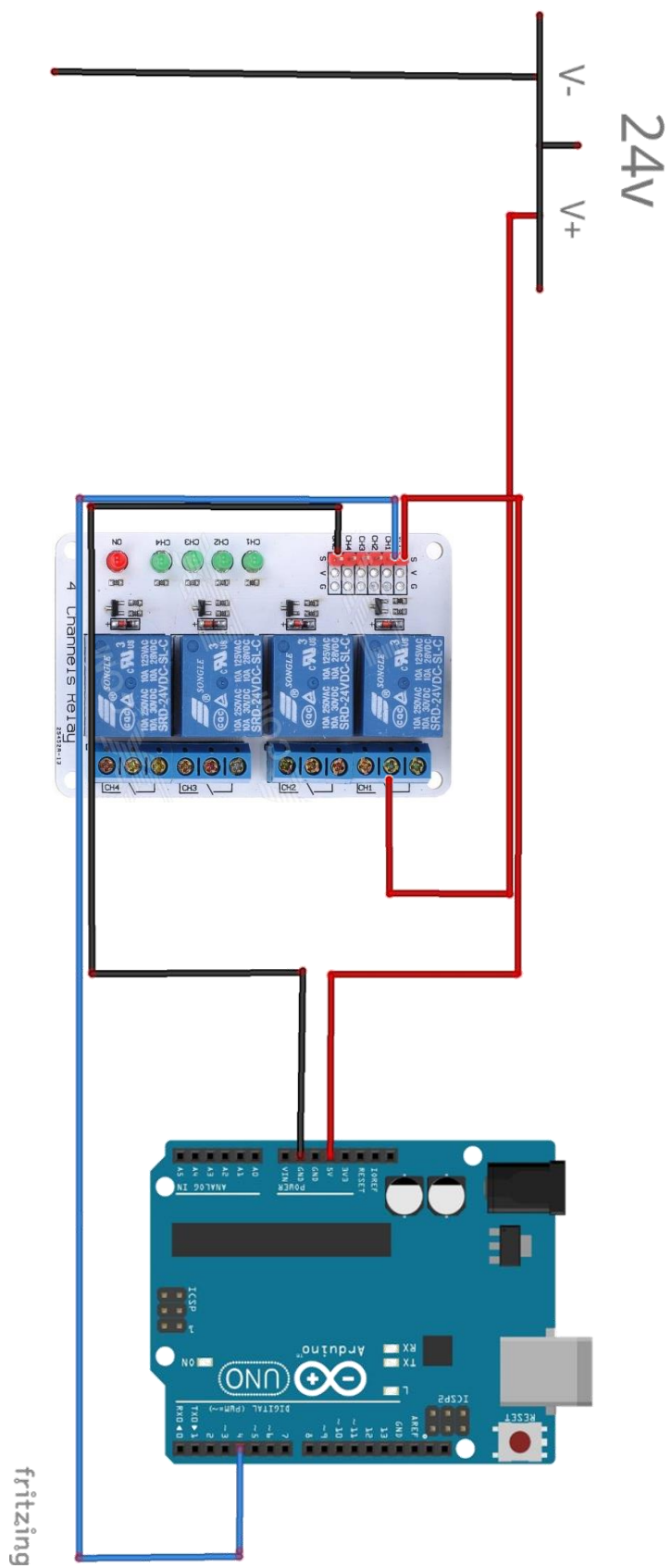
  digitalWrite(rele1,HIGH);

  //Esperem 2 segons i tornarem a repetir el bucle indefinidament
  delay(2000);
}
```

La placa 4 Channel Relay és l'encarregada de fusionar la part electrònica amb la part pneumàtica. En aquest cas fem servir únicament un relé d'aquesta placa, ja que només volem controlar un cilindre i, per tant, en el contacte NO (Normalment obert) el connectem a Y1 i el contacte NC (Normalment tancat) el connectem a Y2 de la mateixa electrovàlvula. Com que necessitem 24 volts per controlar la part pneumàtica, el contacte C el connectem directament a +V de la font d'alimentació. Pel que fa a la connexió amb la part electrònica, els pins 5v i GRD de l'Arduino UNO els connectem a VCC i GND de la placa 4 Channel Relay i el relé que utilitzem (CH1) el connectem al pin número 4 de l'Arduino.

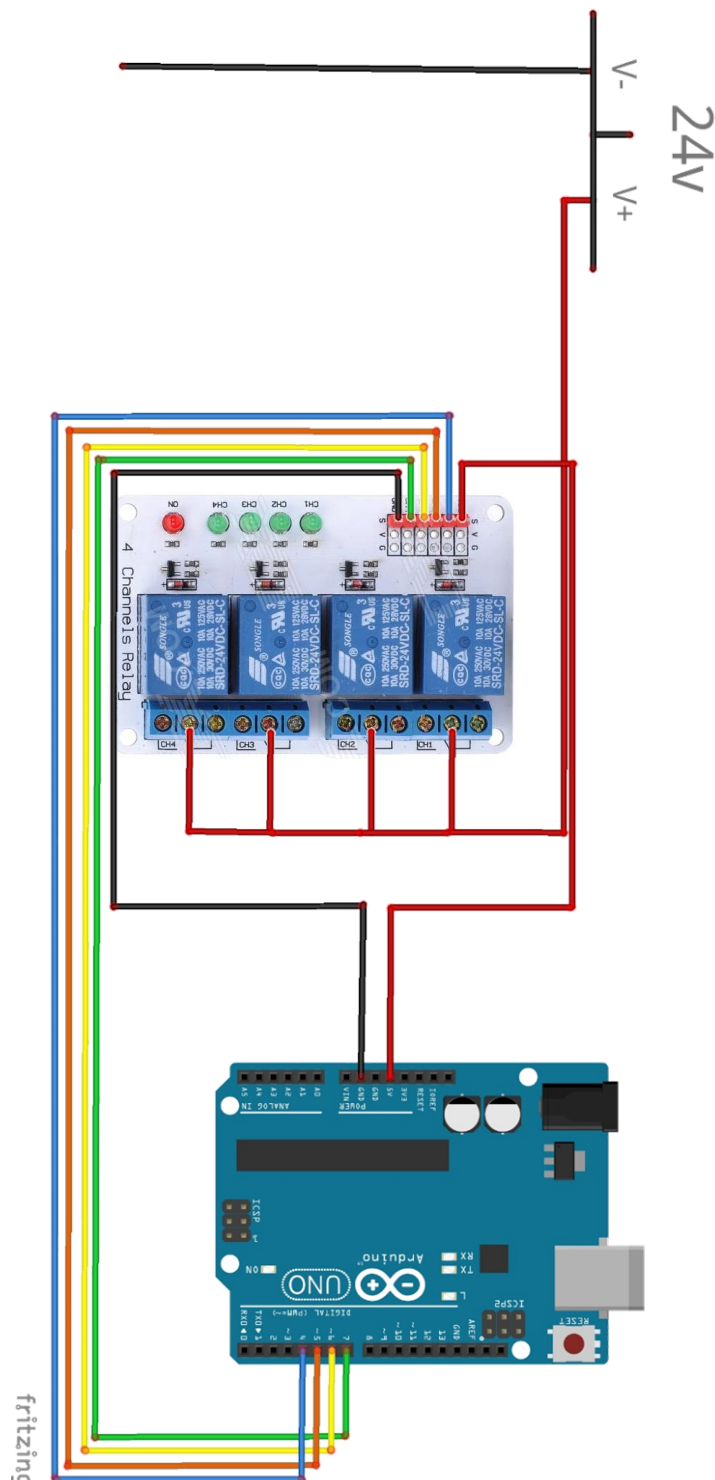
D'altra banda, el circuit pneumàtic es basa en una electrovàlvula 5/2 connectada als contactes NO i NC del relé, al cilindre i a -V de la font d'alimentació.

L'esquema del circuit és el següent:

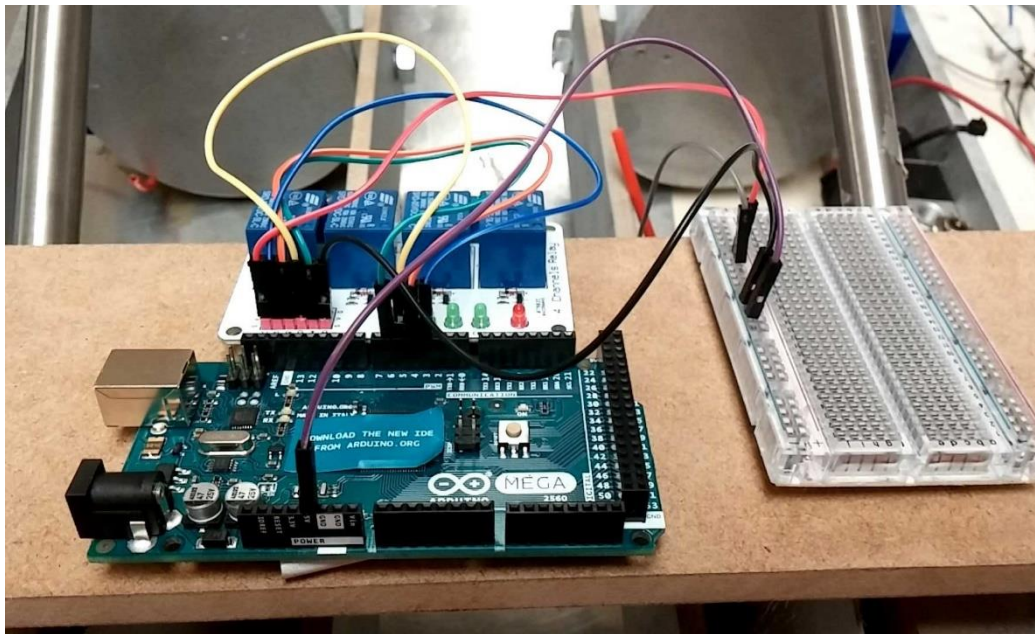


Circuit definitiu

Quan vam haver comprovat que el circuit funcionava correctament vam començar a connectar el circuit definitiu amb els 4 cilindres per placa. Primer vam connectar els 4 cilindres d'una cama i posteriorment vam fer el circuit dels cilindres dels peus i les ventoses, per a fer-ho vam necessitar una altra placa 4 Channel Relay. L'esquema dels 4 cilindres de les cames és el següent:

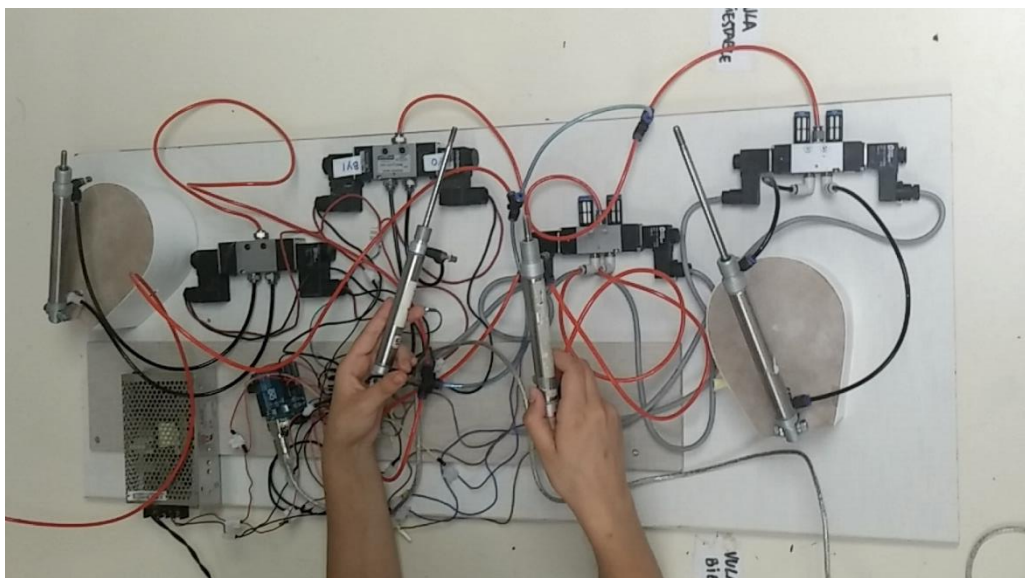


Aquest va ser el resultat del muntatge del circuit per a 4 cilindres:



PINS ARDUINO	CONTACTES PLACA 4 CHANNEL RELAY
5v	Vcc
GND	GND
4	CH1
5	CH2
6	CH3
7	CH4

Per a connectar les electrovàlvules vam utilitzar els pins de sortida digitals de l'Arduino 4,5,6 i 7. Els dos pins restants de cada relé els vam connectar als solenoides de les electrovàlvules.

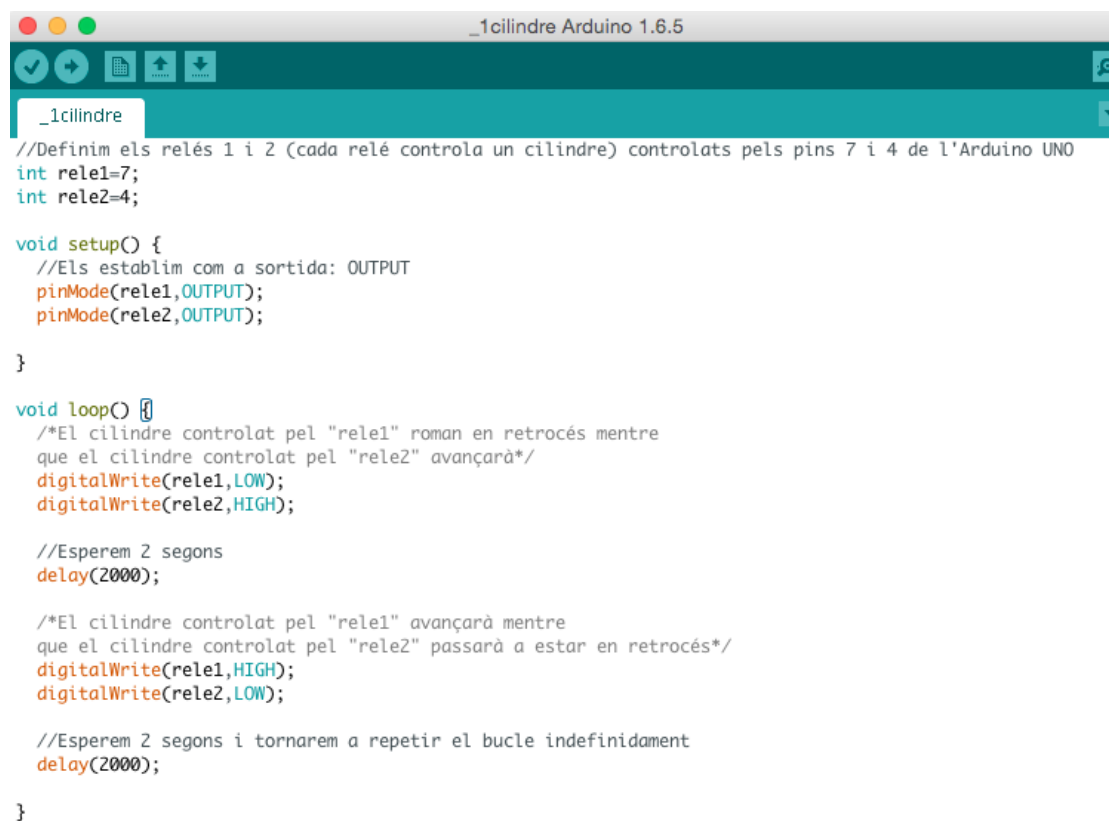


Pràctica 2: Control de dos cilindres

Al llarg d'aquest treball hem anat experimentant diversos canvis en el robot, canvis que han anat afectant també a la programació.

En un inici, la programació es va basar a aconseguir que dos cilindres pneumàtics retrocedissin i avancesin, controlats per una electrovàlvula, la font de 24 volts i electrònicament, mitjançant l'Arduino.

Aquest és el programa de la primera prova:



```
//Definim els relés 1 i 2 (cada relé controla un cilindre) controlats pels pins 7 i 4 de l'Arduino UNO
int rele1=7;
int rele2=4;

void setup() {
  //Els establim com a sortida: OUTPUT
  pinMode(rele1,OUTPUT);
  pinMode(rele2,OUTPUT);
}

void loop() {
  /*El cilindre controlat pel "rele1" roman en retrocés mentre
  que el cilindre controlat pel "rele2" avançarà*/
  digitalWrite(rele1,LOW);
  digitalWrite(rele2,HIGH);

  //Esperem 2 segons
  delay(2000);

  /*El cilindre controlat pel "rele1" avançarà mentre
  que el cilindre controlat pel "rele2" passarà a estar en retrocés*/
  digitalWrite(rele1,HIGH);
  digitalWrite(rele2,LOW);

  //Esperem 2 segons i tornarem a repetir el bucle indefinidament
  delay(2000);
}
```

Pràctica 3: Control de quatre cilindres

Una vegada assolit el funcionament de dos cilindres pneumàtics controlats electrònicament, vam prosseguir a programar-ne quatre, realitzant una seqüència de moviments aleatoris perquè només volíem comprovar el seu funcionament. El programa al utilitzar dos cilindres pneumàtics més també havia d'utilitzar dos relés més.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar at the top reads "_4cilindres Arduino 1.6.5". Below the title bar is a toolbar with icons for saving, running, uploading, and other IDE functions. The main text area contains the following C++ code:

```
//Definim els quatre 4 utilitzats, per a controlar 4 cilindres, controlats pels pins de l'Arudino 4,5,6 i 7:
int rele1=4;
int rele2=5;
int rele3=6;
int rele4=7;

void setup() {
  //Els establim com a sortides: OUTPUT
  pinMode(rele1,OUTPUT);
  pinMode(rele2,OUTPUT);
  pinMode(rele3,OUTPUT);
  pinMode(rele4,OUTPUT);
}

void loop() {
  /*Els cilindres controlats pels relés 1 i 3 romandran en retrocés mentre
  que els cilindres controlats pels relés 2 i 4 avançaran*/
  digitalWrite(rele1,LOW);
  digitalWrite(rele2,HIGH);
  digitalWrite(rele3,LOW);
  digitalWrite(rele4,HIGH);
  //Esperem 2 segons
  delay(2000);
  /*El cilindres controlats pels relés 1 i 3 avançaran mentre
  que els cilindres controlats pels relés 2 i 4 passaran a estar en retrocés*/
  digitalWrite(rele1,HIGH);
  digitalWrite(rele2,LOW);
  digitalWrite(rele3,HIGH);
  digitalWrite(rele4,LOW);
  //Esperem 2 segons i tornarem a repetir el bucle indefinidament
  delay(2000);
}
```

Com que no vam trobar-nos amb cap problema, ja que una vegada assolit el funcionament del primer cilindre, les seqüències aleatòries d'avanç i retrocés de més cilindres responien correctament a les ordres indicades, vam prosseguir a provar una seqüència real de quatre cilindres, que són pels quals estarien compostes les comes robòtiques.

Aquest és el programa:



```
AA_4cilindres Arduino 1.6.5
AA_4cilindres
//Sequencia dels 4 cilindres de les cames

//Reles del modul que controlara els cilindres de les cames
//ch son els canals de la placa modul i els iguaem als pins corresponents de la placa Arduino
int ch1=3; //cama esquerra adalt
int ch2=4; //cama esquerra abaix
int ch3=5; //cama dreta adalt
int ch4=6; //cama dreta abaix

void setup() {
  //Els definim com a sortides: OUTPUT
  pinMode(ch1,OUTPUT);
  pinMode(ch2,OUTPUT);
  pinMode(ch3,OUTPUT);
  pinMode(ch4,OUTPUT);

  //posició inicial
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,LOW);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
}

void loop() {
  /*Tenim en compte:  posicio inicial = adalt retrocedit i abaix avançat
                      posicio contraria = contrari a posicio inicial (adalt avançat i abaix retrocedit) */

  //cilindres de la cama dreta en posicio contraria
  //cilindres de la cama esquerra en posicio inicial
  digitalWrite(ch1,HIGH);
  digitalWrite(ch2,LOW);
  digitalWrite(ch3,LOW);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(4000);

  //cilindres de la cama dreta en posicio inicial
  //cilindres de la cama esquerra en posicio contraria
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,HIGH);
  digitalWrite(ch4,LOW);
  delay(4000);

  //els col·loquem a la posicio contraria a tots
  digitalWrite(ch1,HIGH);
  digitalWrite(ch2,LOW);
  digitalWrite(ch3,HIGH);
  digitalWrite(ch4,LOW);
  delay(4000);

  //els tornem a la posicio inicial a tots
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,LOW);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(4000);
}
```

És a dir, provem la seqüència definitiva de les cames robòtiques sense haver muntat el robot abans, així ja disposaríem de la programació definitiva dels cilindres de les cames abans de muntar el robot: tenir el robot programat abans de crear-lo, amb la finalitat de poder provar la seqüència abans i fer els canvis possibles per acabar d'ajustar els moviments.

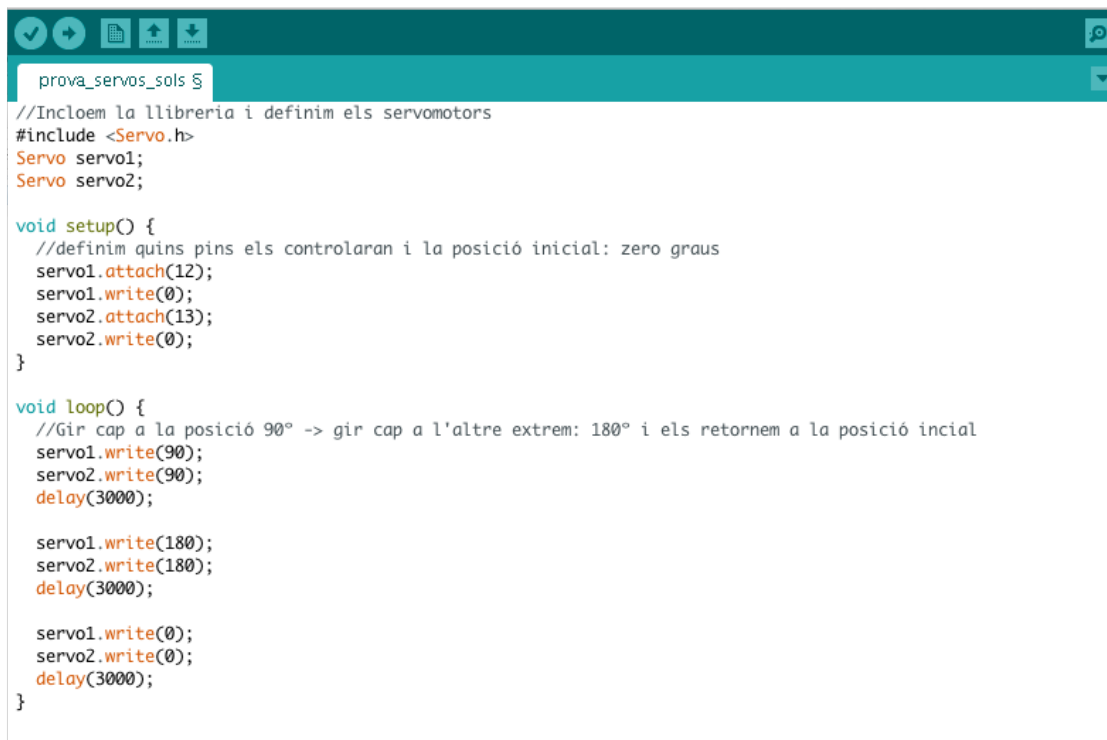
Cal recordar que vam deixar de banda els cilindres dels peus perquè no estàvem segures de si finalment els incorporaríem, per aquest motiu vam quedar-nos en el funcionament seqüenciat de quatre cilindres que serien els que segur que romandrien amb les cames robòtiques sense fer cap tipus de canvi.

Pràctica 4: Incorporació dels servomotors

En aquest moment ja teníem programades les cames, només caldria ajustar al tenir les cames construïdes fins a aconseguir una marxa normal el més semblant a la humana. Per això, necessitàvem pensar en futur, quan el robot estigués muntat i volguéssim provar la seqüència per tal de fer aquells últims ajustos dels quals parlàvem, necessitaríem pensar en l'estructura dels peus: si posaríem dos cilindres o ens decantaríem per alguna altra opció, i també pensar en l'avanç i l'equilibri, conceptes dels quals trobarem informació detallada en l'apartat anomenat L'equilibri i l'avanç.

Per això, paral·lelament a la construcció del robot, vam incorporar els servomotors a la programació, elements que ens ajudarien a fer avançar el robot elevant les cames. La col·locació d'aquests en l'estructura del robot ens portà diversos problemes i vam haver de fer una quantitat considerable de proves fins a definir la localització més adequada per a aquests. Aquest estudi es troba en l'apartat del treball Servomotors, juntament amb el funcionament i les característiques d'aquests, la informació necessària per conèixer-los el millor possible abans d'implementar-los a la seqüència de la marxa humana i fusionar-los amb la pneumàtica i l'Arduino. En l'apartat de l'estudi hi trobarem el primer programa que vam realitzar amb un servomotor per tal de familiaritzar-nos amb les posicions, i una primera pràctica anomenada *Pràctica mini-robot bíped* que, a grans trets, tractava sobre crear un robot petit amb materials reciclats format per quatre servomotors i controlat per Arduino UNO, amb l'objectiu de fer-lo caminar mitjançant servomotors.

Una vegada realitzat l'estudi dels servomotors, ja vam ser capaces d'incorporar-los a les nostres cames robòtiques. Aquest va ser el programa definitiu dels servomotors:



```
prova_servos_sols §
//Incloem la llibreria i definim els servomotors
#include <Servo.h>
Servo servo1;
Servo servo2;

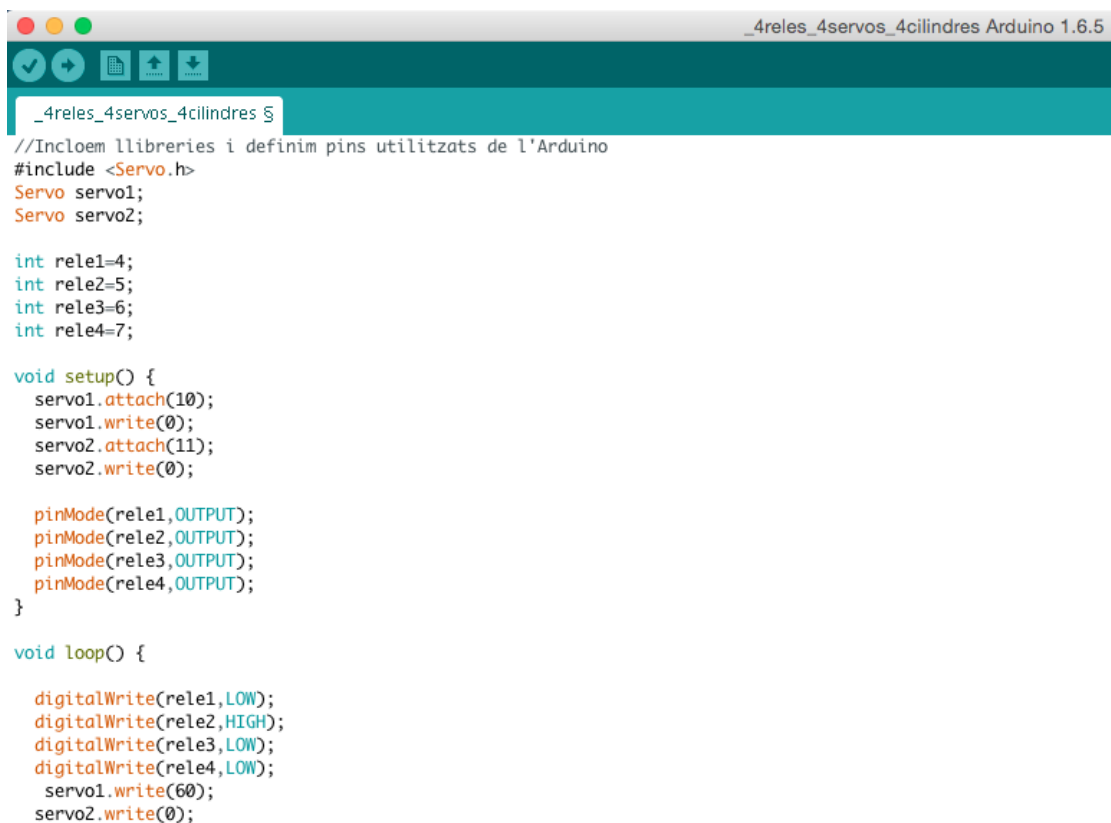
void setup() {
  //definim quins pins els controlaran i la posició inicial: zero graus
  servo1.attach(12);
  servo1.write(0);
  servo2.attach(13);
  servo2.write(0);
}

void loop() {
  //Gir cap a la posició 90° -> gir cap a l'altre extrem: 180° i els retornem a la posició inicial
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  delay(3000);

  servo1.write(180);
  servo2.write(180);
  delay(3000);

  servo1.write(0);
  servo2.write(0);
  delay(3000);
}
```

Per tant, un cop muntat el robot, ara havíem de fusionar la programació dels servomotors amb la programació de les cames:



```
_4reles_4servos_4cilindres Arduino 1.6.5
_4reles_4servos_4cilindres §
//Incloem llibreries i definim pins utilitzats de l'Arduino
#include <Servo.h>
Servo servo1;
Servo servo2;

int rele1=4;
int rele2=5;
int rele3=6;
int rele4=7;

void setup() {
  servo1.attach(10);
  servo1.write(0);
  servo2.attach(11);
  servo2.write(0);

  pinMode(rele1,OUTPUT);
  pinMode(rele2,OUTPUT);
  pinMode(rele3,OUTPUT);
  pinMode(rele4,OUTPUT);
}

void loop() {

  digitalWrite(rele1,LOW);
  digitalWrite(rele2,HIGH);
  digitalWrite(rele3,LOW);
  digitalWrite(rele4,LOW);
  servo1.write(60);
  servo2.write(0);
}
```



```

delay(2000);

servo1.write(60);
servo2.write(0);

digitalWrite(rele1,HIGH);
digitalWrite(rele2,HIGH);
digitalWrite(rele3,LOW);
digitalWrite(rele4,HIGH);

delay(2000);

digitalWrite(rele1,HIGH);
digitalWrite(rele2,HIGH);
digitalWrite(rele3,LOW);
digitalWrite(rele4,HIGH);

delay(2000);

digitalWrite(rele1,LOW);
digitalWrite(rele2,LOW);
digitalWrite(rele3,LOW);
digitalWrite(rele4,HIGH);

servo1.write(60);
servo2.write(0);

delay(2000);

servo1.write(90);
servo2.write(0);


digitalWrite(rele3,LOW);
digitalWrite(rele4,HIGH);
digitalWrite(rele1,LOW);
digitalWrite(rele2,LOW);

delay(2000);

servo2.write(0);
servo1.write(0);
digitalWrite(rele3,HIGH);
digitalWrite(rele4,HIGH);
digitalWrite(rele1,LOW);
digitalWrite(rele2,HIGH);

delay(2000);

servo2.write(60);
servo1.write(0);
digitalWrite(rele3,HIGH);
digitalWrite(rele4,HIGH);
digitalWrite(rele1,LOW);
digitalWrite(rele2,HIGH);

delay(2000);

servo2.write(60);
servo1.write(0);
digitalWrite(rele3,LOW);
digitalWrite(rele4,LOW);
digitalWrite(rele1,LOW);
digitalWrite(rele2,HIGH);

delay(2000);|
}

```

Pràctica 5: Equilibri

Hem tingut en compte l'avanç, però no l'equilibri (que va relacionat també amb l'estructura dels peus) i per tant, com que l'estructura robòtica en aquest moment només està composta per les cames i el maluc (on hi trobem la placa Arduino, els mòduls de relés i la font de 24 volts) i no tenim peus, havíem de provar l'estructura aixecada i subjectada pel maluc, observant només el moviment de les cames i els servomotors però no el seu avanç o equilibri; conceptes que tindrem en compte a continuació juntament amb la creació dels peus que, fins a aquest moment, havia estat deixada en suspens pel pensament de la possibilitat de fer uns peus “patineta”, juntament amb un carril o un “taca”, opcions explicades en l'apartat de L'equilibri i l'avançament.

L'elecció final dels peus va ser incorporar ventoses pneumàtiques juntament amb dos cilindres petits, perquè aquesta estructura ens facilitava el problema de l'avançament i de l'equilibri. Tot i així, les primeres proves van ser realitzades amb el robot subjectat amb cordes degut a la mida inicial de les ventoses, que no eren suficientment potents com per aguantar tot el pes de l'estructura. Més endavant, aquestes seran canviades i l'estructura no estarà subjectada per cap element extern.

Com en el cas dels servomotors, com que les ventoses són un nou element que incorporem al treball, hem descrit el seu funcionament en l'apartat Pneumàtica i hem fet les pràctiques dels peus, per separat, en l'apartat Control de dues ventoses pneumàtiques controlades amb Arduino. I una vegada realitzat aquest estudi ja podíem incorporar-les a les cames robòtiques on ja hi teníem implementats els servomotors.

Així doncs, vam incorporar l'estructura dels peus al robot i, abans de fusionar el programa, vam comprovar la resistència d'aquestes; vam comprovar si al xuclar, serien capaces d'aguantar l'estructura i avançar-la. El programa per comprovar la resistència de les ventoses va ser:

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar at the top reads 'AA_resistencia_ventoses Arduino 1.6.5'. Below the title bar is a toolbar with icons for checking, uploading, and downloading. The main text area contains the following code:

```
//Prova resistencia ventoses: sempre xuclades

int ch11=9; //cilindre esquerra
int ch22=10; //ventosa esquerra
int ch33=11; //cilindre dreta
int ch44=8; //ventosa dreta
int ch2=4; //cama dreta adalt
int ch4=6; //cama dreta abaix

void setup() {
  pinMode(ch11,OUTPUT);
  pinMode(ch22,OUTPUT);
  pinMode(ch33,OUTPUT);
  pinMode(ch44,OUTPUT);
  pinMode(ch2,OUTPUT);
  pinMode(ch4,OUTPUT);

  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
}

void loop() {
}
```

On tenim en compte el primer pas de la cama dreta que, per tant, el cilindre de la cuixa estarà avançat i el de la tibia/peroné estarà retrocedit (posició inicial en la seqüència) i òbviament tenim en compte els dos peus: en el cas dels dos peus, les ventoses estaran rebent voltatge i per tant xuclant i els cilindres corresponents estaran en retrocés.

Cal comentar que la cama esquerra tindrà la primera posició per defecte assignada en la seqüència: cilindre de la cuixa avançat i cilindre de la tibia/peroné retrocedit; com hem definit en aquest programa de prova per a la cama dreta. Per tant, comprenem que ha sigut necessari definir la posició de la cama dreta i no pas la de l'esquerra perquè la dreta havia estat definida abans però no tal i com la necessitem en aquest programa, mentre que l'esquerra si que havia estat definida anteriorment.

No tenim en compte els servomotors perquè aquests estaran a la seva posició inicial, per tant, no els incloem en aquest programa de prova.

Podem observar que les ventoses pneumàtiques romandran sempre, en tot moment del programa, xuclades per tal de comprovar si l'estructura, estant estàtica (el programa acaba tal i com comença sense cap moviment intermedi), caurà o no.

Els resultats van ser positius: l'estructura, si romania estàtica, no queia. Per tant vam passar a comprovar el primer pas, si les ventoses serien capaces de fer avançar la cama, o si seria la cama les que retrocedirien a aquestes. Ho vam comprovar modificant el programa anterior pel següent:



```
AA_resistencia_ventoses S
//Prova resistència ventoses: seran capaces d'avançar la cama?

int ch11=9; //cilindre esquerra
int ch22=10; //ventosa esquerra
int ch33=11; //cilindre dreta
int ch44=8; //ventosa dreta

void setup() {
  pinMode(ch11,OUTPUT);
  pinMode(ch22,OUTPUT);
  pinMode(ch33,OUTPUT);
  pinMode(ch44,OUTPUT);
}

void loop() {
  /*Provem avançament de la cama esquerra mentre que
  la dreta es queda amb el cilindre retrocedit i la ventosa xuclant*/

  //posició inicial
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  delay(3000);

  /*Després d'aquest primer pas, els següents segueixen la seqüència del peu, recordem:
  -> 1.Avançament cilindre
  -> 2.Xuclar ventosa
  -> 3.Retrocedeix cilindre ( Això provoca l'AVANÇAMENT (o no) )
  i idem per la cama contraria*/
```

```

digitalWrite(ch11,LOW); //cilindre esquerra retrocedit
digitalWrite(ch22,LOW); //ventosa esquerra sense crear el buit
digitalWrite(ch33,HIGH); //cilindre dreta avança
digitalWrite(ch44,HIGH); //ventosa dreta crea el buit
delay(3000);

digitalWrite(ch11,HIGH); //cilindre esquerra passa a estar avançat
digitalWrite(ch22,LOW); //ventosa esquerra segueix sense crear el buit
digitalWrite(ch33,LOW); //cilindre dreta retrocedeix
digitalWrite(ch44,HIGH); //ventosa dreta segueix com al pas anterior, xuclant
delay(3000);

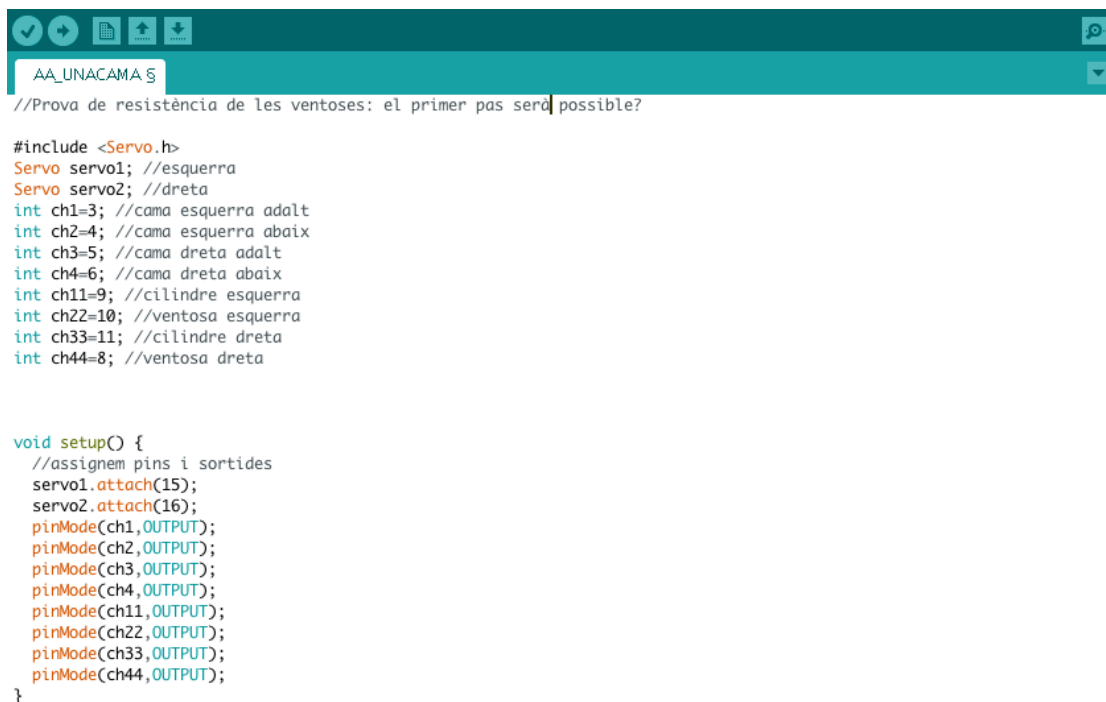
digitalWrite(ch11,HIGH); //cilindre esquerra avançat
digitalWrite(ch22,HIGH); //ventosa dreta crea el buit
digitalWrite(ch33,LOW); //cilindre dreta retrocedit
digitalWrite(ch44,HIGH); //ventosa dreta creant el buit
delay(3000);

//tornem a la posició inicial i després de 3 segons es repetirà el bucle
digitalWrite(ch11,LOW);
digitalWrite(ch22,HIGH);
digitalWrite(ch33,LOW);
digitalWrite(ch44,HIGH);
delay(3000);
}

```

Vam crear també el programa fusionat amb els servomotors i els quatre cilindres restants de les cames robòtiques, però no va acabar de funcionar perquè les ventoses no aguantaven l'estructura i per tant els moviments anaven empitjorant en cada pas de la seqüència i tampoc aconseguíem un equilibri correcte degut a la poca potència de les ventoses escollides.

El programa fusionat, és el següent:



```

AA_UNACAMA S
//Prova de resistència de les ventoses: el primer pas serà possible?

#include <Servo.h>
Servo servo1; //esquerra
Servo servo2; //dreta
int ch1=3; //cama esquerra adalt
int ch2=4; //cama esquerra abaix
int ch3=5; //cama dreta adalt
int ch4=6; //cama dreta abaix
int ch11=9; //cilindre esquerra
int ch22=10; //ventosa esquerra
int ch33=11; //cilindre dreta
int ch44=8; //ventosa dreta

void setup() {
  //assignem pins i sortides
  servo1.attach(15);
  servo2.attach(16);
  pinMode(ch1,OUTPUT);
  pinMode(ch2,OUTPUT);
  pinMode(ch3,OUTPUT);
  pinMode(ch4,OUTPUT);
  pinMode(ch11,OUTPUT);
  pinMode(ch22,OUTPUT);
  pinMode(ch33,OUTPUT);
  pinMode(ch44,OUTPUT);
}

```

```

void loop() {
  // SEQUENCIA
  /*els dos servomotors començaran en la posició 90°, en els posteriors passos,
  només el servomotor assignat al pin 16 (servo2, de la cama dreta) serà
  el que patirà el gir, perquè estem comprovant l'avançament de la cama dreta,
  el servomotor de la cama esquerra seguirà sempre a 90° sense alterar aquesta posició.*/
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  digitalWrite(ch1,LOW); //el cilindre superior de la cama esquerra no rebrà voltatge, per tant estarà retrocedit,
  digitalWrite(ch2,HIGH); //mentre que el cilindre inferior de la mateixa cama rebrà voltatge, per tant avançarà.
  digitalWrite(ch3,LOW); //el cilindre superior de la cama dreta es trobarà en la mateixa situació que ch1,
  digitalWrite(ch4,HIGH); //i el cilindre inferior d'aquesta cama es trobarà en la situació de ch2.
  digitalWrite(ch11,LOW); //el cilindre inferior del peu de la cama esquerra estarà retrocedit.
  digitalWrite(ch22,HIGH); //la ventosa col·locada al peu esquerra romandrà creant el buit.
  digitalWrite(ch33,HIGH); //el cilindre inferior del peu de la cama dreta, per contra, estarà avançat.
  digitalWrite(ch44,LOW); //la ventosa del peu dret, al contrari que la del peu esquerra, estarà sense crear el buit.
  delay(2000);

  //posició inicial
  //idem que el pas anterior, per assegurar-nos que al donar aire comprimit al robot, aquest començarà en la posició dessitjada:
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,LOW);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  delay(2000);

  servo1.write(90);
  servo2.write(180);
  //el servomotor de la cama dreta provoca un gir de 90° fent així que la cama dreta s'elevi la tercera part d'aquests: 30°
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,HIGH); //el cilindre superior de la cama dreta passarà a rebre voltatge i per tant avançarà.
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,HIGH); //la ventosa del peu dret passarà a l'estat de la ventosa del peu esquerra, les dues creant el buit.
  delay(2000);

  servo1.write(90);
  servo2.write(180);
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,LOW); //el cilindre superior de la dreta ja no rebrà voltatge, per tant retrocedirà.
  digitalWrite(ch4,LOW); //el mateix succeeix amb el cilindre inferior del peu d'aquesta cama.
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,LOW); //el cilindre inferior del peu de la cama dreta deixa de rebre voltatge i retrocedirà.
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  delay(2000);
}

```

La conclusió va ser que necessitàvem unes ventoses més potents. Les vam canviar i vam realitzar la prova de resistència amb el mateix programa (*AA_resistencia_ventoses*) i aquesta vegada va ser exitós, les ventoses tenien la suficient potència alhora de xuclar com per poder avançar una cama i després l'altra, i així successivament.

Pràctica 6: Modificació dels servomotors

Finalment, ens vàrem trobar amb el problema dels servomotors: les peces de fusta que vam crear per suportar-los no anaven del tot bé i per seguir provant i millorant la seqüència, vam haver d'eliminar-los mentre esperàvem que una peça dissenyada per nosaltres amb SketchUp, es pogués imprimir amb la impressora 3D.

Per tant, les següents proves les vam realitzar sense servomotors. La funció de servomotors la fèiem nosaltres mateixes suportant al robot pel maluc i ajudant-lo a elevar cada cama. En el programa final, si que programarem els servomotors, així quan la peça estigués impresa, ja tindríem la programació feta i només caldria incorporar-los.

Abans de mostrar el programa final, vam fer un programa per a cada cilindre i ventosa, per comprovar que quan rebien voltatge (estat: HIGH) avançaven o xuclaven (en el cas de les ventoses), i quan no rebien voltatge (estat: LOW) retrocedien o deixaven de xuclar. En el cas que no fos així, només havíem de canviar el cablejat pneumàtic provinent de la electrovàlvula.

Pràctica 7: Comprovació del funcionament dels elements individualment

Les proves són les següents.

Comprovació dels cilindres de les cames:



```
A_ch1 Arduino 1.6.5
int ch1=3; //cama esquerra adalt

void setup() {
  pinMode(ch1,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch1,HIGH);
  delay(2000);

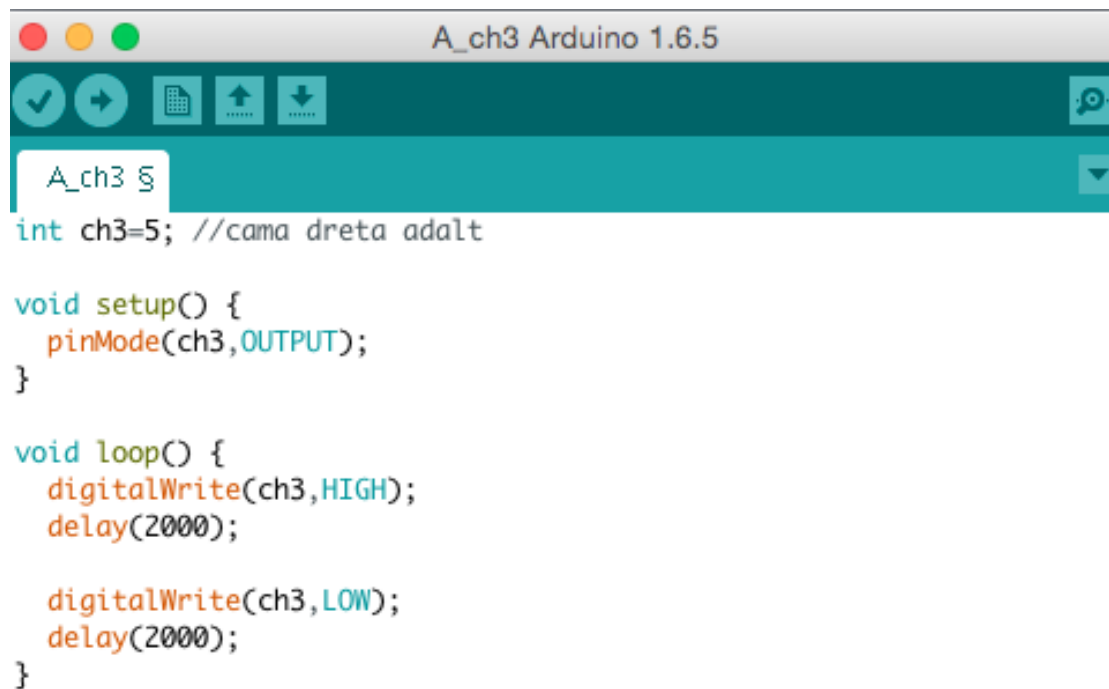
  digitalWrite(ch1,LOW);
  delay(2000);
}

A_ch2 Arduino 1.6.5
int ch2=4; //cama esquerra abaix

void setup() {
  pinMode(ch2,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch2,LOW);
  delay(2000);
}
```

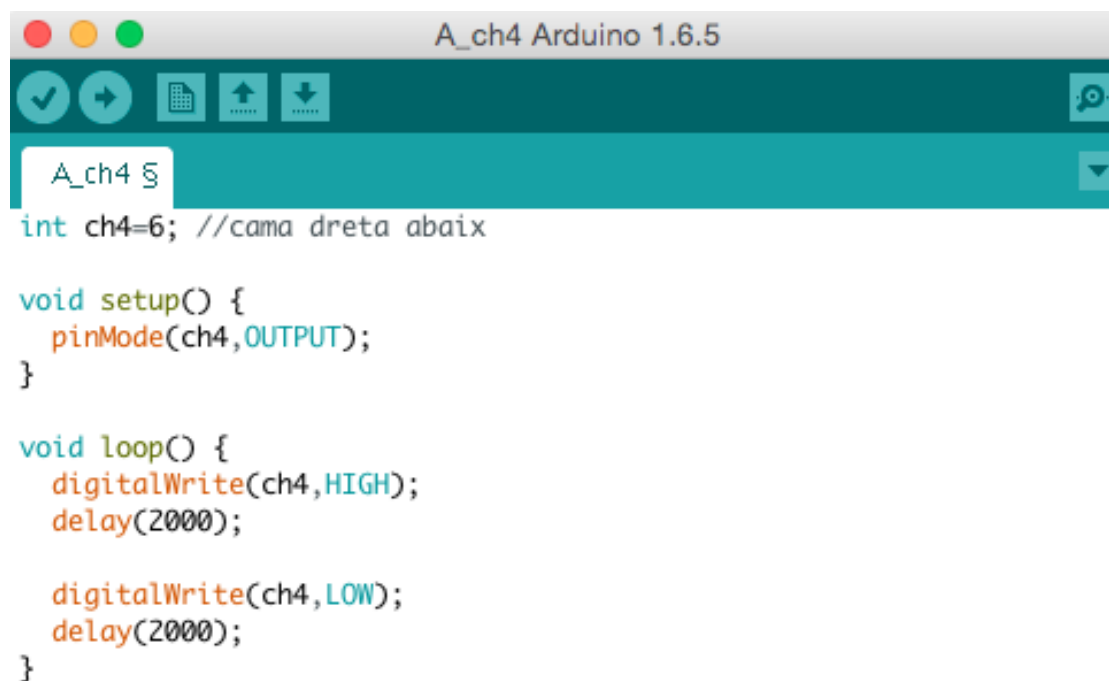


```
int ch3=5; //cama drete adalt

void setup() {
  pinMode(ch3,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch3,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch3,LOW);
  delay(2000);
}
```



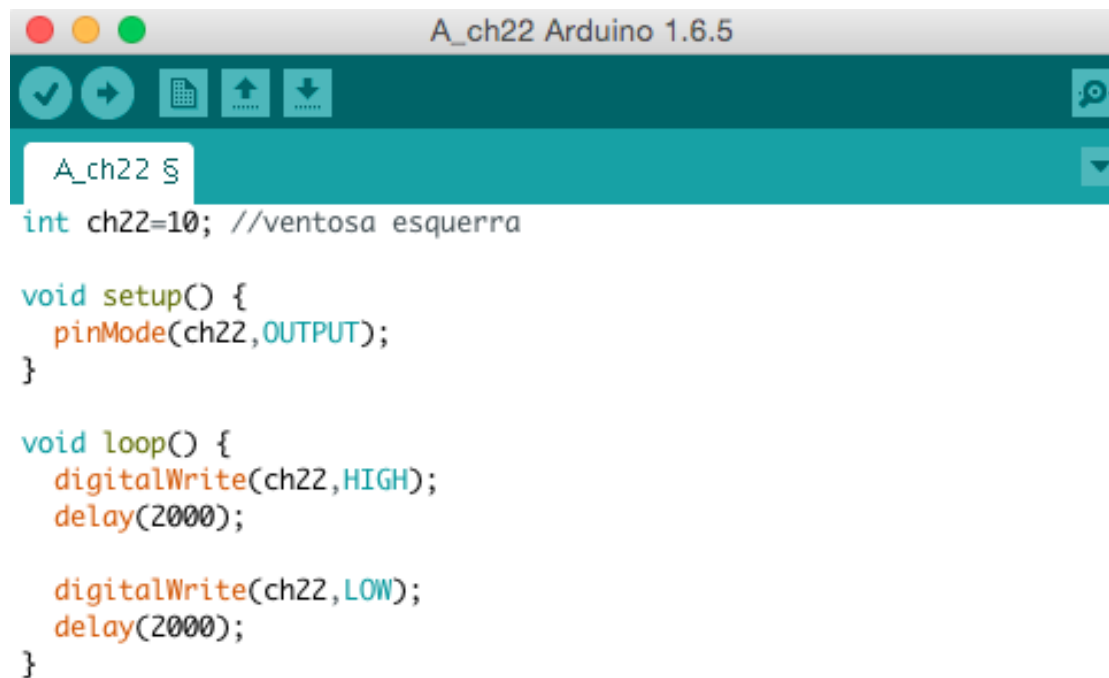
```
int ch4=6; //cama drete abaix

void setup() {
  pinMode(ch4,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch4,LOW);
  delay(2000);
}
```

Comprovació del peu esquerra:



```
A_ch22 Arduino 1.6.5
A_ch22 §
int ch22=10; //ventosa esquerra

void setup() {
  pinMode(ch22,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch22,LOW);
  delay(2000);
}
```



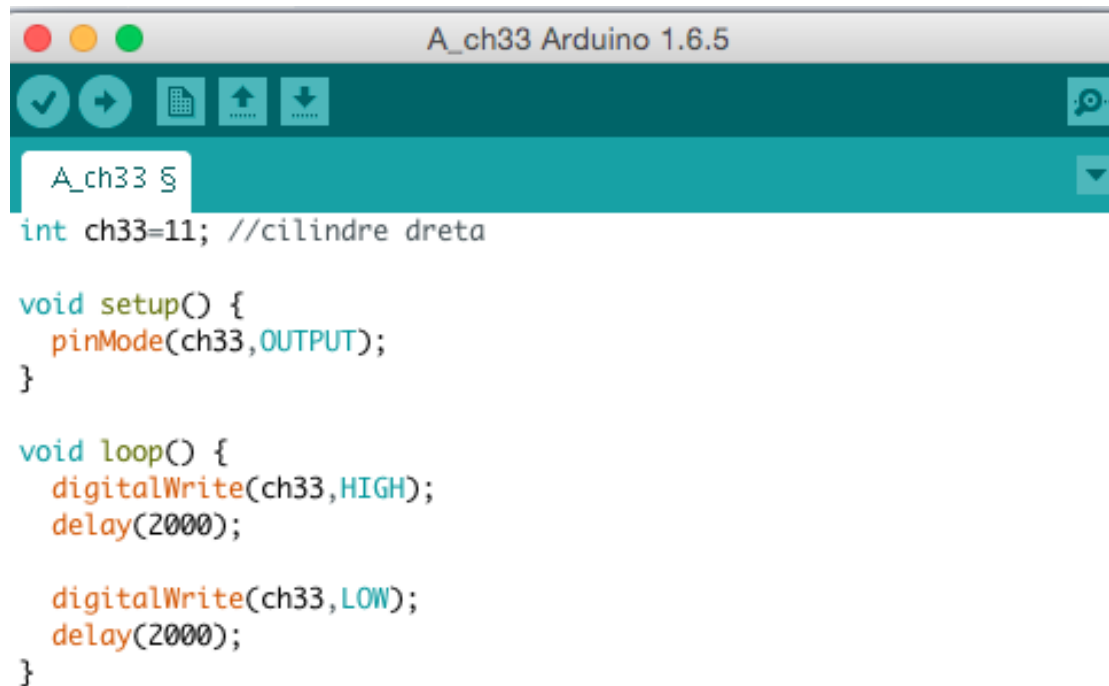
```
A_ch11 Arduino 1.6.5
A_ch11 §
int ch11=9; //cilindre esquerra

void setup() {
  pinMode(ch11,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch11,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch11,LOW);
  delay(2000);
}
```

Comprovació del peu dret:

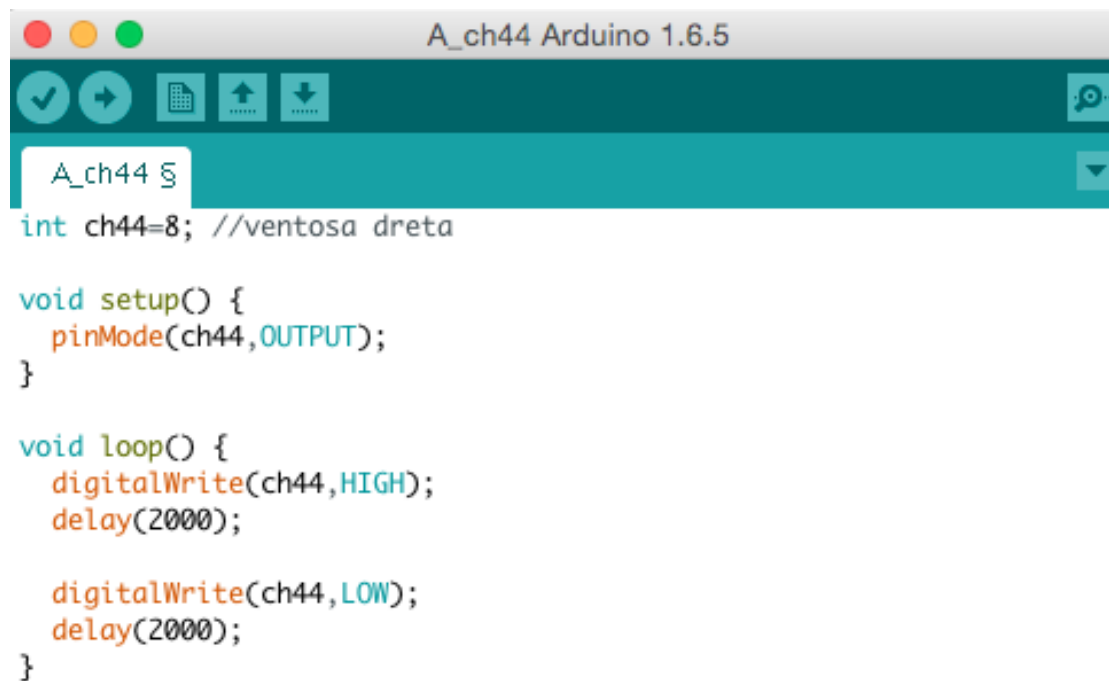


```
A_ch33 §
int ch33=11; //cilindre dreta

void setup() {
  pinMode(ch33,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch33,LOW);
  delay(2000);
}
```



```
A_ch44 §
int ch44=8; //ventosa dreta


void setup() {
  pinMode(ch44,OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch44,LOW);
  delay(2000);
}
```

Pràctica 8: Programa final

I finalment, aquí tenim el darrer programa:



```
AA_TOT
//PRIMERA PROVA CAMINAR (servos+4cilindres+peus)

#include <Servo.h>
Servo servo1; //esquerra
Servo servo2; //dreta
int ch1=3; //cama esquerra adalt
int ch2=4; //cama esquerra abaix
int ch3=5; //cama dreta adalt
int ch4=6; //cama dreta abaix
int ch11=9; //cilindre esquerra
int ch22=10; //ventosa esquerra
int ch33=11; //cilindre dreta
int ch44=8; //ventosa dreta

void setup() {
  //assignem pins i sortides
  servo1.attach(15);
  servo2.attach(16);
  pinMode(ch1,OUTPUT);
  pinMode(ch2,OUTPUT);
  pinMode(ch3,OUTPUT);
  pinMode(ch4,OUTPUT);
  pinMode(ch11,OUTPUT);
  pinMode(ch22,OUTPUT);
  pinMode(ch33,OUTPUT);
  pinMode(ch44,OUTPUT);
}

void loop() {
  // SEQUENCIA
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,LOW);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  delay(1500);

  //posició inicial
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,LOW);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  delay(1500);

  servo1.write(90);
  servo2.write(180);
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  delay(1500);

  servo1.write(90);
  servo2.write(180);
  digitalWrite(ch1,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch3,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  delay(1500);
```

```
servo1.write(90);
servo2.write(180);
digitalWrite(ch1,LOW);
digitalWrite(ch2,HIGH);
digitalWrite(ch3,LOW);
digitalWrite(ch4,LOW);
digitalWrite(ch11,LOW);
digitalWrite(ch22,HIGH);
digitalWrite(ch33,LOW);
digitalWrite(ch44,HIGH);
delay(1500);

//altra cama:
servo1.write(90);
servo2.write(180);
digitalWrite(ch1,LOW);
digitalWrite(ch2,HIGH);
digitalWrite(ch3,LOW);
digitalWrite(ch4,LOW);
digitalWrite(ch11,HIGH);
digitalWrite(ch22,LOW);
digitalWrite(ch33,LOW);
digitalWrite(ch44,HIGH);
delay(1500);

servo1.write(90);
servo2.write(90);
digitalWrite(ch1,HIGH);
digitalWrite(ch2,HIGH);
digitalWrite(ch3,LOW);
digitalWrite(ch4,LOW);
digitalWrite(ch11,HIGH);
digitalWrite(ch22,LOW);
digitalWrite(ch33,LOW);
digitalWrite(ch44,HIGH);
delay(1500);

servo1.write(90);
servo2.write(90);
digitalWrite(ch1,HIGH);
digitalWrite(ch2,HIGH);
digitalWrite(ch3,LOW);
digitalWrite(ch4,LOW);
digitalWrite(ch11,HIGH);
digitalWrite(ch22,HIGH);
digitalWrite(ch33,LOW);
digitalWrite(ch44,HIGH);
delay(1500);

servo1.write(90);
servo2.write(90);
digitalWrite(ch1,LOW);
digitalWrite(ch2,LOW);
digitalWrite(ch3,LOW);
digitalWrite(ch4,HIGH);
digitalWrite(ch11,LOW);
digitalWrite(ch22,HIGH);
digitalWrite(ch33,LOW);
digitalWrite(ch44,HIGH);
delay(1500);
}
```

Pràctica 9: Arduino+Bluetooth

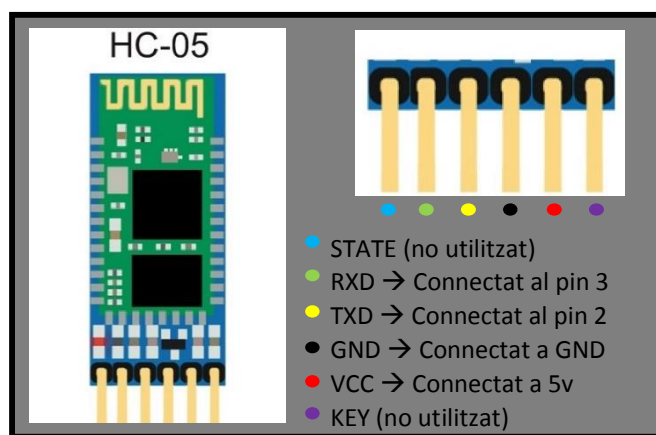
Abans d'aplicar la connexió via Bluetooth al nostre circuit, vam decidir fer una pràctica a petita escala, per a aprendre el funcionament del mòdul Bluetooth, com connectar-lo a la placa Arduino UNO i com controlar-lo des d'una aplicació del mòbil.

Per a dur a terme la pràctica vam requerir del següent material:

- Arduino UNO
- Mòdul Bluetooth HC-05
- LED
- Jumpers mascle-masclle
- Jumpers femella-masclle
- Mòbil Android

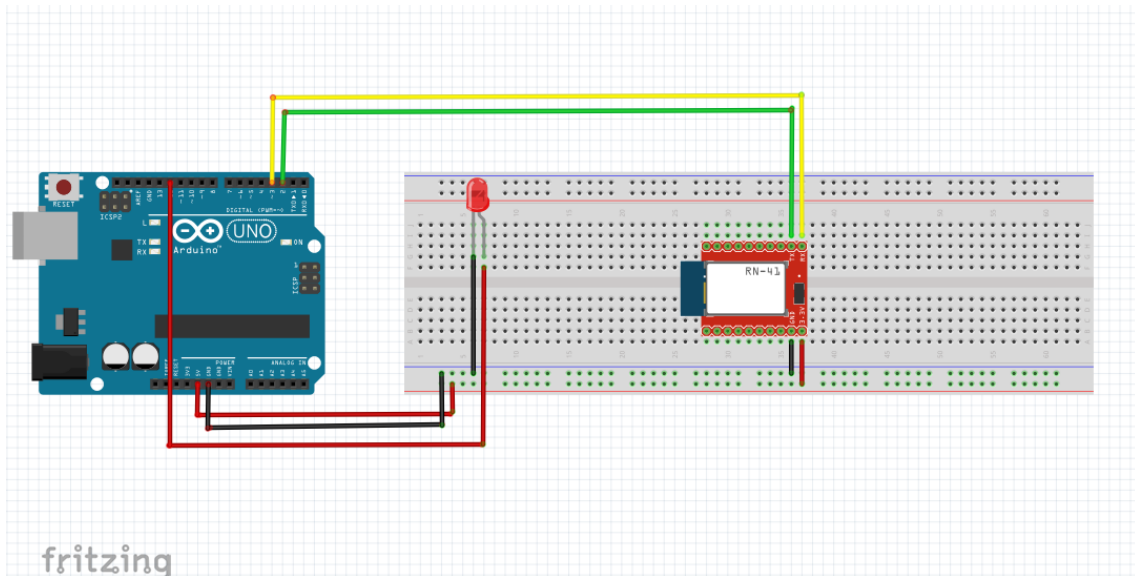
Primerament vam haver de fer les connexions corresponents entre el mòdul Bluetooth i els pins d'Arduino. El mòdul Bluetooth funciona connectat a 3,3v o a 5v, ambdós disponibles a la placa Arduino, per a aquesta pràctica vam decidir connectar-lo a 5v.

Si analitzem un mòdul HC-05 podem observar que consta de 6 pins:



Dels sis pins en total que trobem en aquest dispositiu només en vam utilitzar quatre d'ells. Els pins RXD i TXD serveixen per a connectar la placa Mòdul Bluetooth HC-05 a la placa Arduino UNO, podriem dir que fan la mateixa funció que un cable USB, però mitjançant una connexió amb jumpers. En el nostre cas hem connectat, com indica a l'esquema, el pin RXD al pin 3 de l'Arduino i el pin TXD al pin 2 de l'Arduino, tots dos pins digitals.

El pin GND (Ground) va connectat a través d'un jumper al pin GND de la placa Arduino; el mateix pel pin VCC. Aquí tenim l'esquema del muntatge:



Un cop realitzades les connexions, continuem amb la programació.

Prèviament vam fer una recerca de pràctiques semblants i vam escollir una d'elles, vam fer les modificacions necessàries per adaptar la programació al nostre circuit :



practica_led\$

```
#include <SoftwareSerial.h>

int bluetoothTx = 2; // Connectem el TX al pin 2.
int bluetoothRx = 3; // Connectem el RX al pin 3.

int led=11; // El led està conectat al pin digital 13.

int dataFromBt; // Variable que emmagatzema el que rep del mòdul Bluetooth.

boolean lightBlink = false; // Variable que ens indica si el LED està encès (true) o apagat (false).

SoftwareSerial bluetooth(bluetoothTx, bluetoothRx); // Mètode que envia com a paràmetres el pin al qual connectem TX i RX.

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Velocitat de transmissió en que comença el monitor serial (bps).
  bluetooth.begin(9600); // Velocitat de transmissió en que comença el Bluetooth (bps).
  pinMode(led, OUTPUT); // Configurem el pin on està connectat el LED com a OUTPUT.
}

void loop()
{
  if(bluetooth.available()) // Si el Bluetooth està disponible,
  {
    dataFromBt = bluetooth.read(); // Llegeix el que rep el mòdul Bluetooth.
    if(dataFromBt == '1'){ // Si el que llegeix és el número 1,
      Serial.println("led on"); // mostrem pel monitor serial un missatge (led encès).
      digitalWrite(led, HIGH); // configurem el pin on està connectat el LED com a HIGH.
    }

    if(dataFromBt == '0'){ //Si el que llegeix és el número 0,
      Serial.println("led off"); // mostrem pel monitor serial un missatge (led apagat).
      digitalWrite(led, LOW); // configurem el pin on està connectat el LED com a LOW.
    }

    if(dataFromBt == 'b'){ // Si el caràcter rebut és "b"
      Serial.println("a"); // mostrem un missatge per pantalla.
      lightBlink = true; // i passem a "true" la variable boolean declarada anteriorment
    }else{
      lightBlink = false ; // pel contrari, tornem a posar-la a "false".
    }
  }

  if(Serial.available()) // Si algun caràcter ha estat mostrat pel monitor serial,
  {
    // Envia'ls cap al Bluetooth.
    bluetooth.print((char)Serial.read());
  }

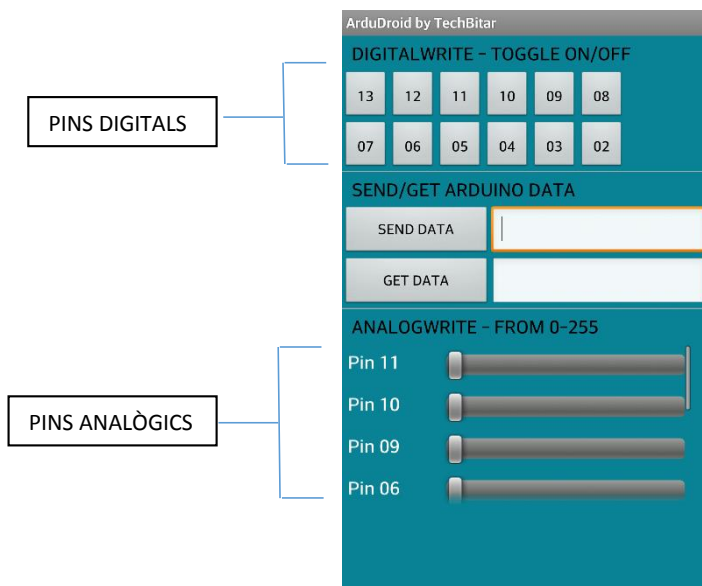
  // i fes, continuament:
  if(lightBlink){ // Si la variable és "true".
    digitalWrite(led, HIGH); // Pin on connectem el LED rep voltatge (LED encès).
    Serial.println("HIGH"); // Mostrem missatge pel monitor serial.
    delay(500); // Esperem mig segon.
    digitalWrite(led, LOW); // Pin on connectem el LED no rep voltatge (LED apagat).
    Serial.println("LOW"); // Mostrem missatge pel monitor serial.
    delay(500); // Esperem mig segon.
  }
}
```

<

Carga terminada.

Tamaño binario del Sketch: 4.938 bytes (de un máximo de 32.256 bytes)

Finalment, per provar si realment funcionava vam descarregar una aplicació ja creada que controlava aquest programa. Aquesta tenia el següent aspecte:



Si analitzem l'aplicació podem observar que està dividida en tres apartats. Si premem el botó corresponent a un pin digital aquest rebrà voltatge, i per tant el receptor connectat al pin s'encendra o apagarà (cal saber que estan separats per defecte).

"Send data" i "Get data" serveixen per a enviar i rebre informació del dispositiu Bluetooth.

Finalment, els pins analògics funcionen de la mateixa manera que els digitals, però podem regular la seva intensitat.

Si analitzem l'aplicació podem observar que està dividida en tres apartats. Si premem el botó corresponent a un pin digital aquest rebrà voltatge, i per tant el receptor connectat al pin s'encendra o apagarà (cal saber que estan separats per defecte).

"Send data" i "Get data" serveixen per a enviar i rebre informació del dispositiu Bluetooth.

Finalment, els pins analògics funcionen de la mateixa manera que els digitals, però podem regular la seva intensitat.

Vam fer la prova i el LED va funcionar, s'encenia i s'apagava al clicar el pin corresponent. Per tant, una vegada comprovat, vam fer el nostre propi programa i la nostra pròpia aplicació, deixant intacte el muntatge inicial. Com podem observar és molt més senzill que l'anterior, però igual d'útil.



```
programa_arduino.tmp $
void setup()
{
  pinMode(13,OUTPUT); // Configurem el pin 13 com a OUTPUT, és a dir sortida.
  Serial.begin(9600); // Inicialitzem la transmissió i la velocitat del port a 9600 bps.
}
void loop()
{
  char dato=Serial.read(); // Declarem una variable del tipus "caràcter", és a dir, una lletra.
  // Aquest caràcter el rebrem de la programació de l'aplicació Android, que més endavant explicarem.
  // Un cop rebem el caràcter,
  if (dato=='a')digitalWrite(13,HIGH); // si aquest és la lletra "a", dona voltatge al pin 13.
  if (dato=='b')digitalWrite(13,LOW); // si aquest és la lletra "b", no rep voltatge.
}
```

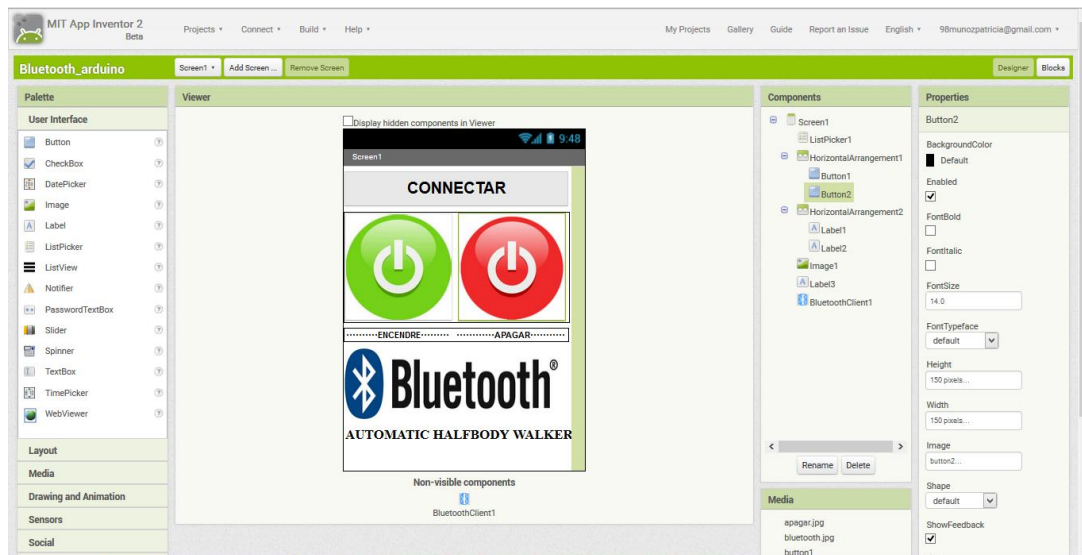
Compilación terminada

Tamaño binario del Sketch: 2.268 bytes (de un máximo de 32.256 bytes)

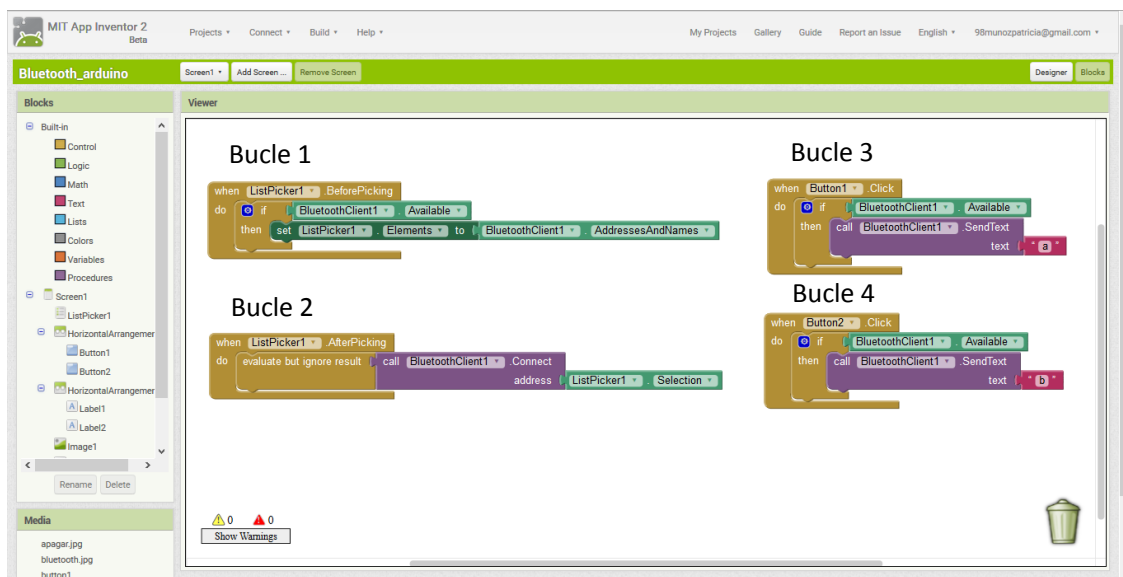
13 Arduino Uno on COM3

També vam crear la nostra pròpia aplicació amb el programa Mit App Inventor 2. Aquest va ser el procés que vam seguir en quant al disseny i la programació dels botons per obtenir l'aplicació final:

En quant al disseny, aquest es basa en tres botons. El primer és el botó "CONNECTAR", que més endavant veurem que serveix per triar el dispositiu al qual volem connectar el Bluetooth. Els altres dos tenen la funció d'encendre i apagar el LED.



En quant a la programació d'aquests tres botons, observem quatre bucles diferents:



El primer i el segon bucle controlen l'abans i el després de la connexió amb el dispositiu. Per tant, al primer bucle (control de l'abans), el primer que comprovem és si hi ha dispositius Bluetooth disponibles per a ser connectats amb l'aplicació, si aquest és el cas, detecta el seu nom i la seva adreça, així preparant-se per a la posterior connexió, de la qual s'encarrega el segon bucle. El tercer i el quart bucle es posen en marxa durant la connexió. Si volem encendre el LED, clicarem el botó ENCENDRE i aquest enviarà, mitjançant el tercer bucle, la lletra "a"; si volem apagar el LED, clicarem el botó APAGAR i aquest enviarà, mitjançant el quart bucle, la lletra "b". Aquests dos caràcters seran rebuts per el mòdul Bluetooth i analitzats pel programa d'Arduino explicat anteriorment.

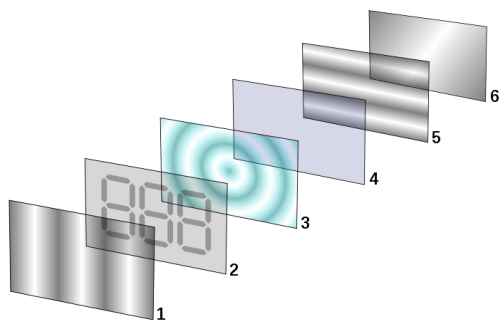
Pràctica 10: LCD “Hello world!”

Les pantalles LCD són pantalles de cristall líquid, les sigles vénen de l’anglès: *liquid crystal display*. Són pantalles primes i planes formades per un nombre de píxels en color o monocrom col·locats davant una font de llum o reflector.

Per tal d’entendre’ns millor, posem un exemple quotidià com podria ser la pantalla que s’utilitza en els despertadors com aquests:



I com ja hem esmentat, es divideix en diferents pantalles les quals l’estructura i ordre sol ser el següent:



La majoria de pantalles LCD vénen unides a un circuit electrònic, com és el cas del despertador anterior o bé l’Arduino, una placa electrònica que controlar una pantalla LCD a la perfecció ja que és extremadament senzill enviar dades a una pantalla d’aquest tipus des d’Arduino gràcies a la llibreria “LiquidCrystal”, que ve adjuntada amb Arduino IDE (el Software gratuït d’Arduino).

La llibreria “LiquidCrystal” permet controlar dispositius LCD que són compatibles amb el Hitachi HD44780 driver, una matriu de punts de pantalla de cristall líquid alfanumèrica desenvolupada per Hitachi (una companyia japonesa). El joc de caràcters del controlador inclou caràcters ASCII, caràcters japonesos i alguns símbols en dues línies de vint-i-vuit caràcters. El màxim de caràcters que pot mostrar el dispositiu utilitzant una extensió, és de vuitanta caràcters.

L'exemple que hem utilitzat per comprovar el funcionament de la nostra placa LCD s'anomena "Hello world!". Bàsicament, imprimeix per pantalla el títol d'aquest exemple i mostra el temps en segons des de que l'Arduino va ser resetejat.



Aquestes plaques poden tenir diferents mesures, nosaltres hem triat la placa 2x16.

Els dispositius LCD tenen una interfície paral·lela, que vol dir que el microcontrolador ha de manipular diversos pins de la interfície alhora per tal de controlar el dispositiu. La interfície consisteix en els següents pins:

- Pin "Register select" (RS), que controla on de la memòria de l'LCD s'estan emmagatzemant dades.
- Pin "Read/Write" (R/W) que selecciona el mode "escriptura" o el mode "lectura".
- Els pins que permeten escriure als registres dels pins D0 fins D7. Els estats d'aquests pins (HIGH o LOW) son els bits que tu estàs escrivint a un registre quan tu escrus, o els valors que tu estas llegint quan tu llegeixes.
- Display contrast pin (Vo)
- Pins d'alimentació elèctrica (+5V i Gnd)
- LED Backlight (Bklt+ and Bklt-) pins que tu pots utilitzar per alimentar l' LCD, controlar el dispositiu de contrast, i encendre i apagar la llum del LED, respectivament.

El procés de controlar el dispositiu implica posar les dades que formen la imatge del que vols mostrar en els registres de dades, després posant instruccions en el registre d'instruccions. La llibreria "LiquidCrystal" simplifica això per a nosaltres, per tant no necessitem conèixer les instruccions de baix nivell.

Els LCD compatibles amb Hitachi poden ser controlats en dos modes: 4-bit o 8-bit. El mode 4-bit requereix 7 I/O pins d'Arduino, mentre que el mode 8-bit en necessita onze. Per tal de mostrar text per pantalla, es pot fer gairebé tot mitjançant el mode 4-bit, per tant aquest exemple mostra com controlar un dispositiu LCD de 2x16 en aquest mode.

El hardware necessari és:

- Placa Arduino
- Pantalla LCD
- Potenciòmetre 10k
- Jumpers
- Connectors mascle (per tal de soldar als pins de la pantalla LCD)
- Placa protoboard

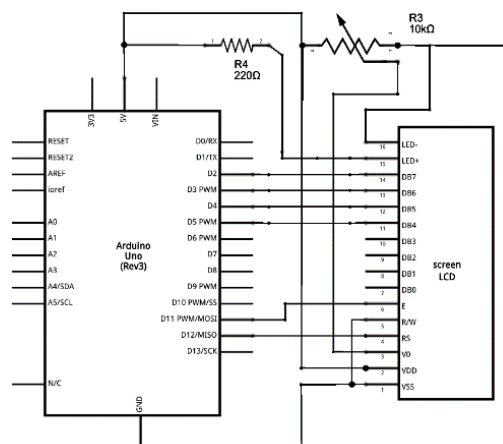
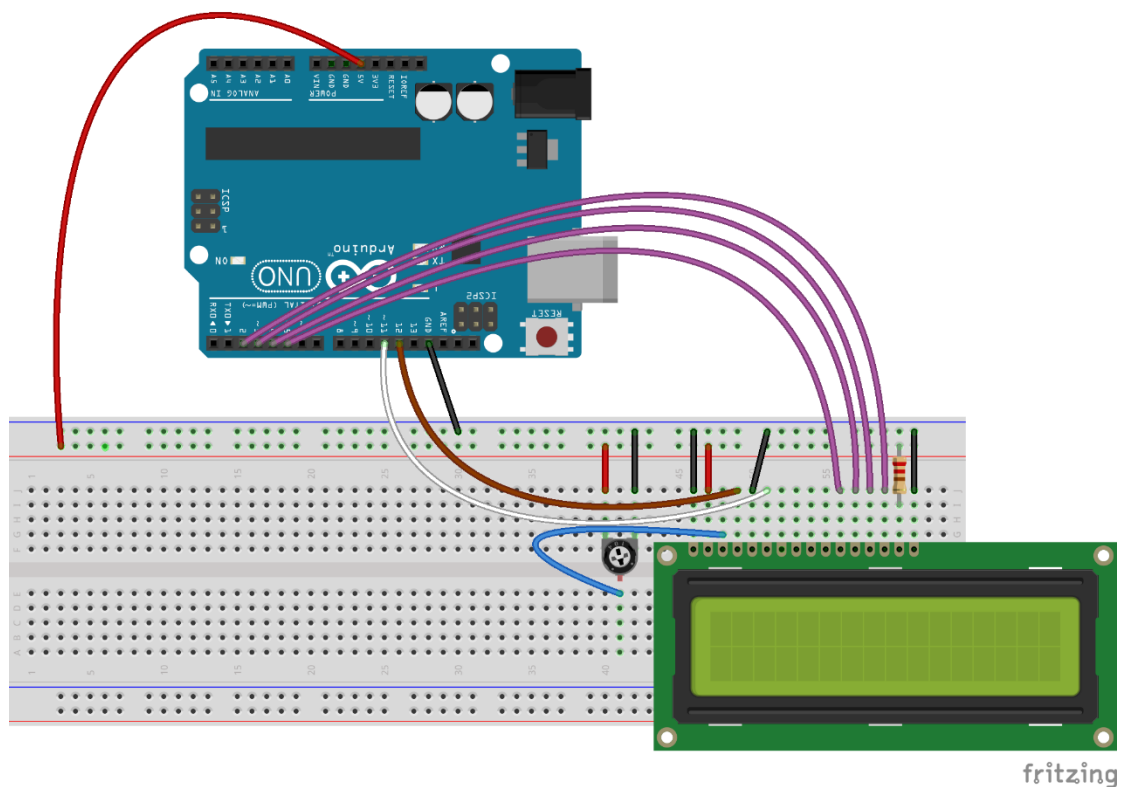
En quant el potenciòmetre de 10k, aquest mesura les diferències de potencial elèctric i podem dir que es tracta d'una resistència variable. Aquest va ser necessari en el circuit electrònic d'aquesta pràctica perquè ens va permetre limitar el pas del corrent elèctric provocant una caiguda de tensió en ells, com en una resistència però amb l'afegit que el valor d'aquesta no és constant, d'aquí el nom "resistència variable". Per tant, el motiu pel qual vam necessitar aquest component va ser l'impediment d'un valor massa elevat d'intensitat (aquest no deixaria que el circuit funcionés correctament) provocant una caiguda de tensió per evitar-ho.

El valor escollit és de 10k ohms, i aquesta és la resistència màxima que pot arribar a assolir. La mínima, lògicament, és zero. Per tant, el potenciòmetre escollit pot tenir un valor des de 0 ohms fins a 10000 ohms.

Per connectar la pantalla LCD a l'Arduino, les connexions corresponents són:

LCD	Arduino
RS pin	Digital pin 12
Enable pin	Digital pin 11
D4 pin	Digital pin 5
D5 pin	Digital pin 4
D6 pin	Digital pin 3
D7 pin	Digital pin 2

A més, cableja un potenciòmetre de 10K cap a +5V i cap terra, GND, amb la sortida cap al pin 3 (Vo.) Mostrem les connexions realitzades esquemàticament mitjançant el programa Fritzing:



En quant a la programació, el codi consta en demostrar l'ús d'una pantalla LCD 2x16. La llibreria "LiquidCrystal" treballa amb tots els dispositius LCD que són compatibles amb Hitachi HD44780 driver.

Aquest sketch el que fa és imprimir per pantalla "Hello World!" i mostra el temps:

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, there is a toolbar with icons for checking, running, saving, and uploading. Below the toolbar, the file name 'practica_lcd' is visible in a tab. The main area contains the following C++ code:

```
/*
  LiquidCrystal Library - Hello World

  Aquest programa mostrarà l'us d'una pantalla LCD de 16x2.
  La llibreria Liquid Crystal treballa amb tots els LCD
  comparibles amb Hitachi HD44780 driver.

  Aquest sketch imprimeix per la pantalla del dispositiu:
  "Hello World!! i va mostrant el temps.
  */

//Afegim la llibreria:
#include <LiquidCrystal.h>

//Inicialitzem la llibreria amb els números de pins de la interfície:
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  //Definim el nombre de columnes i files de la pantalla:
  lcd.begin(16, 2);
  //Imprimim el missatge:
  lcd.print("hello, world!");
}

void loop() {
  //Col·loquem el cursor a la columna 0, línia 1
  //NOTA: la línia 1 és la segona fila perquè el recompte comença de 0
  lcd.setCursor(0, 1);
  //Imprimim el nombre de segons des del reinici:
  lcd.print(millis() / 1000);
}
```

Pràctiques amb ventoses

Cal aclarir que les dues pràctiques s'han fet amb els dos tipus de ventoses, amb les més petites i després amb les de major diàmetre..

PRÀCTICA 1: CONTROL DE DUES VENTOSSES PNEUMÀTIQUES MITJANÇANT ARDUINO

Les volem controlar electrònicament amb la placa Arduino, per tant necessitem també una placa mòdul formada per quatre relés.

En aquesta pràctica fusionem dues branques de la tecnologia diferents, per una banda tenim la part d'electrònica i per altra banda la pneumàtica. La placa de relés ens permet fusionar aquestes dues parts.

Per tant, no és possible realitzar connexions directes entre la placa Arduino i els dispositius pneumàtics, necessiten un dispositiu intermedi i aquesta és la placa mòdul de quatre relés.

Dividim la pràctica en dues parts, la primera és el muntatge del circuit electrònic i pneumàtic, i la segona és la programació d'aquest.

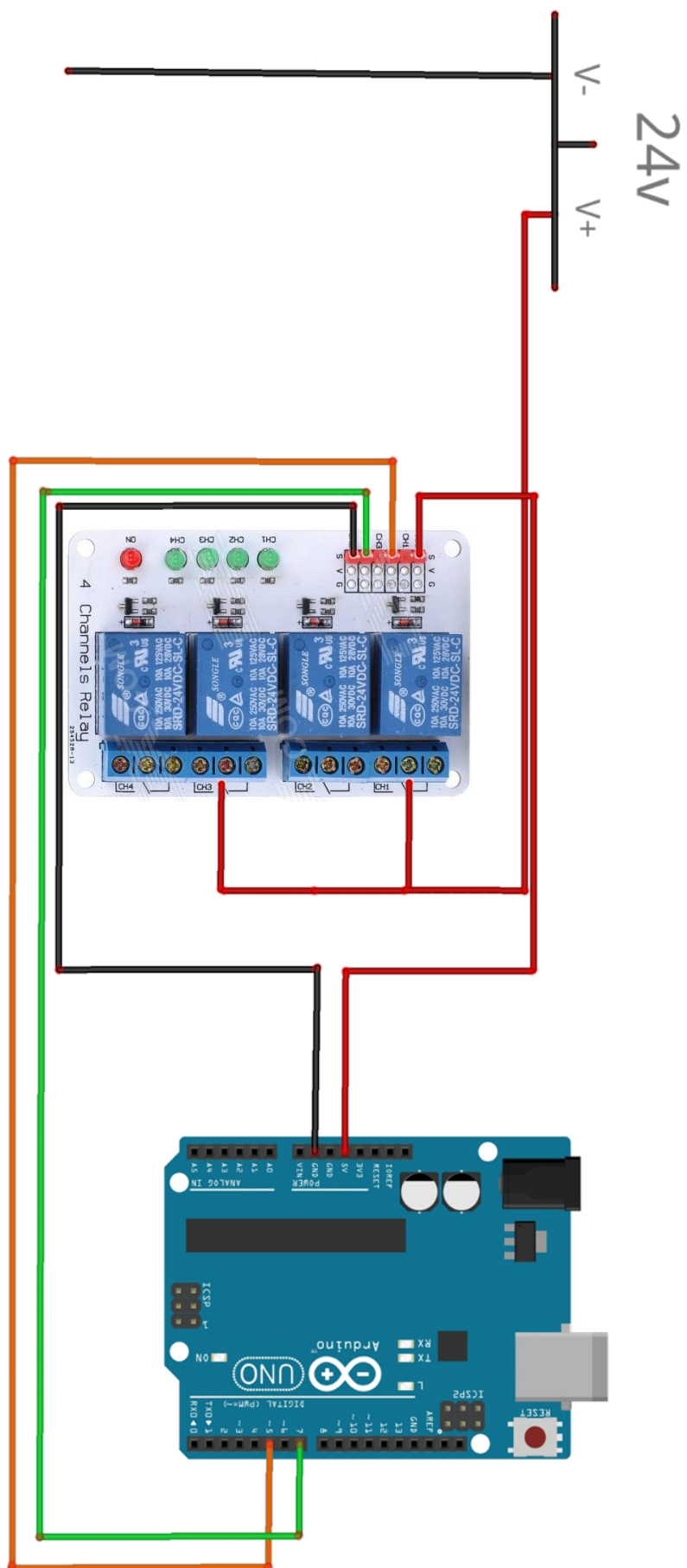
En quant al muntatge del circuit, observant l'esquema, podem veure les connexions necessàries per tal de fer funcionar alternadament a dues ventoses pneumàtiques.

Pel que fa a l'electrònica, tenim la placa Arduino UNO comunicada amb la placa mòdul de quatre relés mitjançant jumpers, que comunica els cinc volts de la placa amb el voltatge de la placa mòdul, així mateix amb les connexions a terra, Ground. Per últim també tenim les connexions dels relés que volem utilitzar als pins de l'Arduino que decidim, nosaltres hem triat els pins 8 i 10. Per tant, aquestes són les connexions entre les dues plaques:

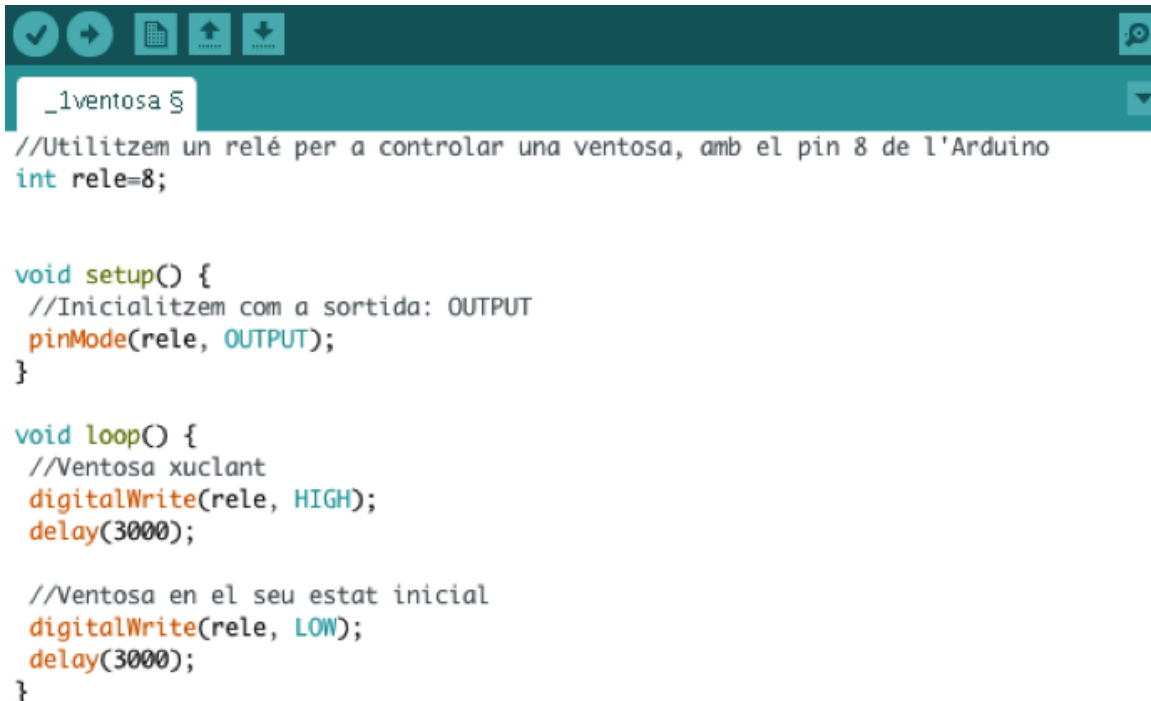
Placa Arduino UNO	Placa mòdul de quatre relés
VCC (5v)	VCC
GND	GND
pin 8	CH2 (canal 2)
pin 10	CH4 (canal 4)

Cal dir també que la placa Arduino va connectada mitjançant un cable USB a un dispositiu com pot ser un portàtil, ja que sinó, no rebria el voltatge necessari per posar-se en marxa, ni per adquirir el codi de la programació corresponent.

Pel que fa a la pneumàtica, tenim les ventoses amb les vàlvules corresponents comunicades amb la placa mòdul relés mitjançant jumpers que connecten els canals normalment oberts amb el voltatge de la font d'alimentació de 24 volts, i el normalment tancat amb les electrovàlvules monoestables que controlen les ventoses. Finalment, les electrovàlvules aniran connectades també al pol positiu dels 24 volts de la font d'alimentació.



En quant la programació, aquesta va ser la primera prova on controlem solament una ventosa pneumàtica. En aquest cas utilitzem el pin número 8 de l'Arduino i el que repetim indefinidament al bucle és aplicar voltatge a la ventosa (estat: HIGH) i provocar que, després de tres segons, aquesta no rebi voltatge (estat: LOW), i així successivament:

A screenshot of the Arduino IDE interface. The top toolbar shows icons for checking, uploading, and downloading. The file explorer on the left shows a file named "_1ventosa §". The main editor area contains the following code:

```
//Utilitzem un relé per a controlar una ventosa, amb el pin 8 de l'Arduino
int rele=8;

void setup() {
  //Inicialitzem com a sortida: OUTPUT
  pinMode(rele, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Ventosa xuclant
  digitalWrite(rele, HIGH);
  delay(3000);

  //Ventosa en el seu estat inicial
  digitalWrite(rele, LOW);
  delay(3000);
}
```

Després vàrem passar a controlar dues ventoses, a alternar-les: mentre una xuclava (rebia voltatge; estat HIGH) l'altra deixava de xuclar (deixava de rebre voltatge; en estat LOW):

A screenshot of the Arduino IDE interface. The top toolbar shows icons for checking, uploading, and downloading. The file explorer on the left shows a file named "_2ventoses". The main editor area contains the following code:

```
//CONTROL 2 VENTOSSES
/*Programa en què alternarem el funcionament de dues ventoses:
mentre una d'elles rep voltatge, l'altre no en rep*/

int rele2=8; //relé 2 controlat pel pin 8 a l'Arduino
int rele4=10; //relé 4 controlat pel pin 10 a l'Arduino

void setup() { //inicialitzem com a OUTPUT
  pinMode(rele2, OUTPUT);
  pinMode(rele4, OUTPUT);
}

void loop() { //successivament durant el programa:
  digitalWrite(rele2, HIGH); //relé 2 rebrà voltatge
  digitalWrite(rele4, LOW); //relé 4 no en rebrà
  delay(2000); //esperem 2 segons, i seguidament intercanviem l'ordre

  digitalWrite(rele2, LOW);
  digitalWrite(rele4, HIGH);
  delay(2000);
}
```


PRÀCTICA 2: CONTROL DE DUES VENTOSSES PNEUMÀTIQUES I DOS CILINDRES PNEUMÀTICS MITJANÇANT ARDUINO

Una vegada realitzada la prova del funcionament de les dues ventoses amb èxit, vam incorporar dos cilindres per així comprovar el funcionament d'aquests dos elements fusionats i estudiar aquest funcionament per esbrinar si aquesta idea es podria convertir en el nostre peu definitiu per al robot. Com comentem més àmpliament en l'apartat de "L'equilibri i l'avançament", la nostra idea era fer que un cilindre situat al peu avançés amb una ventosa col·locada al seu extrem, quan aquest estigués avançant la ventosa prosseguiria a xuclar i seguidament el cilindre passaria a retrocedir, així portant tota la cama cap a la posició on es trobés la ventosa. I així successivament alternant les dues cames. Electrònicament, els passos serien aquests, traduït electrònicament:

Tenint en compte que:

- Arriba voltatge (>0v) → estat HIGH
- No arriba voltatge (=0v) → estat LOW
- 1. Cilindre HIGH i ventosa LOW
- 2. Cilindre seguirà a HIGH i ventosa passarà a HIGH
- 3. Cilindre passarà a LOW i ventosa seguirà a HIGH

Una vegada ven entesos aquests passos, ja podem entendre també el programa, que es basa en aplicar voltatge o no seguint la seqüència de tres passos repetidament, però alternant les dues cames.

```
int ch11=9; //cilindre esquerra
int ch22=10; //ventosa esquerra
int ch33=11; //cilindre dreta
int ch44=8; //ventosa dreta
int ch2=4; //cama dreta adalt
int ch4=6; //cama dreta abaix

void setup() {
  pinMode(ch11,OUTPUT);
  pinMode(ch22,OUTPUT);
  pinMode(ch33,OUTPUT);
  pinMode(ch44,OUTPUT);
  pinMode(ch2,OUTPUT);
  pinMode(ch4,OUTPUT);

  //posició inicial
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
}
```

```

void loop() {
  /*Desxucla ventosa -> avança cilindre un i despres l'altre ->
  xucla ventosa -> desxucla ventosa -> retrocedeix cilindre -> xucla ventosa*/
  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,LOW);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch11,HIGH);
  digitalWrite(ch22,LOW);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch11,HIGH);
  digitalWrite(ch22,LOW);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch11,HIGH);
  digitalWrite(ch22,HIGH);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,HIGH);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(7000);

  digitalWrite(ch11,HIGH);
  digitalWrite(ch22,LOW);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,LOW);
  digitalWrite(ch33,HIGH);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);

  digitalWrite(ch11,LOW);
  digitalWrite(ch22,LOW);
  digitalWrite(ch33,LOW);
  digitalWrite(ch44,LOW);
  digitalWrite(ch2,HIGH);
  digitalWrite(ch4,HIGH);
  delay(2000);
}

```

Aquest va ser el programa definitiu dels peus del robot.

L'EQUILIBRI I L'AVANÇAMENT

Sentit de l'equilibri

L'equilibriocepció o sentit de l'equilibri és un sentit fisiològic, un mecanisme de la percepció que permet a humans i animals caminar sense caure. El sentit de l'equilibri és producte de tres sistemes separats que treballen de la següent manera:

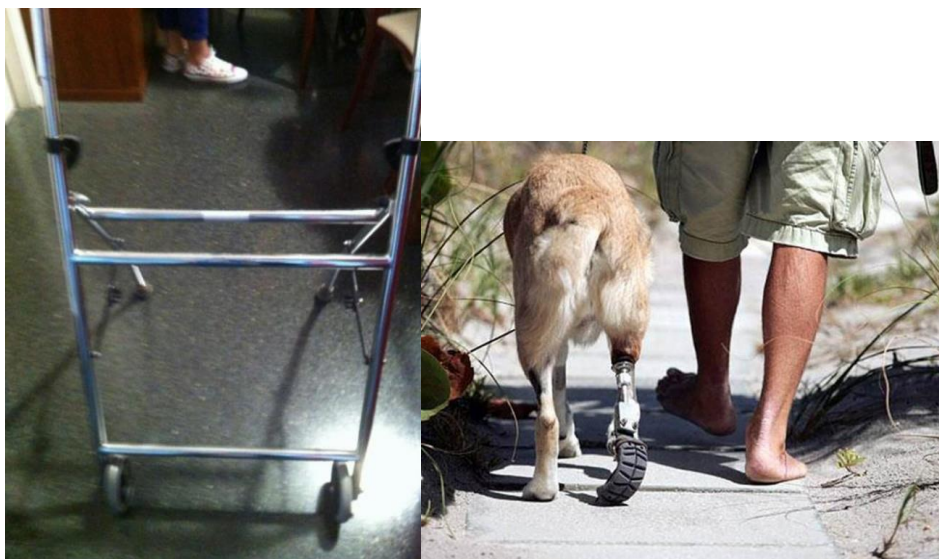
- Nombrosos sensors de pressió situats en coll, tors, articulacions de les cames i peus transmeten senyals al cervell per informar on és el cos respecte a l'entorn (propiocepció). Els missatges s'envien, per exemple, quan girem el cap, ens movem i caminem sobre diferents superfícies.
- L'aparell vestibular que situat a l'oïda està involucrat en la percepció de l'equilibri i l'estabilitat. Quan girem el cap ràpidament, el líquid dels canals semicirculars (òrgan de l'oïda interna que juntament amb el sàcul i utricle determinen l'equilibri dinàmic del cos humà) mou els petits borrisols que envien un missatge (a través del nervi vestibulococlear) al cerebel sobre del moviment. En menys d'un segon, el cerebel transmet missatges als músculs necessaris per mantenir l'equilibri, i ajuda als ulls a romandre enfocats.
- D'altra banda, a la part posterior dels ulls, les terminacions nervioses de la retina tenen cèl·lules sensibles a la llum. Quan observem alguna cosa, la llum arriba a la retina, mentre que les cèl·lules nervioses envien senyals elèctriques al cervell a través del nervi òptic, a fi d'interpretar el percebut i crear imatges visuals. Així mateix, determinar la profunditat (a quina distància està un objecte), és vital per mantenir l'equilibri.

Podem dir que, per tant, que el sentit de l'equilibri son totes aquelles sensacions que ens informen en tot moment de la posició del nostre cap respecte a l'espai tridimensional en el que ens movem, i resideix en l'oïda interna. Concepte inassolible per un robot que no disposa de cap detector ni rectificador de moviments; els moviments imperfectes que faciliten la pèrdua d'equilibri i provoquen la caiguda.

Si pensem en la solució més adient per a aconseguir l'equilibri, el més apropiat i lògic és la idea d'incorporar sensors que siguin capaços d'imitar el sentit de l'equilibri humà: analitzar els moviments i rectificar aquells que provoquen imperfeccions. D'aquests sensors, però, en parlarem més endavant ja que no ens vam adonar que els necessitaríem fins que vam crear una estructura estable que assolia l'equilibri només mentre romania estàtica, fet que va ésser possible gràcies a l'estructura final dels peus i la incorporació de servomotors, els quals concerneixen en el tema de l'equilibri i per tant en parlarem a continuació paral·lelament amb el conjunt d'idees alternatives posteriors a l'elecció final (els sensors).

Peu "patineta" i l'estructura "taca"

Primerament, encara sense haver analitzat com seria la nostra estructura ni si podríem assolir l'equilibri amb aquesta sense cap ajuda externa, degut a les tesis doctorals que vam llegir, vam pensar en un "taca", una estructura metàl·lica o bé de fusta, que suportaria el nostre robot per a que pogués caminar. I com a peus, utilitzaríem rodetes incorporades en una estructura "peu patineta", que és la forma corbada que tenen la planta dels peus dels mecanismes que utilitzen les persones discapacitades alhora de moure's, de practicar un esport, o de caminar.





Una pròtesis és una extensió artificial eina que s'utilitza per a què una persona compensi la deficiència o pèrdua d'una part del seu cos. Una pròtesis a de reemplaçar un membre del cos donant gairebé la mateixa funció que un membre natural. Per exemple en el cas de l'amputació d'una cama, es pot col·locar una cama artificial, o pròtesis. I això farà possible que la persona pugui caminar.

Cal esmentar que una pròtesis no és el mateix que una ortesis, no les hem de confondre. Les ortesis són definides per la ISO (Organización Internacional de Normalización) com a un recolzament o un altre dispositiu extern aplicat al cos per modificar els aspectes funcionals o estructurals del sistema muscular-esquelètic . Aquests es poden classificar en base a la seva funció en : estabilitzadores, funcionals, correctores i protectores.

Per tant, mentre que les pròtesis són qualsevol aparell extern utilitzat per reemplaçar total o parcialment el segment d'un membre deficient o absent, les ortesis són tot aquell dispositiu aplicat externament sobre el cos humà, que s'utilitza per modificar les característiques estructurals o funcionals del sistema muscular-esquelètic. Tots dos són ajuts, però la principal diferència d'aquests és que les pròtesis substitueixen una part del cos mentre que les ortesis li donen suport o complementen, però no la substitueixen. En la següent imatge hi podem observar la diferència:



Nosaltres ens centrarem en les pròtesis, concretament en els peus protètics, que avui dia, hi ha disponibles més de 50 models. Alguns estan dissenyats per realitzar tasques específiques com per exemple ballar , anar en bicicleta , jugar a golf , nedar, esquiar o córrer.

Molts peus protètics són impermeables i estan fabricats amb materials lleugers com el plàstic , els aliatges de metall i els compostos de fibra de carboni . La nostra idea, si finalment ens decidíem per aquesta opció, era dissenyar-los nosaltres i imprimir-los amb la impressora 3d i per tant amb plàstic PVC (policlorur de vinili) o bé fabricar-los amb fusta, que degut a la seva planta corbada hagués estat massa complicat.

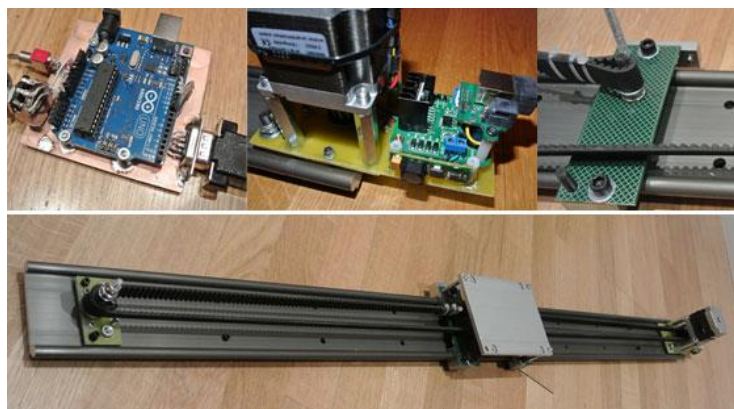
Els peus protètics poden ser bàsics (fixos) , articulats (es mouen en una o més direccions) o de resposta dinàmica (acumulen i retornen energia en caminar, donant una sensació de "empenta ", semblant al que realitza el peu humà i, per tant, la opció que més ens interessa) . En l'actualitat, els peus protètics poden tenir ressorts a la zona corresponent als dits i al taló per tal de permetre un major moviment del turmell , la regulació del taló a diverses altures i l'absorció de l'impacte.

Aquesta idea implicava fer un canvi de prototip i de seqüència. Primerament teníem pensat utilitzar sis cilindres, dos d'ells pels peus. Però si finalment col·locàvem el peu "patineta", havíem de descartar els dos cilindres del peu i per tant, canviar també la seqüència.

Carril controlat per Arduino

Més endavant, com a segona idea vàrem pensar en un carril. Aquest carril acompanyaria al nostre robot alhora de evitant la caiguda d'aquest. Com a peus manteníem les idees de l'opció anterior: peu "patineta" o bé amb cilindres, ho decidirem més endavant.

Per la idea del carril ens vam basar en un article que tracta sobre un projecte de Nikonistas des de Saragossa que ha publicat una guia completa per realitzar un carril motoritzat per Time Lapse utilitzant una placa Arduino . El sistema consistia en desplaçar una petita plataforma al llarg d'un rail amb l'ajuda d'un motor pas a pas.



Amb aquest carril també ens podríem haver estalviat un problema que encara no ens havíem plantejat: l'avanç. Per a que el robot faci la primera passa i segueixi realitzant la seqüència de moviments per tal d'aconseguir imitar l'acció de caminar, necessitem una ajuda extra.

Ventoses pneumàtiques i servomotors

Una vegada el muntatge de les cames va finalitzar, vam aprofundir en l'estructura dels peus i en el tema de l'equilibri. Les primeres idees que vam tenir, esmentades anteriorment, no ens van resultar del tot convinents ja que les dues tenien forts inconvenients. Mentre que el "taca" ens amagava gran part del robot, el preu dels materials i peces per crear el carril era molt elevat, i volíem buscar una forma per tal que el robot "caminés" tot sol; sense necessitat d'un altre mecanisme que l'ajudés. Tot i així, per tal d'assolir l'equilibri i aconseguir l'avançament, necessitàvem una ajuda extra. Després de recercar sobre robots controlats electrònicament, vam deduir que utilitzar servomotors seria el més adient. Aquests havien de ser prou resistents per fer la suficient força per moure una estructura pesada com són les cames robòtiques. En l'apartat "Practica Servomotors" hi trobarem els canvis experimentats amb aquests fins arribar al programa adequat.

El control dels moviments realitzats per robots controlats mitjançant únicament l'electrònica és amb servomotors perquè el servomotor, mitjançant l'electrònica també, és senzill de programar adquirint els moviments desitjats, no té cap tipus de complicació més enllà de conèixer el tipus que hem de triar i les seves corresponents característiques, per exemple, si el servomotor elegit tindrà la possibilitat de girar 360º o bé la meitat, 180º. Però el nostre robot no només estaria controlat per l'electrònica, també té una part que fa que aquest sigui més complex i més pesat, vam creure que incorporar servomotors a cada articulació no seria bona idea perquè degut al pes i a la col·locació dels mecanismes pneumàtics incorporats a les cames del robot. Aquests tenen un pes molt més elevat que els materials utilitzats en robots controlats electrònicament i amb servomotors. A més a més, el que ens interessava era l'angle d'avançament respecte el maluc, perquè ens vam adonar que el moviment que realitzarien els servomotors que haguéssim incorporat a les articulacions ja el realitzaven els cilindres pneumàtics alhora de fer la seqüència programada. Això si, amb ajuda del servomotor a l'avançar les cames des del maluc.

Gràcies als servomotors ja teníem part dels problemes solucionada, quan finalment vam descobrir les ventoses pneumàtiques i vam decidir que aquestes eren les elegides per complementar els peus del nostre robot, que complementada amb altres elements que comentarem posteriorment, aconseguiríem que el robot estigués en equilibri sense necessitat d'altres mecanismes massa farragosos. Aquestes ventoses aniran incorporades al peu juntament amb un cilindre pneumàtic més petit que els cilindres de les cames. L'objectiu del cilindre petit de cada peu, quan estigui avançat provocarà també que la ventosa es desplaci ja que aquesta es troba subjectada a la tija del cilindre. Quan aquest estigui en l'avanç, la ventosa crearà el buit i seguidament el cilindre passarà a estar en retrocés, per tant, es produirà l'avançament. Aquesta seria una part de la seqüència que tracta sobre el funcionament dels peus, veurem més detalladament els passos que segueixen les ventoses i els cilindres dels peus en les línies de codi en l'apartat de "pràctiques".

El més important de l'elecció final: les dues ventoses i els dos cilindres que faran de peus, els substituiran i per tant imitaran la seva funció, és la manera en la qual hem aconseguit l'avanç. En un principi, aquestes no eren lo suficientment potents com per suportar tota l'estructura quan aquestes estiguessin xuclant i, per això, vam fer un canvi escollint ventoses de major diàmetre i major potència, aquestes ens van resoldre el problema d'equilibri i l'estructura estàtica no cauria. Ara només faltava l'avanç; podem dividir la idea que assoliria el nostre objectiu d'avançament en tres passos:

1. **Avançament del cilindre i ventosa sense xuclar.**
2. **Ventosa xuclant.** Un cop avançat, la ventosa xuclarà.
3. **Retrocés del cilindre.** El cilindre segueix avançat i la ventosa segueix xuclant, aquest pas consistirà en canviar l'estat del cilindre: aquest deixarà de rebre voltatge i per tant retrocedirà. Com que la ventosa està xuclant, el que provocarà el retrocés del cilindre serà l'avançament de la cama.

I aquests tres passos es repetiran successivament en un bucle alternant el peu dret i el peu esquerra.

Com podem observar en les fotografies següents, aquesta és la seqüència de tres passos esmentada anteriorment:

(Fotografia dels peus i les ventoses seguint la seqüència)

Una vegada muntada l'estructura final amb les ventoses incorporades, vam observar que quan el cilindre avançava, degut a la tensió dels cables, al retrocedir el cilindre, la ventosa es girava i per tant ja no tocava al terra. Per això vam haver de crear una guia en 3D perquè les ventoses es mantinguessin fregant el terra en tot moment i que no depenguessin de la tensió del cablejat.

(Fotografia ventosa sense guia i amb guia)

Com podem observar a les fotografies anteriors, hem col·locat una petita roda a la planta de l'estructura que forma el peu per tal que l'avançament sigui més fluït i no vagi fregant la fusta.

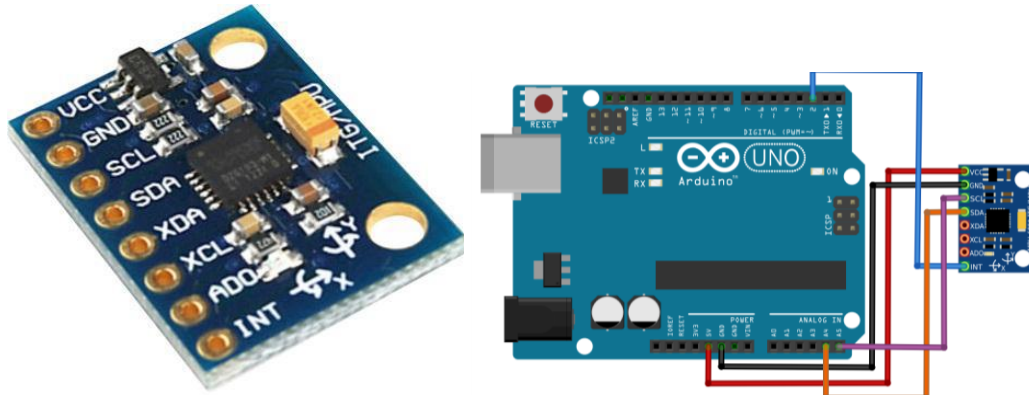
Més tard, ens vam trobar amb el dubte de si aquestes serien suficientment potents per mantenir l'estructura en equilibri, un pes fonamental d'aquest treball, d'aconseguir el caminar humà. Primerament les ventoses eren d'una mida petita i per tant no acabaven de suportar tot el pes, per tant vam haver de canviar-les per unes de dues mides superiors, que aguantàvem perfectament l'estructura.

Finalment, tot i aconseguir una estructura estable que es manté dreta quan roman immòbil, no sabíem si aquesta cauria al fer la seqüència de moviment perquè arribats a aquest punt, no havíem provat la programació de tots els elements incorporats finalment fusionada: faltaven els servomotors, que esperàvem la peça d'unió impresa. Per això vam començar a pensar en una alternativa per si l'estructura no continuava sent estable, i tampoc no hi teníem incorporat cap detector que pogués rectificar aquells moviments imperfectes que faciliten la pèrdua d'equilibri.

Per tant, vam decidir informar-nos sobre sensors amb la capacitat de rectificar els moviments per tal d'aconseguir l'equilibri total, paral·lelament al treball de millora de la seqüència del caminar humà i l'espera de la peça de suport dels servomotors.

Giroscopi i acceleròmetre

Els sensors que complirien la funció dels factors que intervenen en l'equilibri humà són el giroscopi i l'acceleròmetre. Aquests són dos sensors els quals les seves funcions es complementen. Ho podem observar amb el següent dispositiu:



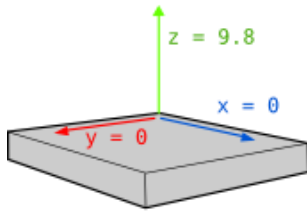
Es tracta d'una IMU, un dispositiu capaç de mesurar la força (acceleració) i la velocitat. Genèricament consta d'un acceleròmetre i un giroscopi. Per tant: una IMU no mesura angles. Almenys no directament, requereix alguns càlculs.

El MPU-6050 és una IMU de 6DOF, que es llegeix «6 Degrees Of Freedom » i significa “6 graus de llibertat”. Això vol dir que porta un acceleròmetre i un giroscopi, tots dos de 3 eixos ($3 + 3 = 6\text{DOF}$). Hi ha Imus de 9DOF, en aquest cas també porten un magnetòmetre. Altres poden tenir 5DOF , en aquest cas el giroscopi només mesura dos eixos, i entre molts d'altres. Cal tenir en compte que l'MPU-6050 opera amb 3.3 volts, encara que algunes versions porten un regulador que permet connectar-la a 5V.

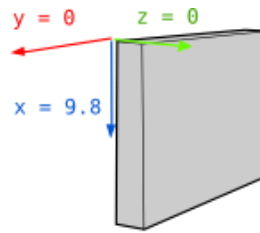
L'acceleròmetre mesura canvis en l'acceleració. L'acceleració pot expressar-se en 3 eixos: X , Y i Z , les tres dimensions de l'espai. Per exemple, si mous la IMU cap amunt, l'eix Z marcarà un cert valor i si és cap endavant, marcarà l'eix X.

Recordem que la gravetat de la Terra té una acceleració de aprox. $9.8 \text{ m} / \text{s}^2$, perpendicular a terra com és lògic. Així doncs, la IMU també detecta l'acceleració de la gravetat terrestre. I això no és un problema, al contrari, ja que gràcies a la gravetat terrestre podem fer servir les lectures de l'acceleròmetre per saber quin és l'angle d'inclinació respecte a l'eix X o l'eix Y.

Si suposem que la IMU estigui perfectament alineada amb el terra. Llavors, com podem veure a la imatge, l'eix Z marcarà 9.8, i els altres dos eixos marcaran 0. Ara suposem que girem la IMU 90 graus. Ara és l'eix X el que està perpendicular a terra, per tant marcarà l'acceleració de la gravetat.



Paralelo al suelo



Girado 90º

Si sabem que la gravetat és 9.8 m/s^2 , i sabem que mesura donen els tres eixos del acceleròmetre, per trigonometria és possible calcular l'angle d'inclinació de la IMU. Aquesta fórmula és:

$$\text{AnguloX} = \text{atan} \left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right)$$

$$\text{AnguloX} = \text{atan} \left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right)$$

on l'eix Z es sol ignorar.

En quant al giroscopi, aquests, en un principi eren uns voluminosos artefactes que valien la major part del pressupost militar d'un estat. Més tard, durant la segona guerra mundial es van emprar per dirigir coets i torpedes.

Els giroscopis elèctrics es varen utilitzar en els coets com V-2:



El giroscopi mesura la velocitat angular. La velocitat angular és el nombre de graus que es gira un segon.

Només que en comptes de mesurar-se en graus per segon, sol mesurar-se en una altra unitat que són radiants per segon ($1\text{rad} / \text{s} = 180 / \text{Pi} \text{ graus} / \text{s}$).

Si sabem l'angle inicial de la IMU, podem sumar-li el valor que marca el giroscopi per saber el nou angle a cada moment. Suposem que vam iniciar la IMU a 0° . Si el giroscopi realitza una mesura cada segon , i marca 3 en l'eix X , tindrem l'angle amb aquesta senzilla formula:

$$AnguloY = AnguloY_{anterior} + x\Delta t$$

on Δt és l'increment de

temps que transcorre en aquesta fórmula.

I el mateix passa amb els eixos X , Z. Només que igual que amb el acceleròmetre se sol ignorar l'eix Z.

MUNTATGE

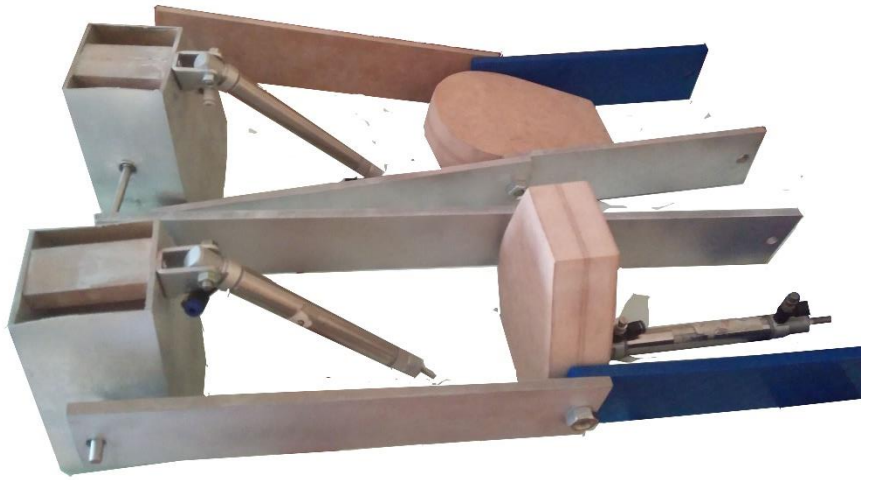
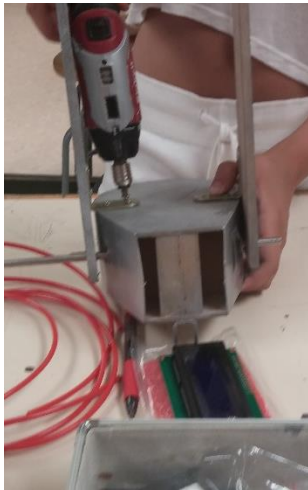
Quan ja vam tenir tot el circuit pneumàtic acabat vam començar amb el muntatge del robot. Primer vam crear l'estructura de fusta de les cames. Per a fer-ho vam seguir els plànols que havíem dissenyar.

Per a dur a terme el muntatge del robot, vam requerir de material específic per poder acoblar totes les peces. El material utilitzat va ser el següent:

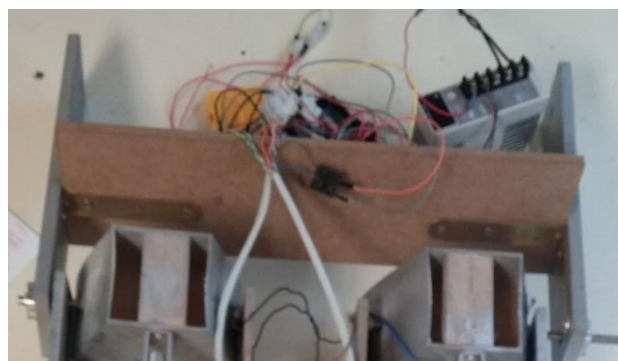
- Cargols de diferents diàmetres i longituds
- Femelles
- Eixos roscats
- Coixinets
- Acobladors d'eixos
- Volanderes
- Esquadres

El material anterior el vam anar adquirint durant el procés de muntatge segons les necessitats que vam tenir.

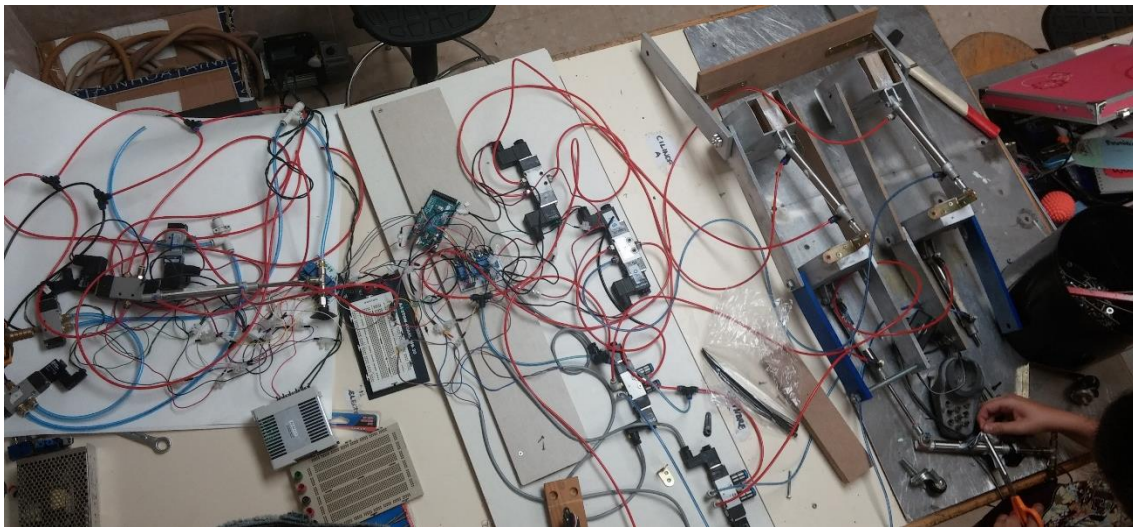
Primerament, vam acoblar les peces del genoll amb el recobriment de la part inferior de la cama. Per a fer-ho vam necessitar dos eixos roscats metàl·lics i 4 rosques. Quan vam tenir la part inferior muntada vam acoblar el recobriment de la part superior i la peça que suportava el cilindre que representava el fèmur. Per a realitzar-ho vam necessitar un eix de 45cm que uneix les dues estructures (la cama dreta i la cama esquerra). Finalment, amb incorporar els cilindres amb la peça (nom de la peça presentada abans, la de la forma de U). De tal forma que vam aconseguir la següent estructura:



Per a poder realitzar el moviment de caminar, va ser necessari incorporar una estructura que simules el maluc, per a fer-ho vam acoblar tres peces (dues laterals i una transversal). Posteriorment, vam acoblar el maluc amb les cames a partir de l'eix superior que connecta les dues cames. Per a que el moviment fos sense una fricció elevada vam col·locar coixinets als eixos de rotació.



Quan vam tenir tota la estructura externa muntada vam procedir a col·locar el circuit elèctric i pneumàtic. Per a fer-ho vam haver de desconnectar-ho tot i acoblar-ho peça per peça. Primer vam col·locar les electrovàlvules amb brides als laterals interns de l'estructura externa. La part de l'Arduino i els relés els vam cargolar a la peça transversal del maluc. Vàrem connectar les electrovàlvules amb els relés mitjançant regletes i jumpers. Les connexions pertinents entre la font d'alimentació, l'Arduino i els relés les vam fer a partir de jumpers i una miniprotoboard. Pel que fa als cilindres pneumàtics vam utilitzar tubs de 6mm de diàmetre.



Quan vam tenir totes les connexions fetes, vam començar a fer les proves per a comprovar que totes les connexions eren correctes i que la seqüència era la idònia per a realitzar el moviment del maluc i del genoll.

Cal dir que en aquest punt, vam tenir una sèrie de problemes amb les connexions, ja que aquestes eren molt febles, hi havia varis cables connectats en un mateix punt i hi havia una gran abundància de cables i tubs que dificultaven el correcte funcionament del robot. Una vegada vam solucionar els problemes i vam haver comprovat que tot funcionava correctament vam procedir al muntatge dels peus.

Per construir els peus vam requerir varies peces de fusta, dues rodes per a agilitzar el seu moviment, dos cilindres i dues ventoses. Vam procedir a fer els forats pertinents per a col·locar les rodets i vam utilitzar cargols per a acoblar totes les peces i subjectar els cilindres al lloc pertinent.

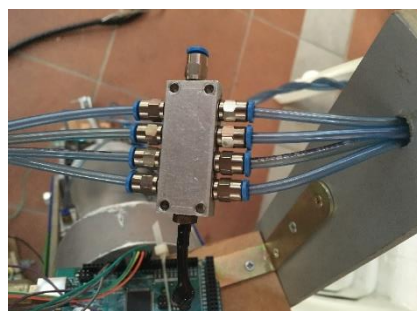


El muntatge final dels peus va ser el següent:

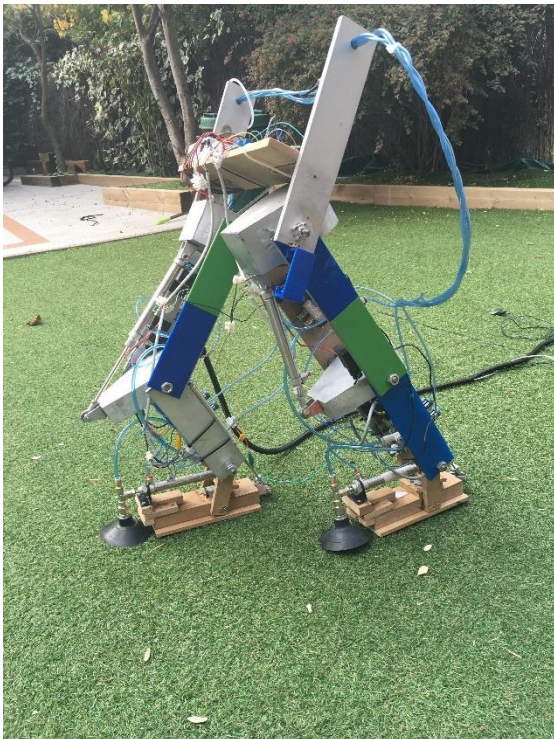
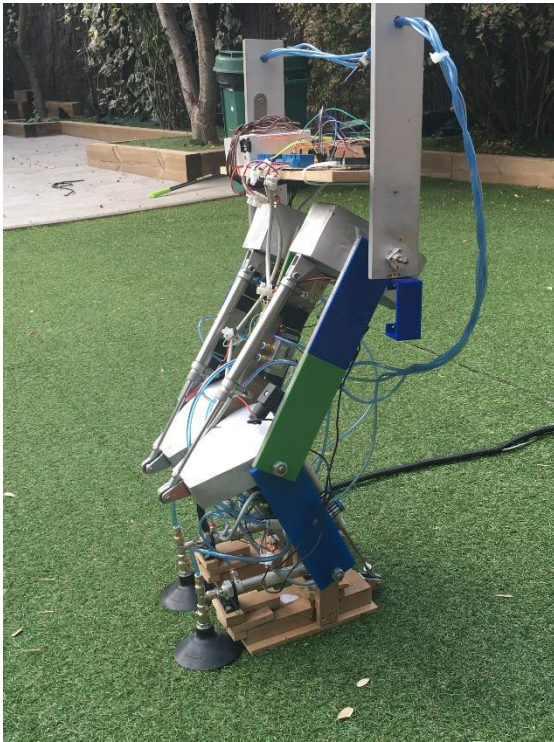


Quan vam haver tingut els peus muntats, els vam col·locar a la part inferior de les cames amb 2 eixos roscats i 4 femelles. Amb aquesta part muntada, ja vam tenir tota la estructura de fusta feta. Al col·locar els peus vam haver de posar dues electrovàlvules més per a cada cama. En aquest moment vam tornar a fer les proves del funcionament de tots els cilindres i les ventoses, cada actuator per separat.

Quan tot ja va funcionar correctament vam procedir a soldar tot el cablejat, a cargolar les electrovàlvules al lloc final i a acurtar els tubs que transporten l'aire comprimit. A partir d'aquest moment vam començar amb les proves de la seqüència per a fer caminar el robot. Quan vam realitzar la primera prova ens vam adonar que no arribar suficient aire als cilindres i, per tant, aquests no tenien força per a moure el robot. Aleshores vam analitzat tot el circuit per el que circulava l'aire comprimit i ens vam adonar que aquest no estava ben repartit. Per a solucionar aquest problema vam utilitzar un distribuïdor d'aire comprimit:



Finalment vam afegir les peces de decoració impreses en 3D i el resultat va ser el següent:



Vídeos del treball:

Robot caminant: <https://youtu.be/PQ9KaB70WMI>

CONCLUSIONS

Un cop havent realitzat el projecte durant 9 mesos podem concloure que l'acció de caminar requereix molts músculs i ossos que facin alhora moviment molt concrets. Dur a terme un robot que imiti tots els moviments que el cos humà és capaç de realitzar i tenint en compte tots els factors que afecten és una feina molt complicada. Tot i així hem aconseguit complir els objectius que ens vam marcar des d'un inici.

Després d'haver realitzat un estudi exhaustiu sobre el caminar humà, haver dissenyat amb detall, construït i programat un robot hem aconseguit que aquest reproduís el cicle de la marxa humana. Aquest resultat ha estat possible gràcies a que hem estat capaces de seguir la planificació que ens havíem plantejat al inici del projecte, hem treballat en equip alhora de resoldre tots els problemes que se'ns anaven plantejant; típics de qualsevol procés de recerca.

Podem dir que gracies a aquest projecte hem après profundament com funcionen la pneumàtica i l'Arduino per separat i hem estat capaces d'ajuntar-los creant així un robot que funciona mitjançant la pneumàtica però que alhora està controlat i programat per l'Arduino. En definitiva, hem aconseguit crear un robot des de zero elaborant i seguint tots els passos necessaris per a dur a terme, experiment per a complementar la pneumàtica amb l'Arduino i que finalment fes la funció que buscàvem des d'un principi: imitar l'acció de caminar humana.

Cal remarcar que el procés de disseny i muntatge no va ser tan senzill com ens imaginàvem. Aquest procés va durar més del desitjat pel fet que vam crear el robot des de zero. Per tant, podem afirmar que també hem après que de la teoria a la pràctica hi ha un camí molt llarg que cal recórrer per tal de poder realitzar amb èxit qualsevol projecte amb característiques semblants al nostre.

En definitiva, la nostra hipòtesis és correcta, si s'aconsegueix combinar l'Arduino i la pneumàtica de forma correcta, si s'arriba a comprendre pas per pas l'acció de caminar, si es dissenyen i es construeixen les peces adequades per a construir un robot, es pot arribar a programar-lo per a què finalment arribi a imitar el caminar d'una persona. Això si els requisits indispensables per a poder fer-ho són posar-li molt esforç i constància, valors que hem pogut aprendre gracies a l'elaboració d'aquest projecte.

FONTS D'INFORMACIÓ

Fundaments de la pneumàtica i electropneumàtica:

- <https://ramaucsa.wordpress.com/2010/11/23/conceptos-neumatica-y-leyes-principales-nivel-inicial/>
- <http://www.xtec.cat/centres/e3009187/PDF%20Temari/Temari%20C9.pdf>
- <http://automotiontest.wikispaces.com/file/view/TIPOS+DE+MOTORES+NEUM%C3%81TICOS+E+HIDR%C3%81ULICOS+EXISTENTES.pdf>
- <http://industrial-automatiza.blogspot.com/2010/09/elementos-de-fuerza-cilindros-y-motores.html>
- <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica9.htm>

Electrònica i programació amb Arduino:

- <https://www.arduino.cc>
- <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- <https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>
- <http://www.xataka.com/especiales/guia-del-arduinomaniaco-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-arduino>
- <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
- <http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/diodo.htm>
- <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/El-transistor.php>
- <http://www.areatecnologia.com/electronica/potenciometro.html>
-

Estudi de la Anatomia del maluc i les cames:

- <https://es.wikipedia.org/wiki/Anatom%C3%ADa>
- <http://wzar.unizar.es/acad/cinesio/Documentos/Marcha%20humana.pdf>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Anatom%C3%ADa_humana
- <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/anatomy.html>
- <http://www.ikonet.com/es/diccionariovisual/ser-humano/anatomia/>
- <https://www.ugr.es/~dlcruz/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Nxgby8DaHMY>
- https://www.youtube.com/watch?v=JR55_LP2uJE
-

Estudi de la biomecànica:

- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_s_f/capitulo_3.pdf
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Biomecánica>
- <https://www.youtube.com/watch?v=pGQgtrXbrp8>
- <https://www.youtube.com/watch?v=vdkMHGpP510>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZK84svrKS-g>

- <http://es.slideshare.net/AngieReyes/marcha-16121010>
- http://www.munideporte.com/imagenes/documentacion/ficheros/20091229110320blanca_de_la_cruz2.pdf
- <http://html.rincondelvago.com/biomecnica-de-la-marcha.html>
- <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-fisioterapia-kinesiologia-176-articulo-fases-marcha-humana-13012714>
- <http://es.slideshare.net/palomareolid/biomecnica-de-la-marcha-humana>
- <http://www.velodromstudio.com/biomecnica/servicios-tarifas/estudio-biomecanico-retul-dfu-barcelona>
- <https://www.youtube.com/watch?v=LMQNKigVNMU>
- <https://www.youtube.com/watch?v=F9tUXKhxrCA>
-

Estudi sobre l'equilibri del robot

- <https://es.wikipedia.org/wiki/Equilibriocepción>
- <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/oido.htm>
- http://www.neuropt.org/docs/vsig-spanish-pt-fact-sheets/how_does_the_balance_system_work_spanish.pdf
- A. WINTER. Biomechanics and motor control of human movement, third Edition.
- PERRY, Jaqueline. Gait analysis
- W. WHITTLE, Michael. Gait analysis an introduction, fourth Edition.

Robotic Systems

- http://specs.upf.edu/research_in_robotics

Pel que fa al funcionament dels servomotors vam consultar les següents webs:

- http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm
- <http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- <http://www.ardumania.es/ejercicio-3-servos/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=84mxq41zdwE>
- <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>
- <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html>

AGRAÏMENTS

Volem agrair al nostre tutor, a la Universitat Politècnica de Catalunya, als familiars i als amics pel seu suport durant els 9 mesos de treball de recerca, per tota l'ajuda donada des del primer moment, ja sigui ajuda conceptual o anímica.

En quant el nostre tutor, és el primer al que volem agrair la seva ajuda. Des d'un principi ens va aconsellar en quant a quin camí triar, ens va ajudar a prendre les decisions i a començar la recerca sobre un àmbit que desconexíem anteriorment i del qual ara en tenim un coneixement ampli. Durant els entrebancs que ens hem anat trobant en el muntatge, en la creació dels circuits o en qualsevol altre aspecte, no només ens ha proporcionat ajuda conceptual sinó que sobretot ens ha ajudat anímicament. Ens ha donat suport per continuar recercant i mai vindre'ns avall en fases de més aclaparament les vegades que no obteníem els resultats obtinguts. També donem les gràcies a l'escola per facilitar-nos l'experimentació al deixar que treballéssim al taller de pneumàtica i utilitzéssim el material necessari.

Donem les gràcies al Departament de Biomecànica de la Universitat Politècnica de Catalunya. Concretament a en _____ i a _____, que ens han ajudat a comprendre cada moviment de la marxa humana mitjançant consells, els llibres de Biomecànica i la possibilitat de treballar al laboratori fent pràctiques caminant i obtenint dades sobre aquesta acció. Volem agrair també a l'empresa "_____" per proporcionar-nos les peces necessàries de fusta de manera ràpida i amb tots els detalls que els hi vam demanar.

En quant a la família i amics, els donem les gràcies per donar-nos suport des del primer moment fins l'últim, pels consells i per la correcció de documents d'aquest treball de recerca.

Gràcies.