

Gerard Aragonès Fontboté

Simulador clínic de Laparoscòpia

TREBALL FI DE GRAU

dirigit per Alfonso Romero Nevado

Grau d'Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

Universitat Rovira i Virgili

Tarragona

2021

ÍNDEX

ÍNDEX	1
Memòria Descriptiva	3
Resum	3
Objecte del Treball	4
Objectiu	9
Hipòtesi	9
Organització del temps	10
Descripció del Projecte	11
6.1 Part electronica	11
6.1.1 Components	11
6.1.2 Connexionat	20
6.1.3 Programació	23
6.2 Part Mecànica	24
6.2.1 Placa d'operacions	24
6.2.2 Xassís	33
6.2.3 Cúpula	35
6.2.4 Frontisses	39
6.2.5 Suport pantalla frontal i lateral.	42
6.2.5 Resultat final.	44
Memoria de Càlcul	46
Divisors de Tensió	46
Consum del projecte.	46
Resistencia cables	47
9.1 Càlcul de resistencia del cablejat.	47
9.2 Càlcul de la caiguda de tensió (ΔV).	47
9.3 Càlcul del corrent (I)	48
9.4 Càlcul de la secció del cable	48
Timmer	49
Plec de Condicions	50
Capítol-1	50
11.1. Estructura del Plec de Condicions.	50
11.2. Descripció del Lloc de treball.	51
11.3. Programa d'execució i termini d'entrega	52
11.4. Modificació del Projecte	52
Capítol-2	53
12.1. Condicions Generals	53
12.2. Acer Inoxidable	54
12.2.1 Calitat	54

12.2.2 Assajos	54
12.2.3 Estructura de l'Acer	54
12.2.4 Cargols i rosques	55
12.3. PLA	55
12.3.1 Propietats tèrmiques	56
12.3.2 Propietats físiques	56
12.4. Goma elàstica de silicona.	57
12.4.1 Resistència tèrmica	57
12.4.2 Normativa de toxicitat	57
12.4.3 Resistència atmosfèrica	57
12.4.4 Dureses i densitats	57
12.5. Alumini	57
12.5.1 Propietats mecàniques	58
12.5.2 Propietats Químiques	58
Agraïments	59

Memòria Descriptiva

1. Resum

Començarem responnent a unes preguntes bàsiques que ens ajudaran a entendre de forma resumida la finalitat d'aquest TFG:

- *Situació i marc en el que sorgeix aquest treball:*

Des de fa anys el col·lectiu de l'àmbit mèdic, sobretot el de cirurgia, s'ha adonat que el fet que els metges recentment graduats o en fase de pràctiques que arriben als hospitals tenen unes mancances força elevades en quant en l'àmbit pràctic.

Han vist que aquest col·lectiu necessita un gran període de temps d'aprenentatge per agafar el nivell mínim per començar a dur a terme intervencions quirúrgiques, cosa que ja haurien d'haver après en la fase d'estudis a la facultat.

És doncs per aquest motiu pel qual faig aquest treball final de grau, per dur a terme un simulador clínic de laparoscòpia, per poder dotar amb aquests estudiants acabats de graduar de les habilitats necessàries per adquirir uns coneixements bàsics i fonamentals per garantir unes intervencions en pacients reals de més qualitat, reduir el temps d'aprenentatge i millorar les capacitats psíquiques que els permetin un treball més eficient.

- *Per què realitzem aquesta investigació: (Parlar de l'actualitat, contextualitzar) , parts i objectiu*

Tot sorgeix de la necessitat en voler aportar i millorar el nivell de vida de la nostra societat, en aquest cas ens vàrem centrar en dos sectors:

- ❖ Primer el sector públic de la sanitat perquè crec que és el que més necessita una empenta, i més en els mesos en els quals estem vivint des de fa més d'un any.
- ❖ I en segon lloc amb els pacients en fase de rehabilitació que necessiten processos que els estimulin tant les parts físiques com cognitives.

- *Que pretenc aconseguir amb aquest treball:*

L'objectiu des del primer moment es basa en aportar al sector de cirurgia elements que els hi permetin entrenar-se i millorar durant la pràctica de les tasques de pols i precisió que requereixen en el seu dia a dia.

- *Com ho he fet i quines tècniques he utilitzat:*

El projecte l'hem dut a terme amb una combinació d'instruments electrònics i mecànics de la qual la seva unió ens ha permès crear l'objectiu que ens vam marcar en un inici. La tècnica que més ha funcionat és la d'estructurar i dividir cada tasca, fer-ho per parts i després ajuntar-ho tot, per nosaltres aquesta ha estat la clau de l'èxit.

- *Quins han estat els resultats obtinguts:*

Personalment els resultats per nosaltres han estat increïbles, senzillament pel fet que hem complert les expectatives que ens vàrem marcar en un inici, és a dir, no hi ha res que ens haguéssim plantejat al principi i que no estigui fet. I el que encara és millor és que quan alguna cosa no era semblant a la idea inicial o funcionava a mitges vam batallar-ho fins que va acabar sortint com havia de sortir.

- *Importància dels resultats i possibles aplicacions:*

Aquí la importància rau en 2 aspectes:

- ❖ **Personals:** Personalment ens hem adonat que som capaços d'arribar fins allà on ens proposem, simplement fa falta seguir una metodologia i una òptima distribució i estructuració dels passos a seguir.
- ❖ **De cara al públic:** Que el conjunt format per la part electrònica i mecànica poden servir d'ajuda en un futur no només per a una gran quantitat de professionals que s'han de formar el dia de demà, sinó també a pacients en fase de rehabilitació que puguin estimular tant les parts cognitives com físiques.

2. Objecte del Treball

L'objecte d'aquest treball neix de la problemàtica actual dels metges cirurgians que surten dels estudis de grau i del MIR amb poca pràctica i destresa de les habilitats quirúrgiques necessàries per realitzar operacions de forma satisfactòria.

La gran majoria d'aquest col·lectiu necessita mesos de pràctiques que es van allargant, ja que no poden estar sempre aprenent i operant amb persones reals ja que hi hauria un índex molt elevat de perillositat si això fos així, per tant això provoca que el seu aprenentatge agafi un ritme molt moderat, provocant al mateix temps un endarreriment de les operacions als pacients, ja que tot i que l'hospital disposa d'una plantilla de metges adequada per al seu bon funcionament no és aplicable a la realitat, ja que la majoria d'aquests metges no operen a causa del seu baix nivell de pràctica.

És per això, que el que pretenem és dur a terme un joc de proves per a metges cirurgians, perquè puguin millorar les seves habilitats i destreses, amb l'objectiu d'adquirir les aptituds necessàries per millorar la qualitat de les seves feines i per tant garantir un major nombre d'operacions i una millor taxa de resultats exitosos en pacients.

Això permetrà en un futur pròxim arribar a allargar la condició de vida de les persones i poder evitar possibles infeccions, malestar o futures incisions en aquests pacients, ja que la forma i el nivell en la que operen els metges haurà canviat.

Aquest joc de proves consistirà en 4 possibles opcions:

1. La primera prova es tracta d'agafar unes volanderes col·locades a un suport i d'allí posar-les a un tub circular sense que aquestes toquin amb el tub, ja que en aquest cas, enviarà un error de forma acústica. També guardarà l'error i quan acabi la prova li sortirà per pantalla a l'usuari el nombre d'errors acumulats. El límit de temps és de 2 minuts i disposem d'un màxim de 4 volanderes de diferents diàmetres interiors, cosa que representa els diferents nivells de dificultat.

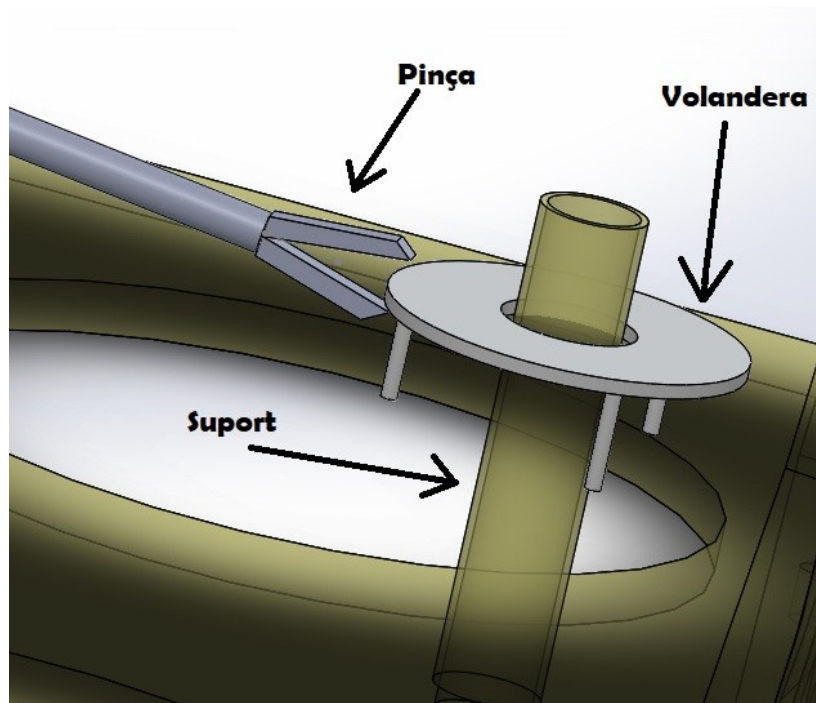


Figura-1. Volandera, pinça i suport.

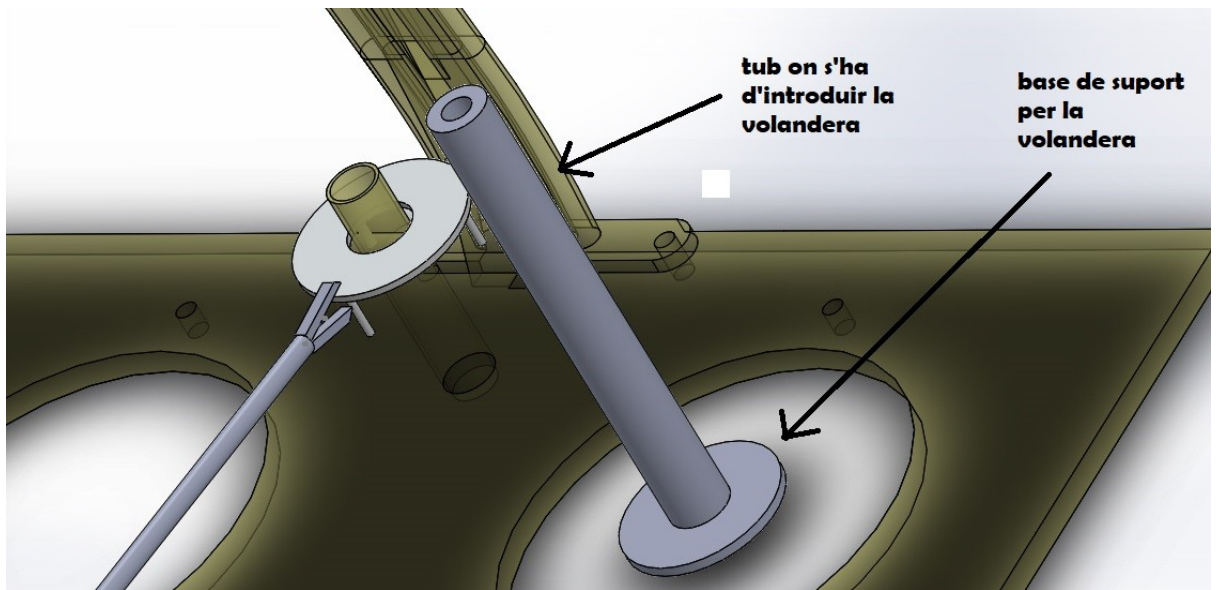


Figura-2. Tub d'operacions.

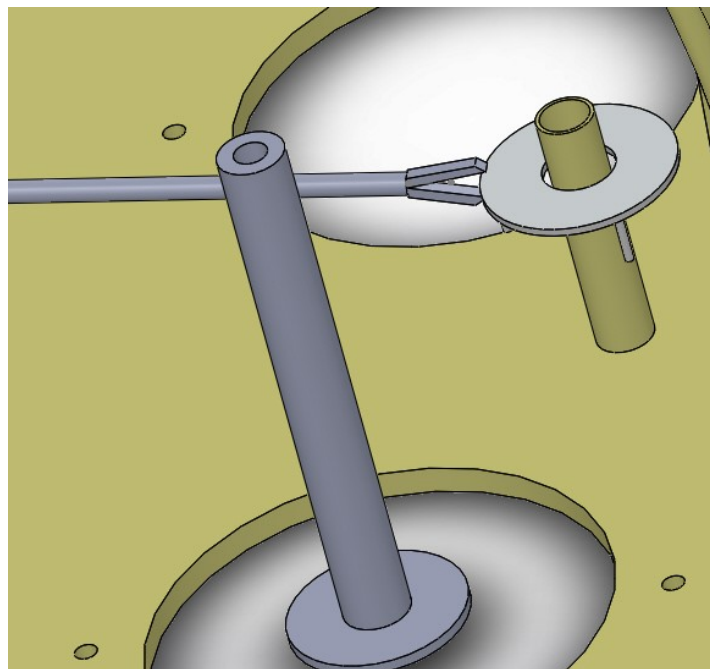


Figura-3. Conjunt vista general.

2. La segona prova es tracta de passar una vareta metàl·lica per forats de diferents mides que es troben en 3 platines de diferents dimensions, i que es poden moure per guies que tenen a la base i també es pot girar el seu angle a través del cargol en el qual es recolza, és a dir, pot apuntar cap a qualsevol direcció. Aquestes 3 platines estan físicament separades, però unides a través de cables perquè hi hagi continuïtat entre totes, d'aquesta manera es toqui la que es toqui ho rebrà el microcontrolador.

L'usuari disposa d'un límit de temps també de 2 minuts, el límit de forats que pugui fer amb aquest temps el marcarà l'usuari un cop hi hagi practicat a través del punt 4 i vegi de forma aproximada el nombre de forats que tarda a passar en aquell temps.

També disposarà de 2 varetes de diferents diàmetres amb els que es varia la dificultat de la prova.

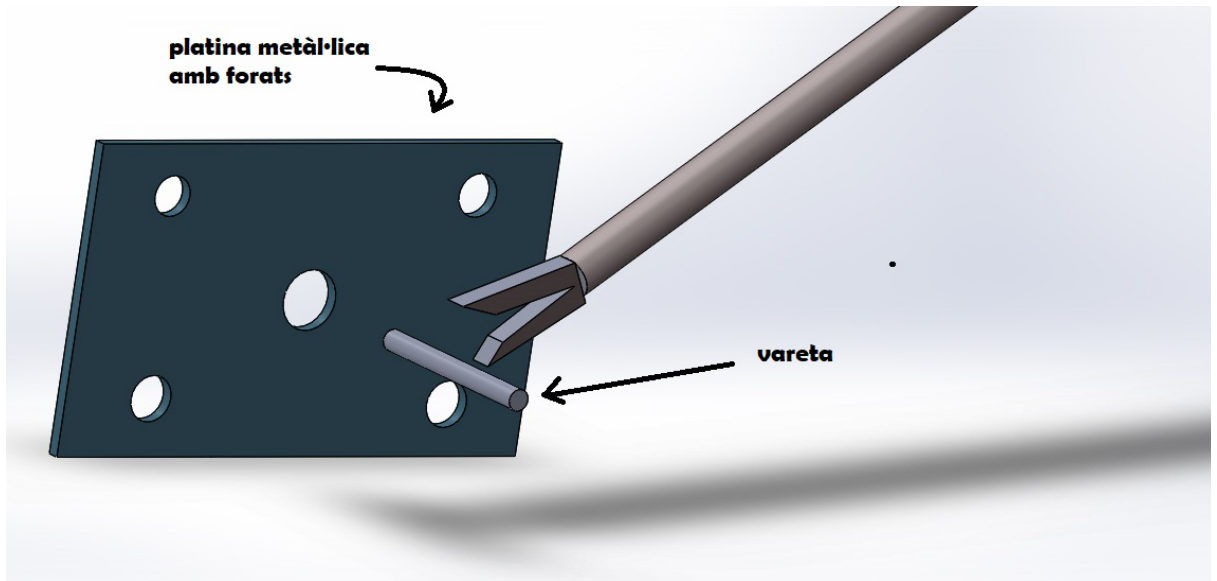


Figura-4. Platina foradada amb vareta i pinça.

3. Aquesta última prova consisteix en posar un raïm o un objecte semblant a la base de dalt d'un tub i pelar-lo sense que caigui ni sense tocar el tub amb les pinces, ja que si cau hi haurà un sensor IR que detectarà el raïm i al final de la prova també ens ho indicarà, de la mateixa forma passarà si es toca el tub amb les pinces, tal com succeeix al punt 1 i 2, a part també de l'indicador sonor, com hem comentat anteriorment. El límit de temps d'aquesta prova és de 5 minuts.

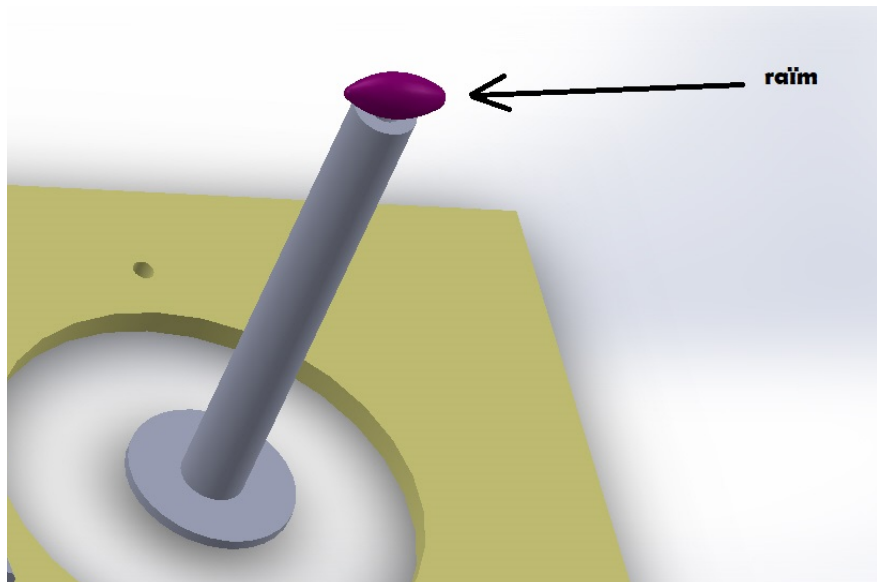


Figura-5. Raïm damunt del suport on es farà la prova 3.

4. Per últim l'usuari despondrà d'un cronòmetre sense límit de temps perquè pugui observar el temps que li comporta fer cadascuna d'aquestes operacions, podrà fer qualsevol dels punts 1, 2 o 3 d'aquest apartat. És una opció que li permet practicar abans d'escollir qualsevol de les altres opcions, per veure el temps que tarda en cadascuna d'aquelles.

Aquests indicadors que ens sortiran per pantalla al final de cada prova ajudaran a l'usuari a fer un seguiment i que amb el temps vagin veient com de forma progressiva van millorant les seves qualitats, augmentant les seves habilitats, la seva confiança i destresa i disminuint les seves pors.

Per altra banda, a part d'aquests jocs de proves electrònics afegirem una plataforma que traient l'anterior i posant aquesta ens permetrà fer una simulació molt real de treballs en pell humana. Aquesta plataforma serà una base en la qual es recolzarà damunt una maqueta de pell humana artificial amb diferents traus els quals s'haurà de cosir amb una agulla i un fil com si es realitzés amb pell real.

Finalment s'han afegit dos cargols de costat a costat amb punta i palometa per a poder clavar-hi un budell d'animal i que els usuaris hi puguin treballar còmodament.

Per tant el mateix lloc de treball ens permet treballar amb 3 tipus diferents de plataformes:

1. Plataforma electrònica que ens permet treballar amb els punts mencionats anteriorment.
2. Base per posar-hi pell humana artificial i treballar amb sutures.



Figura-6. Pell humana artificial.

3. Suports per enganxar budell real i fer una simulació molt més autèntica.

3. Objectiu

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en realitzar un simulador per a metges cirurgians i centres de rehabilitació mitjançant l'electrònica, per tal que es puguin formar quant a destresa i habilitats bàsiques per poder garantir en un futur que puguin desenvolupar la seva feina amb uns mínims necessaris per poder acomplir satisfactòriament les seves tasques.

El període de temps en el que s'ha de executar aquest projecte és de quatre mesos aproximadament, el divideixo en dos blocs:

- **Part electrònica:** Programació del microcontrolador (*timmer*, accions, funcions, inicialitzacions, etc), anàlisi, adquisició i prova dels elements necessaris per l'objectiu a complir (sensors, pantalla, encoder, buzzer, cablejat, pins, soldador, etc).
- **Part mecànica:** Disseny i organització dels elements que formen l'estructura d'aquest: estructurar i dividir les parts respectant l'espai que tenim, fer els encaixos corresponents, situar els sensors, pantalla i microcontrolador on toquin respectant distàncies i enclotxes, cablejat del sistema ,etc.

Finalment el subobjectiu que ens proposem és estudiar la funcionalitat d'aquest simulador durant els mesos en els quals està sent usat, per tal de veure quines millores es podrien fer o com està essent el procés de proves entre aparell i usuari, per tal d'anar incorporant o modificant el que durant el temps es vagi veient oportú.

4. Hipòtesi

La hipòtesi que ens plantejem en aquest treball es basa directament en els dos tipus d'aplicació per la que està pensada.

En primer lloc es fonamenta en el fet que al llarg del temps permeti millorar l'efectivitat i la millora en el treball diari dels metges cirurgians quan duen a terme les seves operacions, entre aquests aspectes podem destacar:

- ❖ Més precisió a l'hora d'utilitzar les eines quirúrgiques en talls, extraccions, seccions, etc.
- ❖ Una repetibilitat major en els punts d'inserció o d'obertura amb eines punxants com el bisturí.
- ❖ Una millor soltesa i fluïdesa a l'hora de cosir internament o externament, trasplantar, amputar, etc.
- ❖ Menys quantitat d'errors en general comparant-ho amb els que feien abans.

En Segon lloc que permeti observar una millora en els pacients en processos de rehabilitació:

- ❖ Un augment en els estímuls sensorials (vista i oïda en el nostre cas).
- ❖ Millora de la capacitat motriu fina (petits moviments amb els dits, mans, etc).
- ❖ Augment progressiu de la capacitat de concentració.
- ❖ Millora de la memòria a curt termini (haver de recordar-se dels cops que ha xiulat el sensor o de quantes volanderes ha posat, etc.).

5. Organització del temps

El projecte des d'un inici ha estat dividit en dos parts, part electrònica i part mecànica:

- La part electrònica compren tot el període des de que es van buscar quins elements eren més necessaris i adequats per fer el sistema, passant per la compra d'aquests fins la final connexió, posta a punt i programació en C del microcontrolador. Aquesta etapa ha comprès des del 20/02/21 fins al 24/4/21.
- La part mecànica compren el període des que es comencen a dissenyar les seves parts: components, encaixos, connexions elèctriques, suports... fins que s'acaba de muntar l'última peça que permet que el sistema funcioni en la seva complexitat. Aquesta etapa comprèn des del 20/4/21 fins al 28/7/21

6. Descripció del Projecte

6.1 Part electronica

6.1.1 Components

❖ Arduino UNO

Arduino Un és una placa de microcontrolador basada en ATmega328P. Té 14 pins d'entrada / sortida digital (dels quals 6 es poden usar com a sortides PWM), 6 entrades analògiques, un resonador ceràmic de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), un convertidor A/D de 10 bits, una connexió USB, un connector d'alimentació, una capçalera ICSP i un botó de reinici.

Conté tot el necessari perquè pugui suportar connexions mal fetes o tensions inadequades sense trencar-se. La forma d'alimentació pot ser a través d'un ordinador amb un cable USB, un adaptador de CA a CC o una bateria, tot i que per programar-se necessita sens dubte el conector USB de dades de PC cap a microcontrolador.

En aquest projecte farem servir més de 10 pins del arduino entre entrades Digitals i Analògiques, algunes utilitzant-es com a entrades i altres com a sortides, tal i com podrem veure al següent apartat de connexions.

Aquest microcontrolador té unes dimensions de 70 x 60 mm.

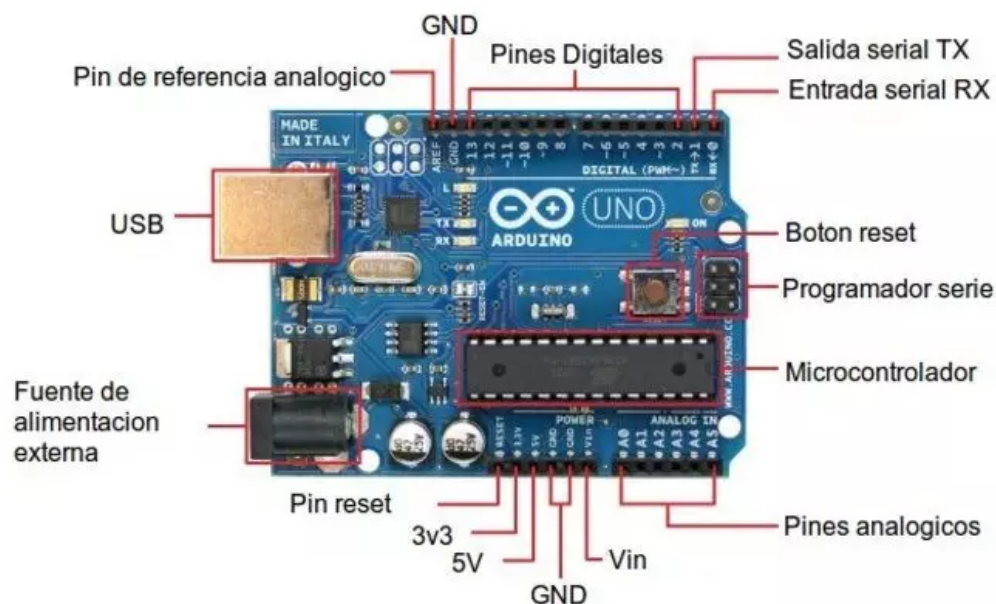


Figura-7. Arduino Uno.

❖ Pantalla LCD2004 I2C

Aquesta pantalla LED està formada per 20 columnes i 4 files, treballa a 5 V i a la vegada té un dispositiu que permet programar-la amb I2C, cosa que ens permet passar de tenir 16 pins a tenir-ne 4, la qual cosa permet facilitar en gran mesura la seva programació. A part, aquest dispositiu permet regular la brillantor de la pantalla a través d'un petit potenciòmetre situat a la part posterior d'aquest. La pantalla juntament amb la seva pròpia PCB fa un total de 9,5 cm de llarg per 6 cm d'ample.

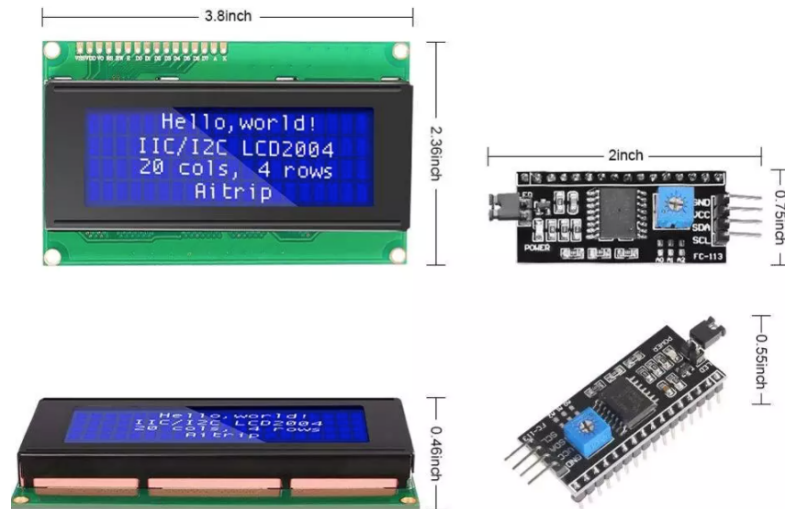


Figura-8. Pantalla LCD 2004.

❖ Encoder KY-040

Aquest Encoder és un dispositiu que ens permet seleccionar l'opció que desitgem dins d'un ventall d'opcions com per exemple un menú com el que nosaltres utilitzarem en el codi, tal com veurem més endavant. Aquest element està format per una petita placa PCB amb l'encoder i unes resistències que fan més fàcil la detecció del senyal per al microcontrolador. Té unes dimensions de 26 x 19 x 29 mm, treballa a 5 V i té 5 pins: terra, alimentació, un que dóna la sortida si la rotació és horària, l'altre si la rotació és anti horària i l'últim que dóna la sortida si es prem el encoder.

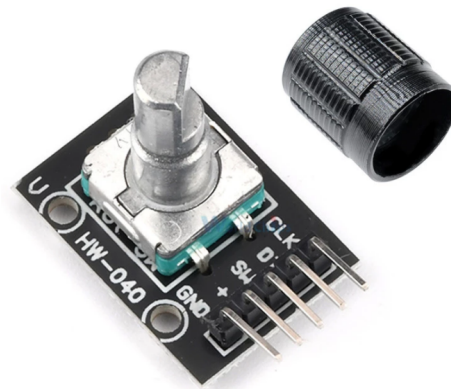


Figura-9. Encoder Rotatiu KY-040.

❖ Sensor de distància làser model VL53L0X

El VL53L0X de ST Microelectronics és un sensor de distància làser en forma d'una petita placa PCB de 12 mm per 25 mm, funciona amb el sistema de temps de vol integrat. El VL53L0 utilitza la tecnologia FlightSense de ST per mesurar amb precisió el temps que triguen els polsos emesos de llum làser que emet, des d'arribar a l'objecte més proper fins a reflectir-se cap a un detector, de manera que es pot considerar un petit sistema lidar autònom.

Aquesta mesura del temps de vol (TOF) permet determinar amb precisió la distància absoluta a un objectiu sense que la reflectància de l'objecte influeixi en la mesura.

El sensor pot registrar distàncies de fins a 2 m amb una resolució d'1 mm, però el seu abast efectiu i precisió depenen en gran manera de les condicions ambientals i de les característiques objectives, com ara la reflectància i la mida de l'objecte a mesurar, així com de la configuració del sensor. (La precisió del sensor s'especifica entre un $\pm 3\%$ en el millor dels casos i més d'un $\pm 10\%$ en condicions menys òptimes.)

Les mesures de distància estan disponibles a través de la interfície I2C; A més, el sensor proporciona dos pins addicionals: una entrada d'aturada i una sortida d'interrupció. Aquest integrat (làser) funciona amb un voltatge recomanat de 2,8 V, cosa que pot dificultar la interfície per als microcontroladors que funcionen a 3,3 V o 5 V. En tot cas, la placa PCB ja porta integrat un regulador que connectant-la des de 3,3 a 5,5 V proporciona la tensió corresponent al sensor làser.

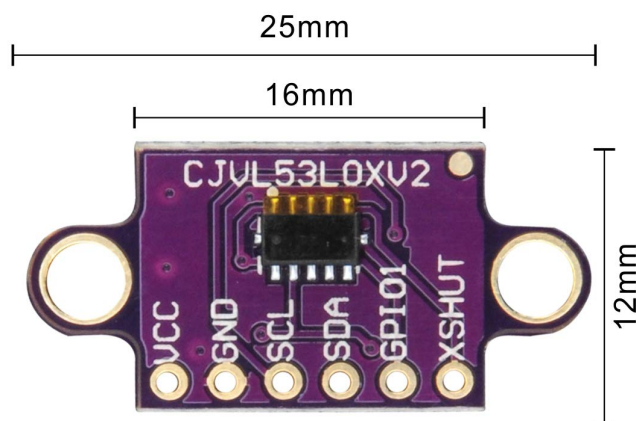


Figura-10. Sensor làser VL53L0X.

Aquest sensor el que farà és mesurar la distància de les volanderes que tindrem en un suport, de tal forma que quan l'usuari hagi finalitzat la prova, al fer la mesura de distància sabrem quantes en queden i per tant quines ha fet servir l'usuari, indicant-ho posteriorment per pantalla.

Per tal que tingui una distància considerable respecte a les volanderes i per a que quedi fixat de forma que no es mogui hem fet un suport per aquest sensor, de forma que el cablejat queda amagat per dins i no es veu des de fora. El disseny s'ha fet de tal forma que el sensor làser apunti al centre de l'anell que forma la volandera entre el diàmetre exterior i interior donant-li així un marge per si aquestes es moguessin, ja que el sensor seguiria apuntant a la superfície.

A continuació a la figura 11 veiem sota disseny com quedaria aquest suport del sensor i com es veuria respecte a les volanderes i el seu respectiu suport cilíndric on es recolzen:

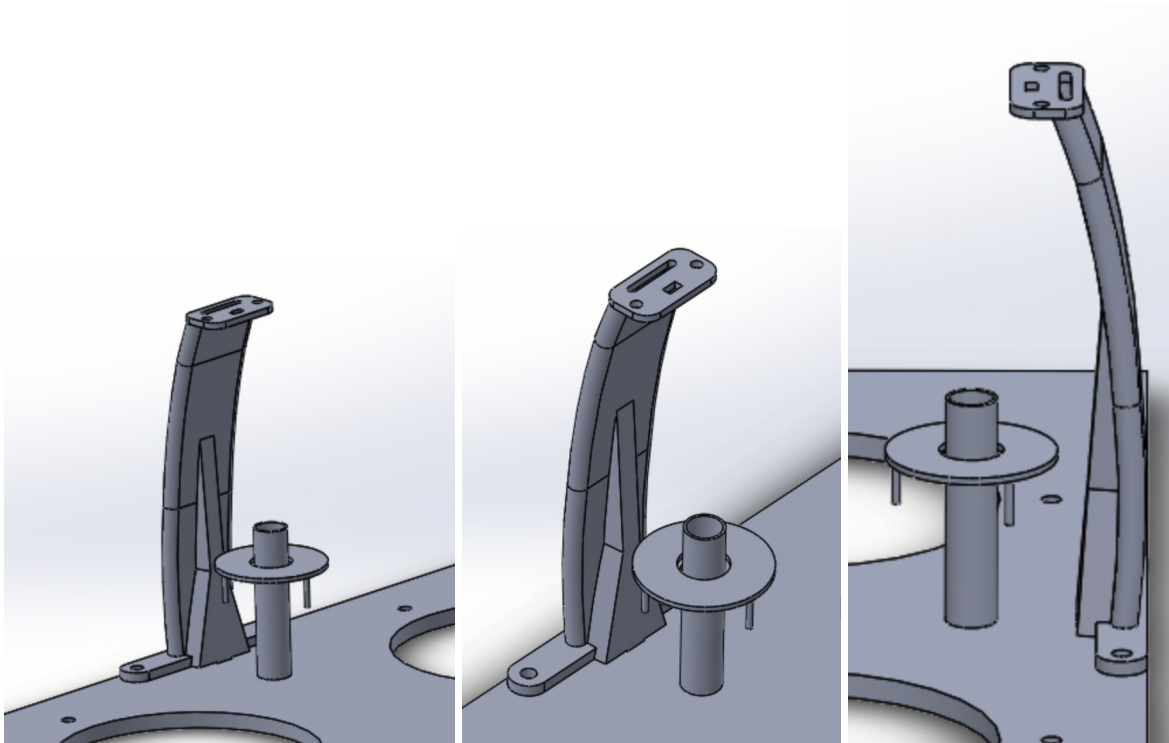


Figura-11. Diverses vistes suport sensor.

Podem observar forats variis:

- Cilíndrics: És on es cargolen els cargols que aguanten la placa PCB.
- Rectangular: El cablejat anirà des de la placa fins al connector passant per dins el suport i sortint per sota la placa.
- Quadrat: És on anirà situat el sensor làser que ens donarà la mesura de la distancia.

A més a més podem observar que hem afegit un suport des de la base fins a la zona mitja del suport per a frenar el moment flector que pugui tenir des de la base, evitant així la futura ruptura d'aquest element. Aquest moment es pot originar per la geometria del suport i per la possible col·lisió dels elements de treball de l'usuari amb aquest.

❖ Sensor IR PEPPERL+FUCHS

Aquest és un sensor òptic format amb un sensor fotoelèctric de barrera que actuen donant un senyal de tensió o traient-la quan detecta un objecte que passa per davant seu. Aquest rang de detecció va des de els 5 fins als 350 mm de distància respecte aquest, podent detectar una gran part d'objectes de diferents mides, geometries i colors.

Per configurar aquest sensor tenim un potenciòmetre que ve incorporat a la carcassa el qual anem girant fins que l'indicador lluminós de funcionament s'encén, d'aquesta manera calibrem la distància des del sensor fins a la paret més pròxima. Una mala calibració podria portar problemes, ja que no ens podria detectar molts dels objectes dels quals travessarien el raig làser. Porta equipat un sistema que agafa el color de referència del fons per així no tenir tants problemes amb la llum quan passa l'objecte per davant.

Aquest model en concret és un OBT350-R100-2EP-IO-V31-1T-IR, amb unes dimensions de 44,5 x 21,5 x 11 mm. Conté un connector de 4 pins incorporat que facilita la seva connexió i permet que no marxi en possibles vibracions o estirades de cable.



Figura-12. Sensor IR PEPPERL+FUCHS.

❖ 2 PCB Divisors de tensió

Aquest dos PCBs el que fan és agafar les senyals provinents de la base d'operacions 12 V i convertir-les a una mica menys de 5 V perquè Arduino els pugui llegir sense problemes. Tindrem unes pinces quirúrgiques les quals hauran de fer un seguit de proves sense que puguin tocar les altres peces d'aquestes proves, com que les puntes són metàl·liques i aniran connectades a tensió, si qualsevol d'aquestes altres parts que no es poden tocar es toca el senyal arribarà a través d'aquest divisor de tensió i el microcontrolador ho podrà llegir. També tindrem un sensor de detecció d'objectes apuntant a la sortida de la tovera de caiguda d'objectes que tindrà un senyal de 12 V i haurém de passar pel divisor de tensió, tal com veurem més endavant.

A continuació podem veure la primera fase del disseny de la PCB (figura 13) un cop ja estava l'esquemàtic fet i havíem acabat de fer les pistes ajuntant els pads i posant la seva corresponent mesura per a les potes dels components:

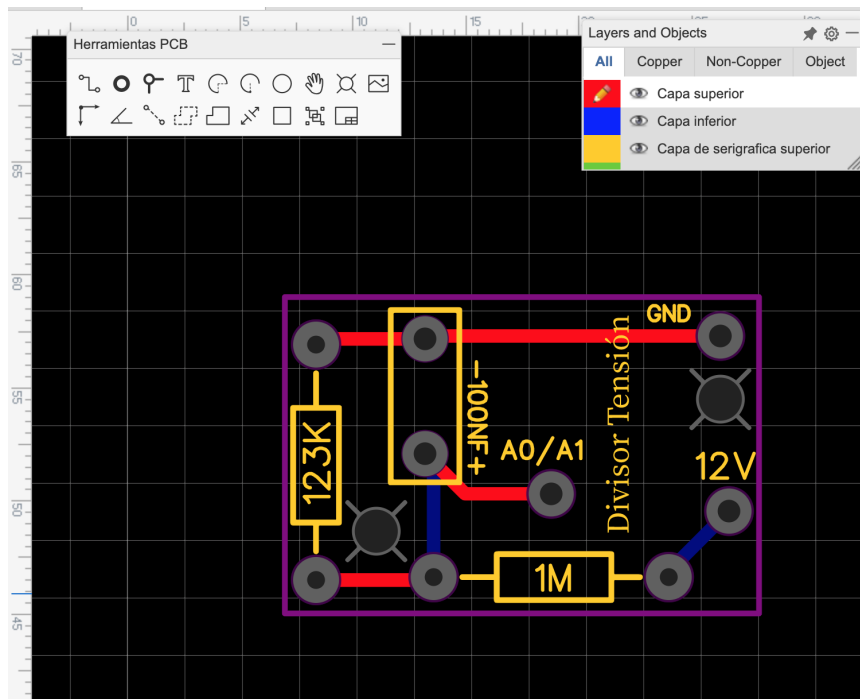


Figura-13. Esquema PCB divisor de tensió.

Tot seguit veiem una simulació que ens fa el programa de com es veuria aquesta PCB en model 3D (figura 14), per veure a simple vista si s'adapta al que nosaltres volem. Un cop acceptem el disseny que hem fet i ens agrada l'estructuració dels elements, els pads i les pistes, enviem a fer-la.

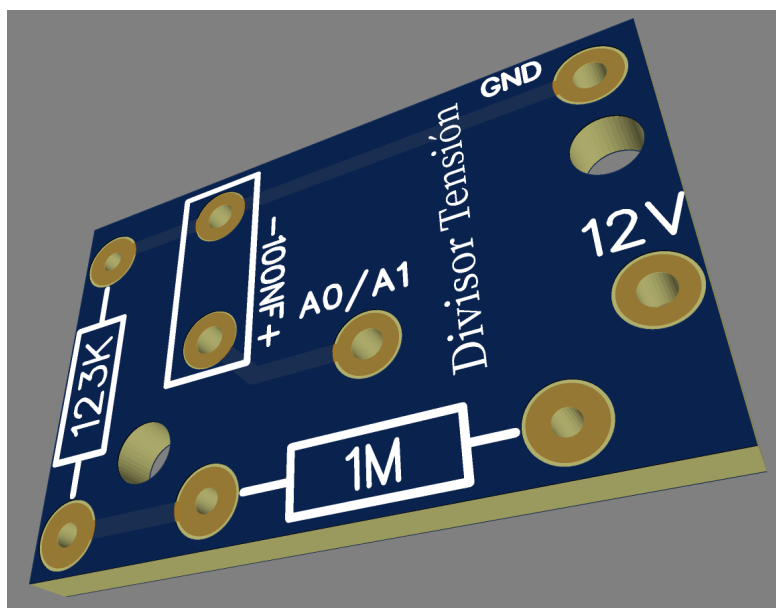


Figura-14. Vista 3D PCB divisor de tensió.

Un cop ha arribat la placa i tenim els elements soldats quedaria tal i com observem a la figura 15:

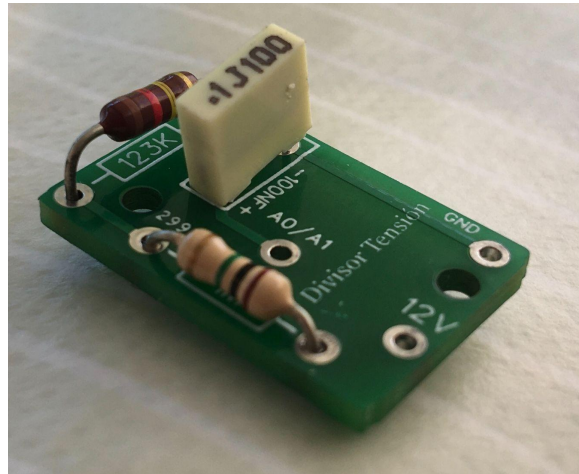


Figura-15. PCB soldada.

Ho comprovem i apliquem 12 V a la entrada, veient amb el tester que la sortida es la desitjada, en aquest cas 1,3 V.

❖ 1 PCB regulador (12 V - 5 V)

Aquesta PCB s'encarrega de dotar els 12 V que li vénen de l'entrada amb altres pins perquè altres components s'hi puguin connectar, tenint de manera ordenada tots els pins de 12 V junts. Per altra banda incorporem un "TIP41C" i un potenciòmetre de 10 kOhm que ens permeten reduir la tensió al que nosaltres vulguem, en aquest cas 5 V, ja que els altres elements treballen a aquesta tensió. Aquests elements ens permeten tenir fins a 4 amperes de treball, per tant ens assegurem del seu correcte funcionament ja que els nostres components junts no consumeixen tant.

A continuació, com abans, veiem a la figura 16 la imatge de l'esquemàtic amb les seves pistes i pads corresponents:

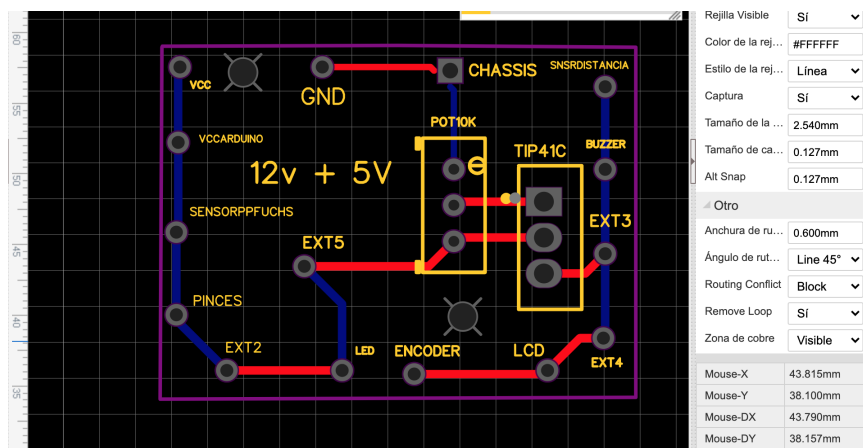


Figura-16. Esquema regulador 12 V a 5 Vcc.

Observem que tant als pins de 12 V com als de 5 V tenim pins anomenats "ext", això és perquè vam decidir posar sortides externes per si en un futur s'han de connectar altres dispositius addicionals. També observem com la part central del potenciòmetre regula l'obertura de la porta del "TIP41C" permetent a la sortida aquest control que nosaltres regulem, en aquest cas de 5 V com hem comentat anteriorment.

Ara, si mirem la figura 17, podem observar la imatge en 3D de com seria la PCB abans de demanar-la:

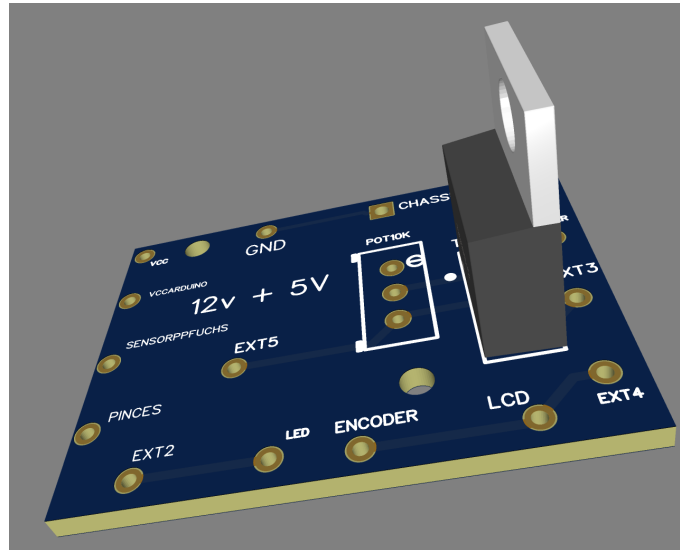


Figura-17. Vista 3D de la PCB del regulador.

Observem com el programa ja directament ens posa el TIP41C, això ens facilita veure quines dimensions tindrà i com anirà connectat, permetent-nos observar l'acabat final de la placa. Un cop ens arriba la placa i soldem els components observem el resultat final a la figura 18:

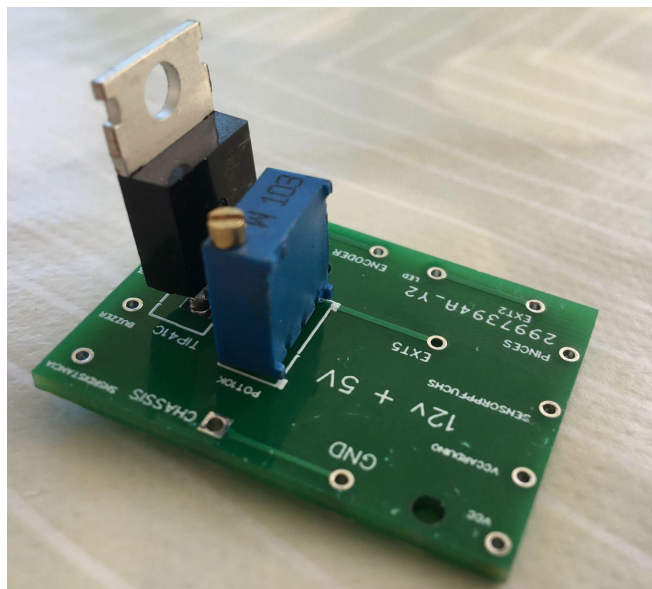


Figura-18. Regulador amb TIP41C i potenciòmetre(10 kOhm) soldats.

Amb el tester ens posem a un dels pins de 5 V i anem girant el potenciòmetre fins a obtenir el valor desitjat, en aquest cas deixem 5,10 V per si hi haguessin variacions de tensió.

❖ Buzzer

Aquest és un dispositiu sonor que treballa a 5 V que farem servir per indicar quan durant el joc de proves si l'usuari toca en alguna zona que no ho pot fer, fora del seu recorregut, doncs aquest avisarà amb un senyal de 200 ms.

Està format per 3 pins, VCC, terra i l'entrada que li donarà el microcontrolador per activar el soroll, que recordem que serà amb un LOW, ja que aquest treballa amb lògica negada, i quan està actiu no actua, només quan està a nivell baix.

Hi ha un parell de Buzzers al mercat de diferent tipus, amb un, el passiu, es pot variar la tonalitat del senyal en funció de la freqüència, en el de tipus actiu només fa un tipus de soroll determinat, com en el nostre cas.



Figura-19. Buzzer.

6.1.2 Connexionat

❖ Pantalla LCD2004 I2C

Amb el mòdul I2C connectem sempre que tinguem un Arduino Uno, Mini o Nano els pins SCL i SDA a A5 i A4 respectivament, l'alimentació als 5 V en aquest cas de la nostra font tal com hem vist a la PCB anterior i el GND serà el terra el qual anirà tots en comú.

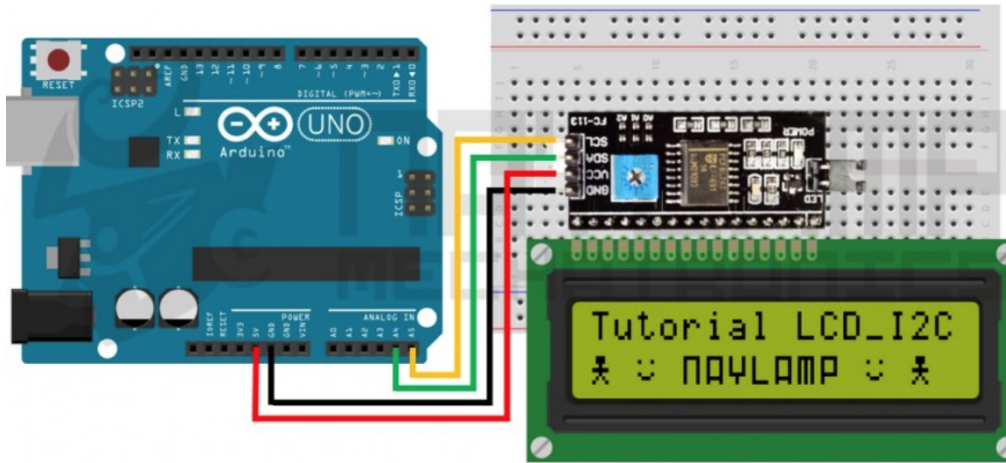


Figura-20. Esquema connexió pantalla LCD "Naylamp Mechatronics SAC (2021). [Fotografia tutorial con I2C]. Recuperat de https://naylampmechatronics.com/blog/35_tutorial-lcd-con-i2c-controla-un-lcd-con-solo-dos-pines.html.

❖ Sensor de distància làser model VL53L0X

Aquest sensor amb la llibreria que tenim del fabricant "Pololu" el connectem tal com veiem a la imatge, que és bastant intuïtiu, ja que els pins SCL i SDA del sensor també es troben amb el mateix nom a Arduino Uno. Depenent del fabricant de la llibreria faran servir uns pins o uns altres.

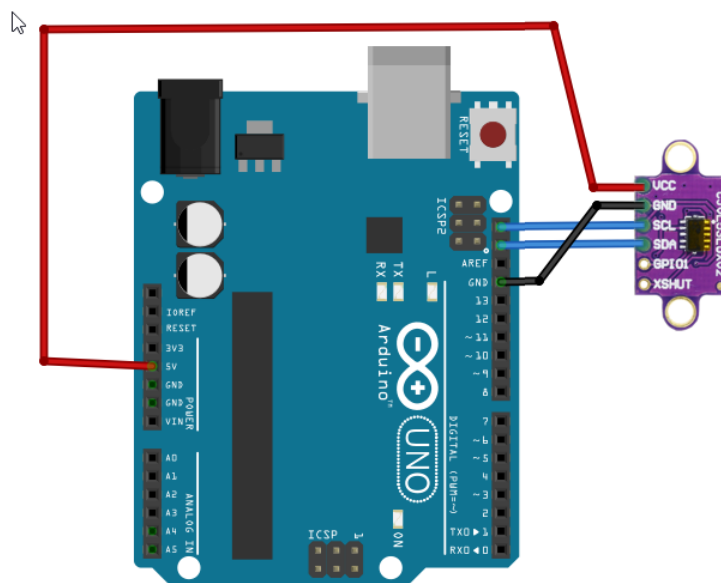


Figura-21. Connexió Arduino Uno i sensor làser VL530LX.

❖ Encoder KY-040

Aquí podem veure els 3 pins que fem servir a l'encoder a part de VCC i GND i les seves respectives connexions amb arduino: el de rotar en sentit horari, antihorari i el polsador de OK.

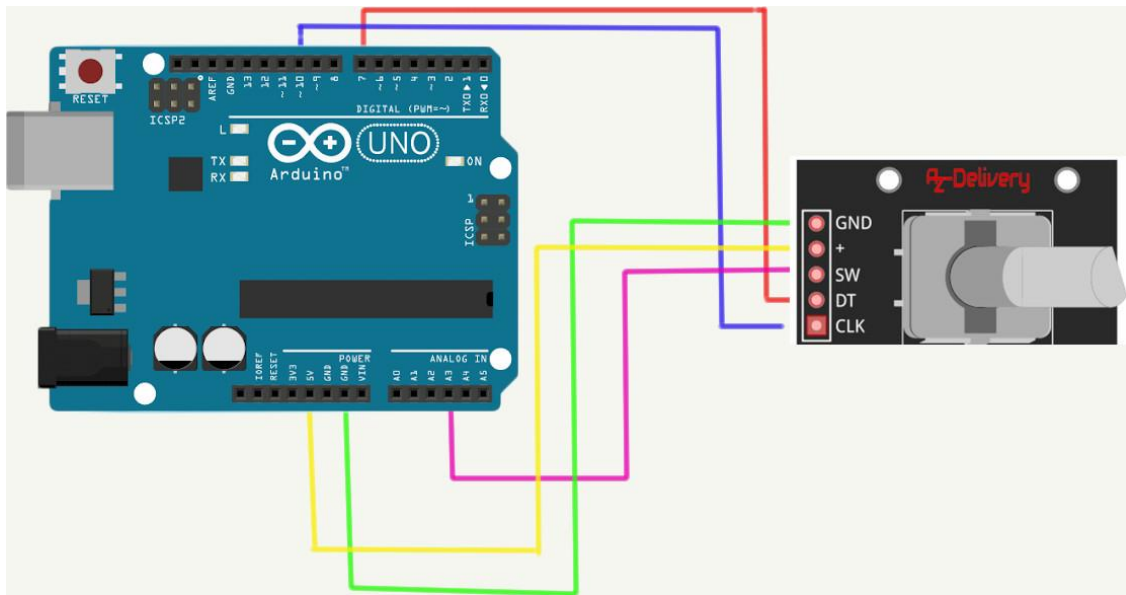


Figura-22. Connexió Arduino Uno amb Encoder KY-040.

❖ Sensor IR PEPPERL+FUCHS

Aquí veiem com anirà connectat el sensor IR respecte a Arduino, es connectarà a l'alimentació (12 V) i quan doni la sortida al detectar el pas de l'objecte el senyal passarà pel divisor de tensió i el microcontrolador rebrà el senyal a la seva tensió corresponent.

Com veurem més endavant, aquest sensor IR anirà amb el seu respectiu suport i enfocant a la part inferior de la tovera per on baixaran els objectes a detectar per així enviar el senyal al divisor de tensió.

Aquestes connexions i les altres que van a la placa de treball aniran connectades als seus respectius elements a través d'un connector de 8 pins, ja que l'usuari podrà fer altres proves que no són aquestes electròniques, sino que n'hi hauran d'altres tipus solament mecàniques, per tant hauran de poder treure i posar aquesta placa de treball, i per això ho faran a través d'aquest connector.

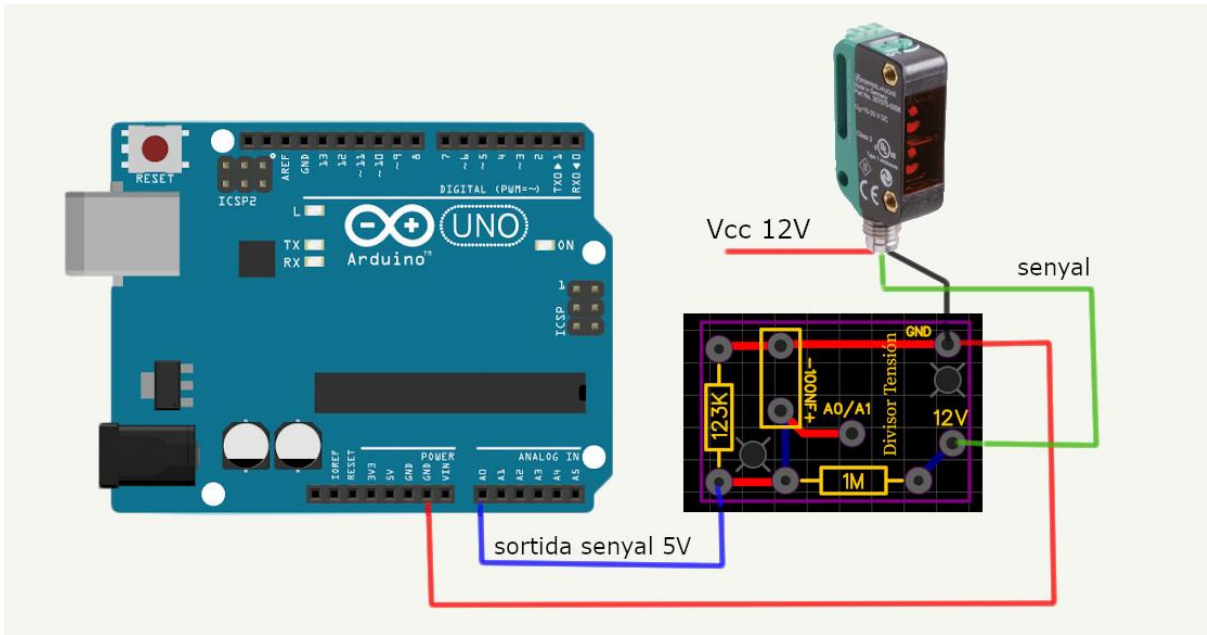


Figura-23. Connexió Arduino Uno amb sensor IR PEPPERL+FUCHS.

❖ Detecció de les pines

Aquí podem observar com funcionarà el sistema de les pines de laparoscòpia, les quals aniran connectades a 12 V, quan per error l'usuari toqui les parts metàl·liques dels jocs de proves aquests 12 V passaran al divisor de tensió i d'allí a la placa com podem observar a la imatge, aquest tub que veiem és una de les parts la qual no es pot tocar mentre es fa la prova.

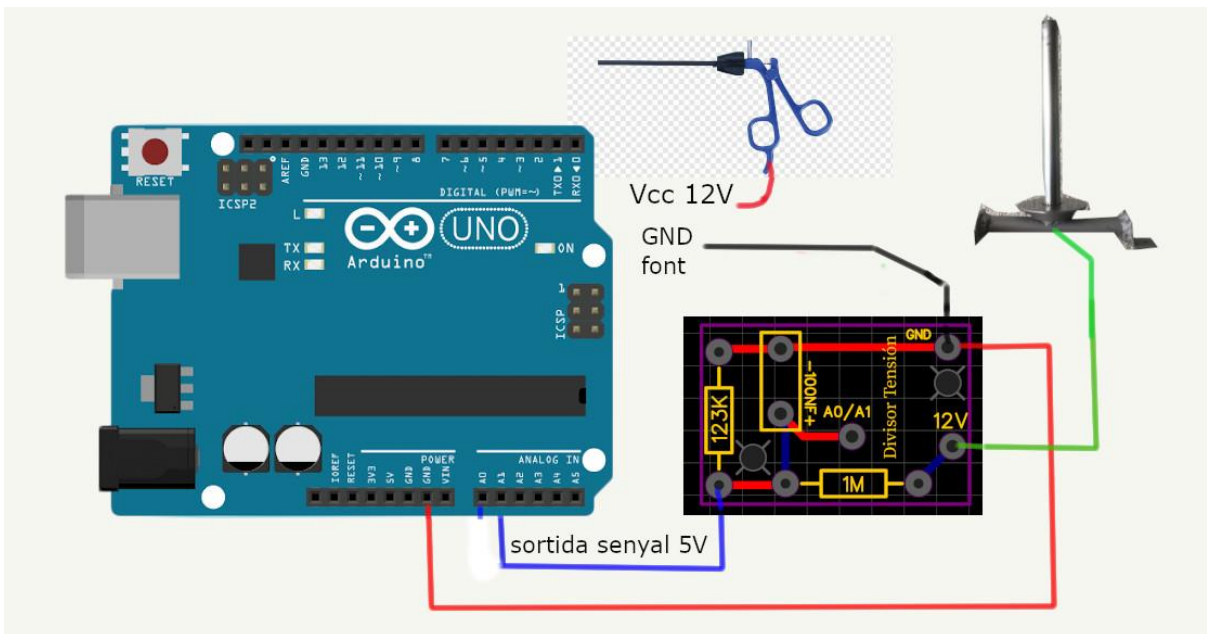


Figura-24. Connexió Arduino Uno amb les pines a 12 V.

❖ Buzzer

El buzzer es treballa directament des d'un pin digital, recordem que aquest treballa amb lògica negada, per tant l'activem quan li posem un "LOW".

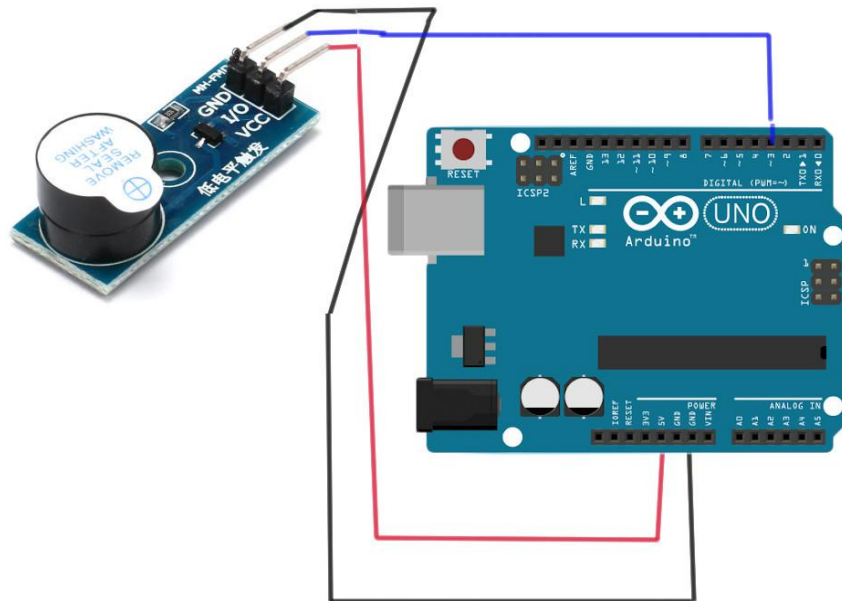


Figura-25. Connexió Arduino Uno i Buzzer.

6.1.3 Programació

El programa que hem realitzat es basa en un menú el qual ens permet escollir una de les 4 opcions que tal com hem comentat anteriorment ens permetrà realitzar les diferents parts del joc de proves. En aquest menú ens podrem moure amb un encoder rotatiu que ens permetrà escollir l'opció desitjada.

Un cop hàgem escollit aquesta opció el programa actuarà en funció de quina hàgem escollit, en distingim quatre:

1. Si escollim l'opció "objeto sin tiempo" el programa començarà a contar i ens mostrarà per pantalla els segons i minuts, però no tindrà cap límit de temps. Per altra banda ens avisarà amb un avís acústic si l'usuari fa algun error mentre realitza les proves.

Com podem veure aquesta opció el que ens permet és practicar i veure com funcionen les proves abans de començar a escollir alguna de les altres opcions que sí que té límit de temps.

2. Aquesta opció anomenada "Arandela-2min" ens permet accedir a realitzar la prova de posar les volanderes al tub sense que aquestes el toquin, ja que llavors ens avisaria amb un indicador acústic i també ens mostrarà per pantalla el nombre de cops que hem tocat el tub al final de la prova, juntament amb el nombre de cops que se'ns ha caigut la volandera i quantes n'hem posat.
3. Aquesta opció anomenada "Uva-5min" és la que teòricament l'usuari ha de pelar la pell del raïm situat damunt del tub sense que aquest caigui i sense tocar les parts metàl·liques amb les pinces. Si cau el raïm o es toca el tub amb les pinces ens avisarà al finalitzar la prova, que serà al cap de 5 minuts quan el comptador acabi de comptar.
4. Aquesta opció s'anomena "Coser 2-min" i consisteix en haver de passar un tub cilíndric metàl·lic pels forats de les platines sense que aquestes toquin les parets de la platina, ja que sinó també avisarà amb un indicador acústic i al final del temps quan acabi la prova (2 minuts). La prova consisteix en el fet que l'usuari pugui passar els tubs pel màxim nombre de forats possibles abans que finalitzi el temps i amb el menor nombre d'errors possible.

6.2 Part Mecànica

En aquest apartat parlarem dels elements físics que formen el nostre simulador, aportant imatges per veure com els hem dissenyat, quins elements hem tingut en compte en la fase de disseny, quins materials hem utilitzat i com han afectat a les proves, quines modificacions posteriors hem fet, etc.

6.2.1 Placa d'operacions

La placa d'operacions es tracta de la base i de tots els elements necessaris que es recolzen en aquesta per a que l'usuari pugui realitzar els jocs de proves. El primer material de base que vàrem seleccionar va ésser una placa de metacrilat de 30 x 20 cm d'ample, amb una profunditat de 4,5 mm.

Vam seleccionar aquest material perquè creïem que era fàcil de foradar, pesava poc i no era conductora, ja que no ens interessava que ho fos pel nostre tipus d'aplicació.

Aquesta placa va anar força bé i va complir els requisits fins que vam observar que passaven dues coses:

- A l'intentar fer una guia (foradada) la placa partia per la seva zona més fràgil.
- Si apretàvem un caragol autoroscant, al fer la mínima pressió s'originava una esquerda que també feia partir la placa.

A les figures 26 i 27 podem veure els resultats:

Aquí observem la primera guía, en la que el resultat va ser satisfactori:



Figura-26. Guía

Aquí observem el segon intent, on vam provocar la ruptura parcial de la base:

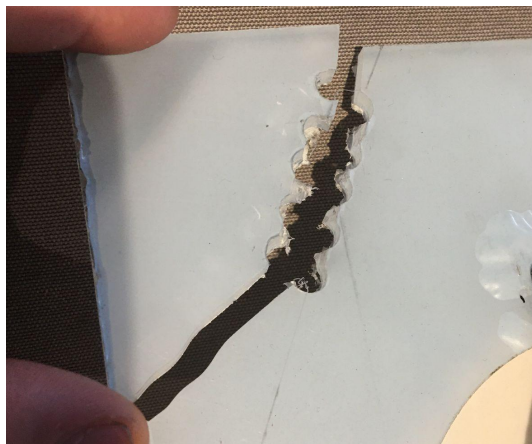


Figura-27. Ruptura a causa de guía

Vam veure que per fer aquestes guies s'havia de fer de manera molt més pausada i seguida amb una broca metàl·lica i a velocitat moderada, així que vam adquirir una segona placa de dimensions iguals i mateix material.

Vam repetir el procés i vam aconseguir fer les guies de manera adequada, però ens vam topar amb el segon problema. Quan vam caragolar el suport del sensor IR a l'aplicar més pressió perquè quedés fixat es va esquerdar la placa i va partir per la zona central. Vam veure que l'error havia estat per posar el caragol directament sense haver fet prèviament un forat-guia amb broca.

Així era la segona placa, tal i com observem a la figura 28, un cop ja havíem fet els forats respectius per posar els altres elements.



Figura-28. Segona placa.

A la figura 29 podem observar el trauc que es va formar al aplicar pressió per apretar el cargol sense haver fet prèviament un forat.



Figura-29. Segona ruptura deguda a cargol.

Tot i això vam decidir canviar de material i apostar per alguna cosa més consistent que no sofrís tantes ruptures amb la mínima pressió, després vam contactar amb una empresa especialitzada que ens va fer una base de policarbonat més adaptada a les nostres necessitats.

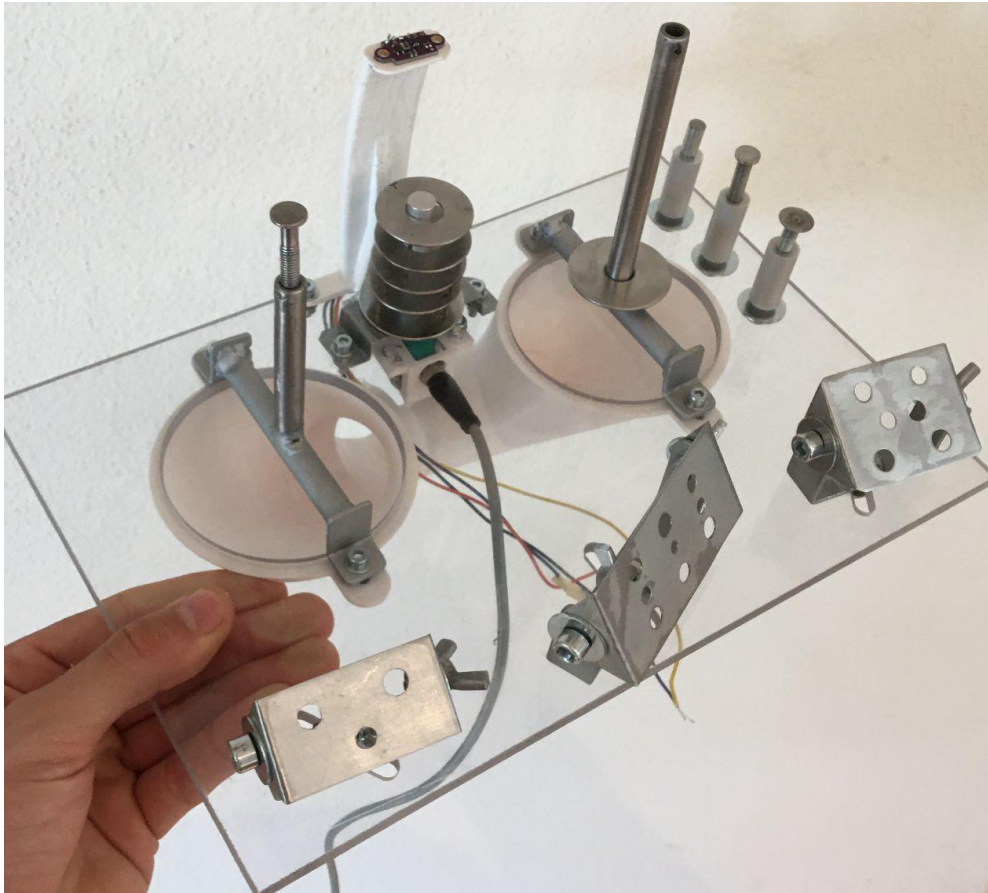


Figura-30. Joc de proves.

Un cop la placa de base estava seleccionada vam començar a fer els elements metàl·lics que necessitàvem per fer el projecte.

❖ Tubs de treball

Consisteixen en dos cilindres de 10 mm de diàmetre i 70 mm de longitud, en el que l'usuari podrà fer 2 coses:

1. Posar objectes de formes, pesos i geometries diferents damunt d'aquests cilindres sense que aquests caiguin fora o a terra, per a fer les proves corresponents, además afegim diferents puntals que es poden roscar a la punta d'aquests i que tenen superfícies diferents per tal de variar la dificultat de les proves.
2. Posar volanderes de diferents diàmetres interiors des de dalt del cilindre fins la base, sense que toquin amb aquest. Hi ha un altre cilindre petit que és on reposen les volanderes i en el que l'usuari ha d'agafar-les d'allí i posar-les al cilindre.

A la figura 31 podem veure els dos cilindres amb els seus suports atornillats a la primera placa:



Figura-31. Tubs metàl·lics de treball.

Podem veure que un dels dos té caragolat a la seva part superior una de les 3 possibles superfícies que tenim, el de la dreta en aquest moment no té res caragolat. En quant a les volanderes, el de la dreta és l'únic que està condicionat per fer-ho, ja que te la base on aquestes recolzarien.

A la figura 32 podem veure les 3 altres possibles superfícies roscades amb els seus suports:



Figura-32. 3 bases diferents intercanviables.

Cal recordar que aquests cilindres amb els que fem les proves, no els de la imatge, van connectats amb un cable que passa pel divisor de tensió i va fins al microcontrolador, on en cas de tocar els 12 V de la pinça amb aquests ho rebria ràpidament el microcontrolador i detectaria l'error, que al mateix temps activaria el BUZZER per indicar a l'usuari del seu error.

❖ Toveres

Sota aquests cilindres hi ha una espècie d'embut connectat amb un tub que s'uneix amb el de l'altre costat i té una desembocadura perquè l'objecte surti per allà. En aquesta desembocadura hi ha un sensor IR que detecta el pas d'aquest objecte, i així informa l'usuari quan ha acabat la prova del número d'objectes que se li han caigut quan estava realitzant la prova. El primer embut era així (figura 33, 34 i 35):

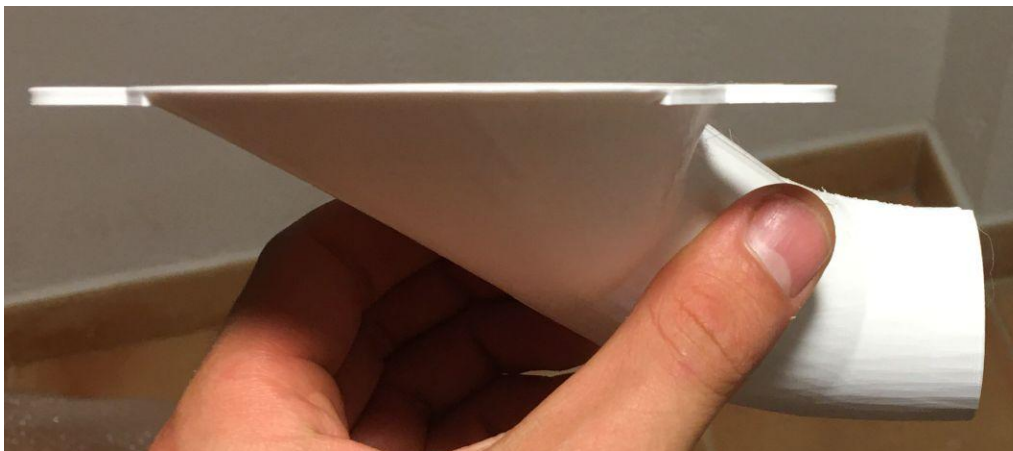


Figura-33. Tobera vista lateral.



Figura-34. Tobera vista general.



Figura-35. Tovera vista frontal.

Tot i tenir un aspecte força convincent ens donava un problema, i és que la inclinació no era suficient perquè baixessin els objectes amb suficient força per a sortir, a part que la tovera era massa llarga i frenava massa als objectes. També hem de tenir en compte que havíem de polir molt la superfície, ja que a l'estar fet amb PLA i imprès amb 3D la superfície interior era breument rugosa, per tant això es va haver d'allisar.

Després de fer un seguit de proves vam redissenyar aquesta tovera de doble entrada i una sortida aplicant-li un pendent major i una sortida més corbada, ja que així no tindria tant de fregament i també baixaria amb més inèrcia.



Figura-36. Tovera nova vista lateral.

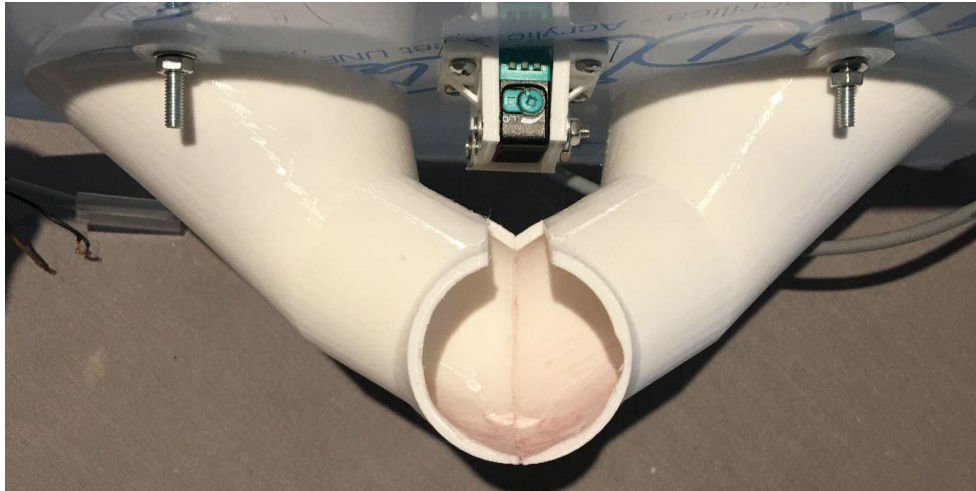


Figura-37. Tovera nova vista frontal amb sensor IR.

Després de provar-ho els resultats obtinguts van ser molt satisfactoris, ja que vam aconseguir que les peces que queien als embuts baixessin amb més inèrcia i sortissin fora del tub amb més facilitat, gràcies també a escurçar la part de sortida horitzontal, ja que no tenia tant d'espai de frenada, permetent així al sensor IR fer mesures correctes i no obtenir mesures falses com passava anteriorment.

També podem observar el sensor IR, ubicat uns centímetres per damunt de la ranura que hem fet perquè el raig làser pugui passar per allí sense problemes, al funcionar a 12 V la sortida d'aquest també anirà connectat a un divisor de tensió per tal que ho pugui llegir el microcontrolador sense problemes.

❖ Volanderes

Les volanderes que farem servir són d'1,3 mm de gruix amb 3 potes que ens permeten tenir un recolzament suficient per a que es mantinguin a la base a la que es troben sense moure's.

Disposem d'un total de 4, ja que pel temps que disposa l'usuari per efectuar la prova (2 minuts) creiem que és més que suficient. Els diàmetres interiors són diferents, cosa que ens permet variar la dificultat de les proves, tenim de 14,5 mm, 12,75 mm i 11,5 mm. El diàmetre exterior és de 34 mm, ja que així ens permet dos avantatges:

1. Que el sensor de distància VL53L0X tingui un millor marge d'error per fer els seus càlculs, ja que en cas d'una mala col·locació o un petit moviment el raig làser segueixi apuntant amb aquestes.
2. Que a l'usuari li permeti una millor adherència amb les pinces quirúrgiques, ja que tindrà més superfície per on agafar.

A continuació observem a la figura 38 les volanderes amb el seu respectiu suport:



Figura-38. Volanderes amb el seu suport.

❖ Platines perforades

Aquestes platines són 3 de diferents grandàries les quals estan situades a les guies que hem explicat al principi d'aquesta part mecànica, tenen forats de diferents diàmetres i estan formades per un suport que les permet situar-se en qualsevol direcció, a causa de la mobilitat del suport respecte a la guia i del suport respecte a la platina, ja que la platina pot rotar sobre el suport a través d'un cargol que s'afluixa o s'acolla amb una palometa.

Aquestes 3 platines separades físicament i situades a les seves respectives guies tenen la funció de proporcionar a l'usuari una situació similar a la de cosir.

L'usuari ha de passar una vareta de 3,5 mm o 2 mm de diàmetre per aquests forats sense tocar a les parets, ja que si no indicarà un error tant de forma acústica com a la pantalla al finalitzar el joc de proves. Per tal de tenir continuïtat elèctrica estan connectades entre elles per baix a través d'un cable elèctric.

En funció de la dificultat l'usuari ha d'escollir una de les dos varetes i marcar-se un recorregut d'entre els forats, i progressivament amb el temps pot anar canviant de recorregut i vareta a mesura que vagi augmentant la pràctica.

Hem de dir que hi ha una platina que és més baixa que les altres, ja que està just davant del cilindre on es realitza el joc de proves de les volanderes i per tal que no molesti a l'usuari quan arriba al tram inferior se li ha reduït l'altura per a evitar possibles molèsties o dificultats, ja que hem de recordar que s'actua amb unes pinces quirúrgiques des de la cúpula de dalt amb uns forats d'uns 5 mm de diàmetre.

A continuació adjuntem figura 39 d'aquestes platines amb els seus respectius forats:



Figura-39. Platines foradades.

6.2.2 Xassís

El xassís està format per un conjunt de tubs d'alumini de secció quadrada (2 cm x 2 cm) amb espai suficient per la base d'operacions, la base de cosir amb les anelles i la base de cosir pell artificial, tal i com veurem més endavant.

Per la part davantera té l'estructura en pendent i és on es situa tota l'electrònica del sistema:

- La part visible: pantalla LCD , encoder, BUZZER i connector d'entrada de l'alimentació.
- Part no visible: microcontrolador, les 3 PCB i el cablejat.

La part posterior és rectangular de 380 mm x 360 mm i és on es situaran les diferents bases canviables en funció del que l'usuari desitgi.

La placa d'operacions que disposa de tota l'electrònica mencionada anteriorment va connectada amb un connector tipus avió de 8 pins on la femella està situada al xassís i es comunica fins a dins per on passa pels divisors de tensió corresponents i d'allí directament al microcontrolador.

A continuació podem veure sobre programa de disseny com seria aquest xassís (figura 40, 41 i 42):

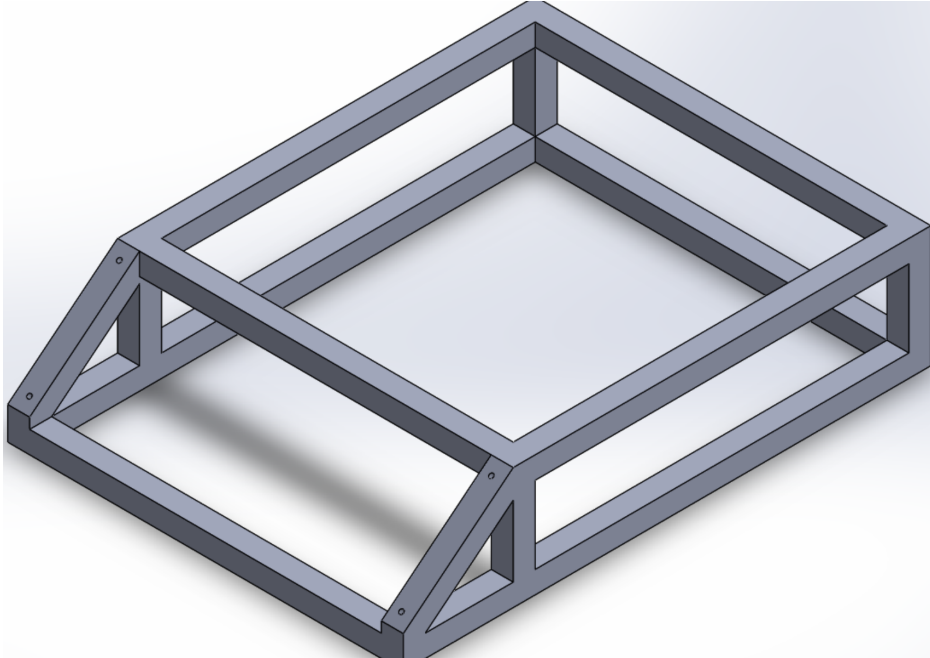


Figura-40. Xassís vista general (1).

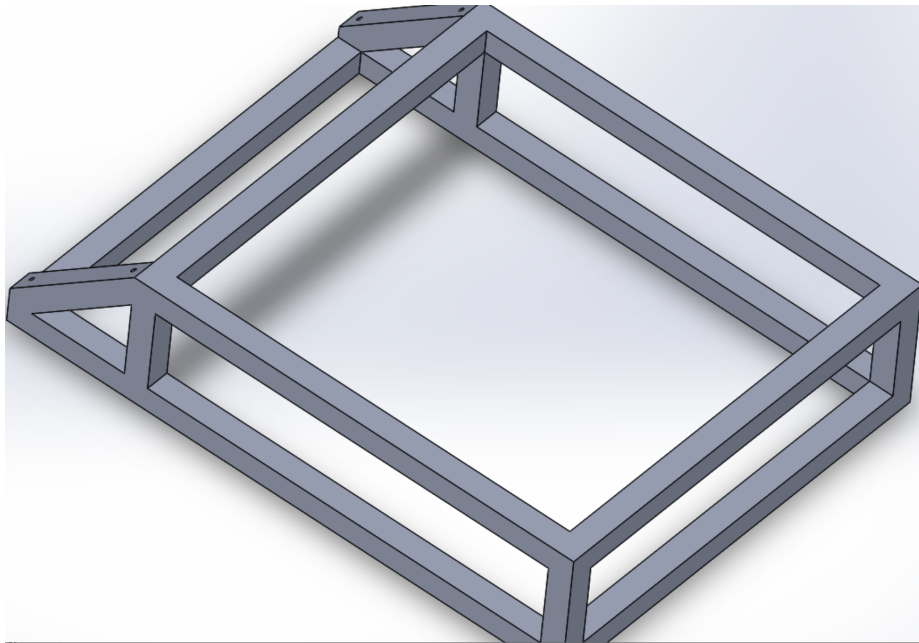


Figura-41. Xassís vista general (2).

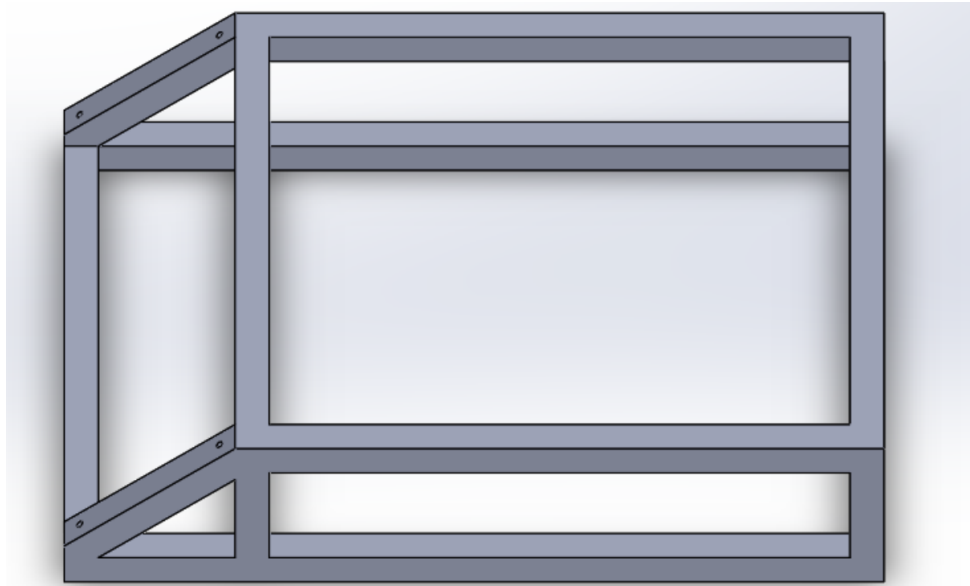


Figura-42. Xassís vista general (3).

6.2.3 Cúpula

La cúpula s'ha dissenyat per imitar la semblança en quant a forma i dimensions del ventre d'un pacient adult per a que les simulacions es puguin fer lo més reals possibles. El material ha estat PLA i s'ha fet amb impressora 3D, en 7 parts ja que cada impressora té unes dimensions màximes de 22 x 22 x 24 cm. Aquestes parts s'han unit amb una resina especial per a que quedin consistents i no hi hagin entrades de llum de l'exterior, ja que la llum que s'utilitzarà serà LED i blanca.

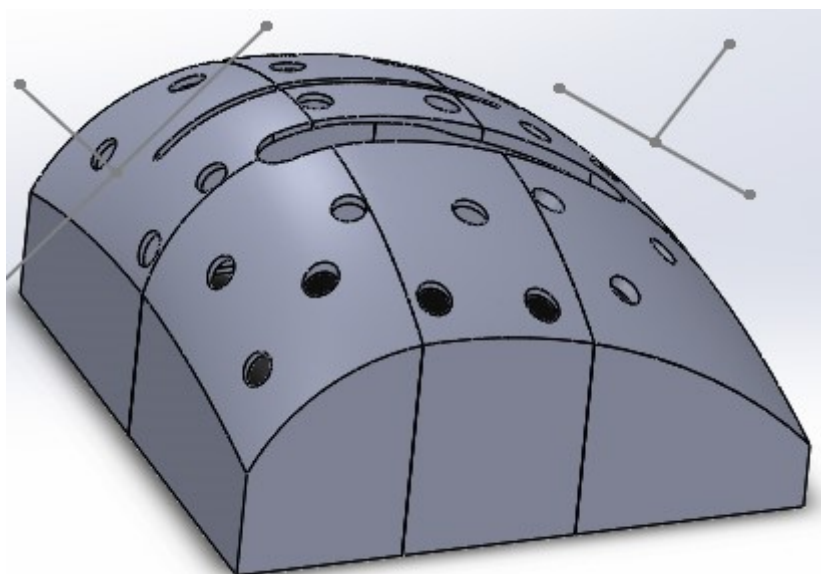


Figura-43. Cúpula vista general (1).

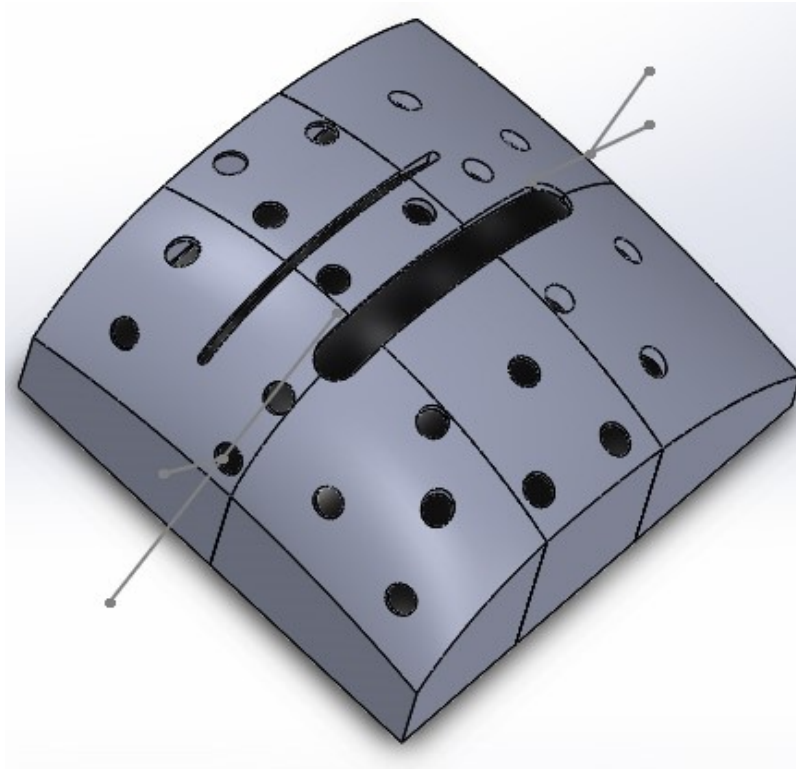


Figura-44. Cúpula vista general (2).

Sota aquests forats aniran uns suports amb unes gomes de 2 mm de gruix i 7 mm de diàmetre per on els usuaris aplicaran les pinces quirúrgiques per fer les simulacions i així simular de forma més realista l'elasticitat i textura de la pell de les persones.

Les dimensions de la base són de 38 x 36 cm.

Observem ara unes imatges del resultat final (figures 45, 46, 47 i 48):



Figura-45. Cúpula vista lateral.



Figura-46. Cúpula vista general amb frontisses.



Figura-47. Cúpula vista general amb suport per a movil (1).

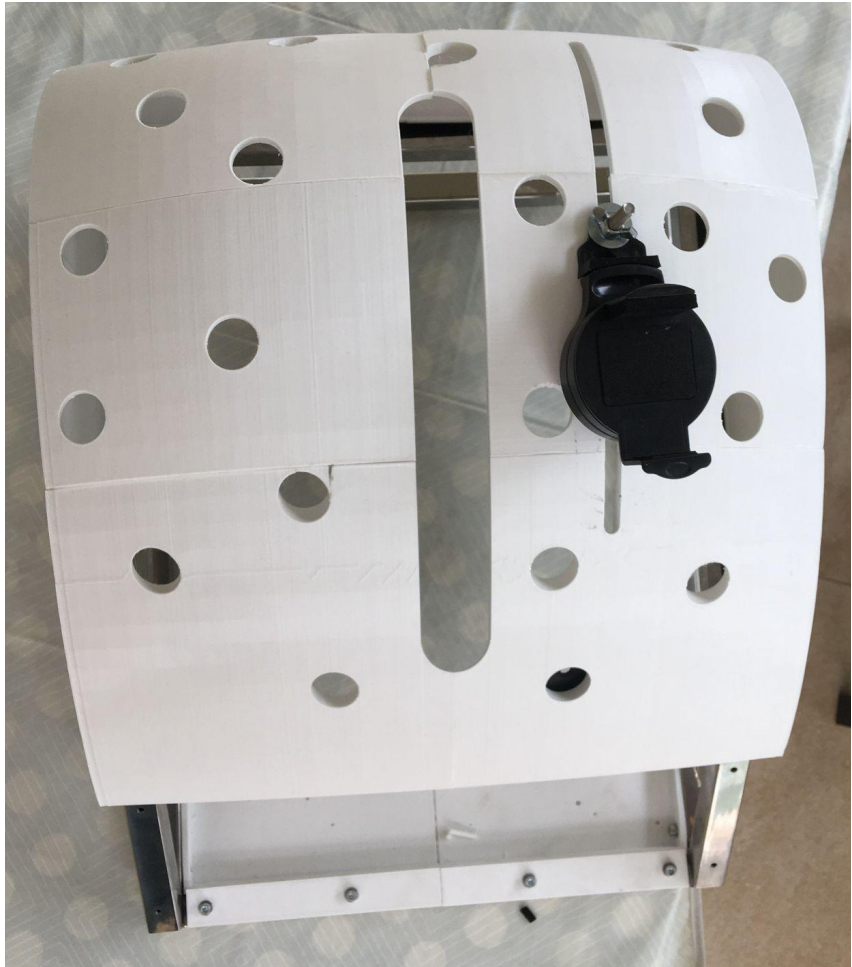


Figura-48. Cúpula vista general amb suport per a movil (2).

6.2.4 Frontisses

Per tal de que la cúpula pugui obrir-se i tancar-se amb un moviment controlat i circular hem dissenyat unes frontisses de tal manera que estan seccionades en un pla vertical perquè puguin entrar les unes amb les altres i així evitar un desplaçament lateral. De la mateixa forma aquestes bisagres ajuden a que la cúpula es quedi equilibrada i quieta un cop s'aixeca uns 90°.

A continuació mostres les respectives imatges a les figures 49 i 50:

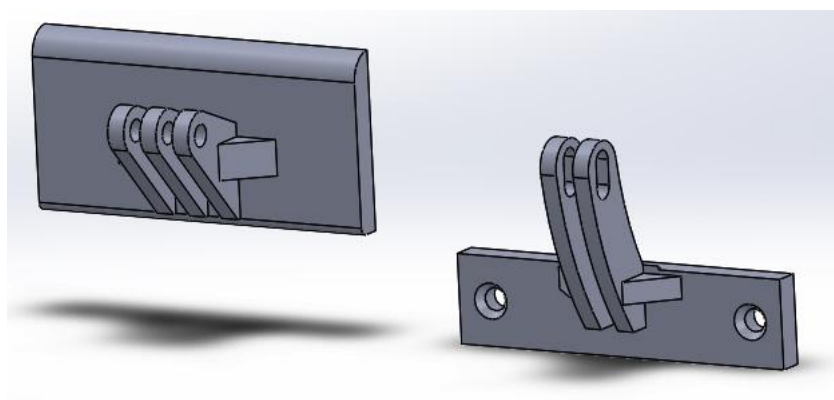


Figura-49. Frontisses vista general (1).

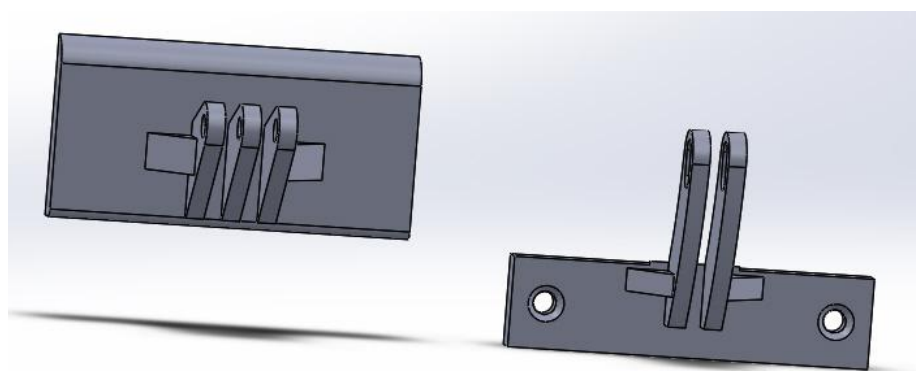


Figura-50. Frontisses vista general (2).

Podem observar que les ranures de les frontisses estan fetes perquè un pugui entrar dins de l'altre. De la mateixa forma el que va al xassís és el que porta 2 forats, ja que anirà cadascun amb dos caragols roscats amb aquests, en canvi l'altre és el que va a la cúpula i no va amb caragols, si no que hi posem cinta de doble cara perquè s'enganxi amb aquesta. Finalment posem un caragol travesser que és el que unirà les frontisses i permetrà el moviment circular.

També hem afegit un reforç als laterals per evitar possibles ruptures de la frontissa en possibles moviments horitzontals.

A continuació mostrem imatges un cop muntat (figures 51, 52 , 53 i 54), observant també com queda amb suspensió la cúpula quan es posa a la seva obertura específica:



Figura-51. Frontissa atornillada.



Figura-52. Frontisses atornillades.



Figura-53. Cúpula amb xassís (1).



Figura-54. Cúpula amb xassís (2).

6.2.5 Suport pantalla frontal i lateral.

Aquest suports ens permeten aguantar i cargolar tots els elements que siguin o no electrònics i que ens permetran dur a terme els nostres jocs de proves. Per una part tenim el suport frontal que hi posarem el següent:

1. Interruptor General (pantalla, encoder, sensors, etc)
2. Interruptor de la llum
3. Pantalla LCD LED
4. Encoder rotatiu
5. Buzzer.

A continuació mostrem a la figura 55 com queda el resultat:

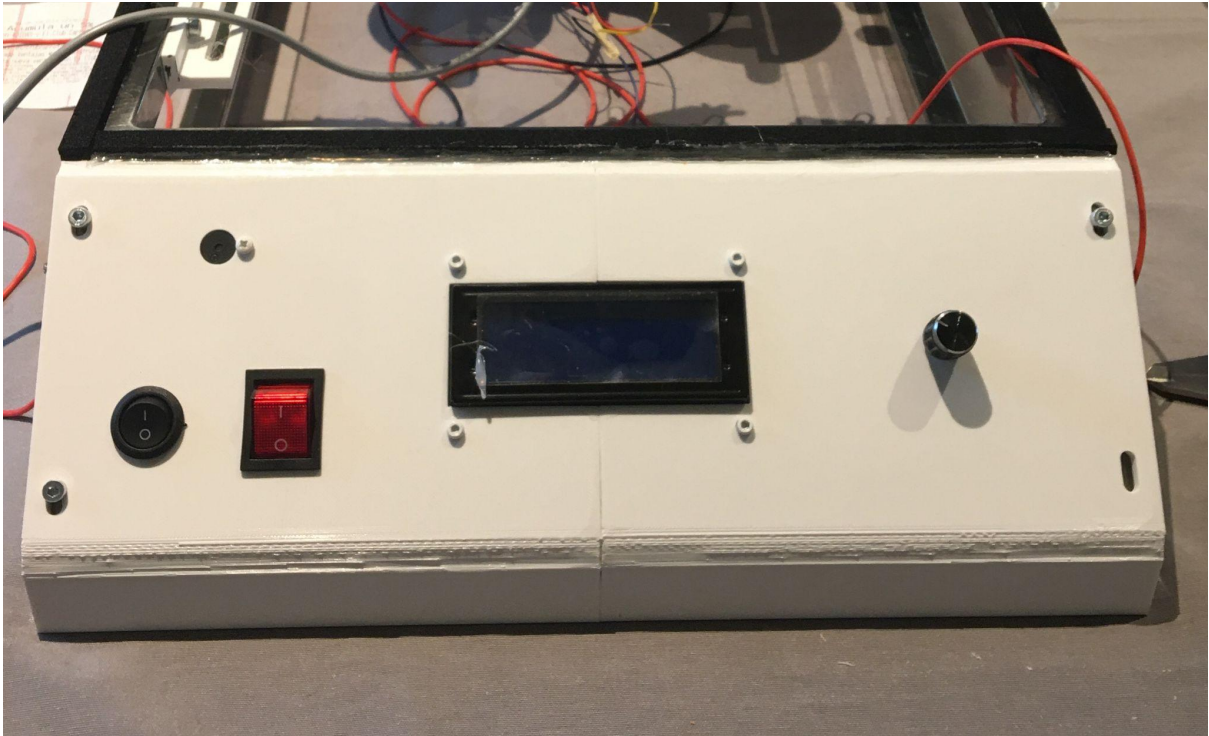


Figura-55. Panell central.

El suport lateral, en canvi, ens permet aguantar la pinça, de tal forma que ens quedaria tal com la figura 56:

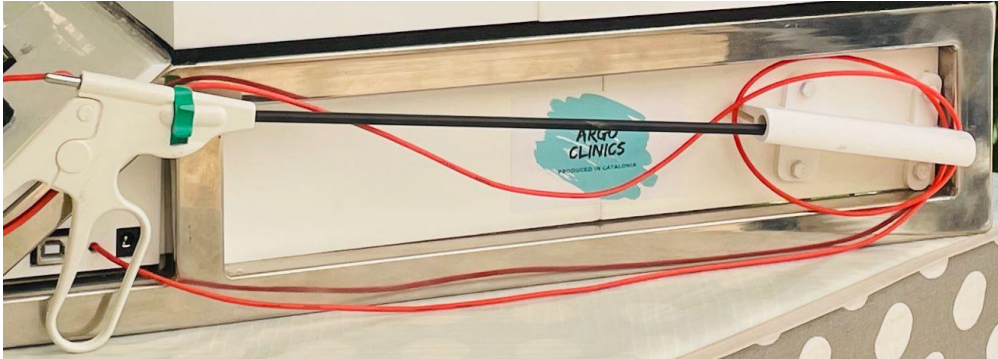


Figura-56. Panell lateral.

6.2.5 Resultat final.

El resultat final ha estat del tot satisfactori, havent realitzat exitosament tots els objectius marcats a l'inici del plantejament del treball, els terminis de temps s'han complert segons el que havíem preestablert i hem sigut capaços de solucionar els desperfectes que ens anaven sorgint amb el temps.

Els materials utilitzats s'han escollit meticulosament perquè compleixin la seva funció en la millor de les mesures possibles, havent-se dimensionat amb un coeficient de seguretat preestablert perquè aguantin més càrrega de l'habitual.

La col·laboració de terceres persones per l'elaboració del treball i l'agilització del procés ha estat fonamental en l'entrega del producte amb el termini establert des d'un principi i amb la qualitat del treball, tant amb la seva elaboració com amb els seus elements.

El resultat final és un conjunt molt gran de peces, cablejat, disseny i diversos materials que agrupats de la manera corresponent permetran ajudar a millorar el sector mèdic quirúrgic d'ara en endavant.

A continuació mostrem a les figures 57 i 58 el resultat final del nostre producte:



Figura-57. Simulador Definitiu (1).

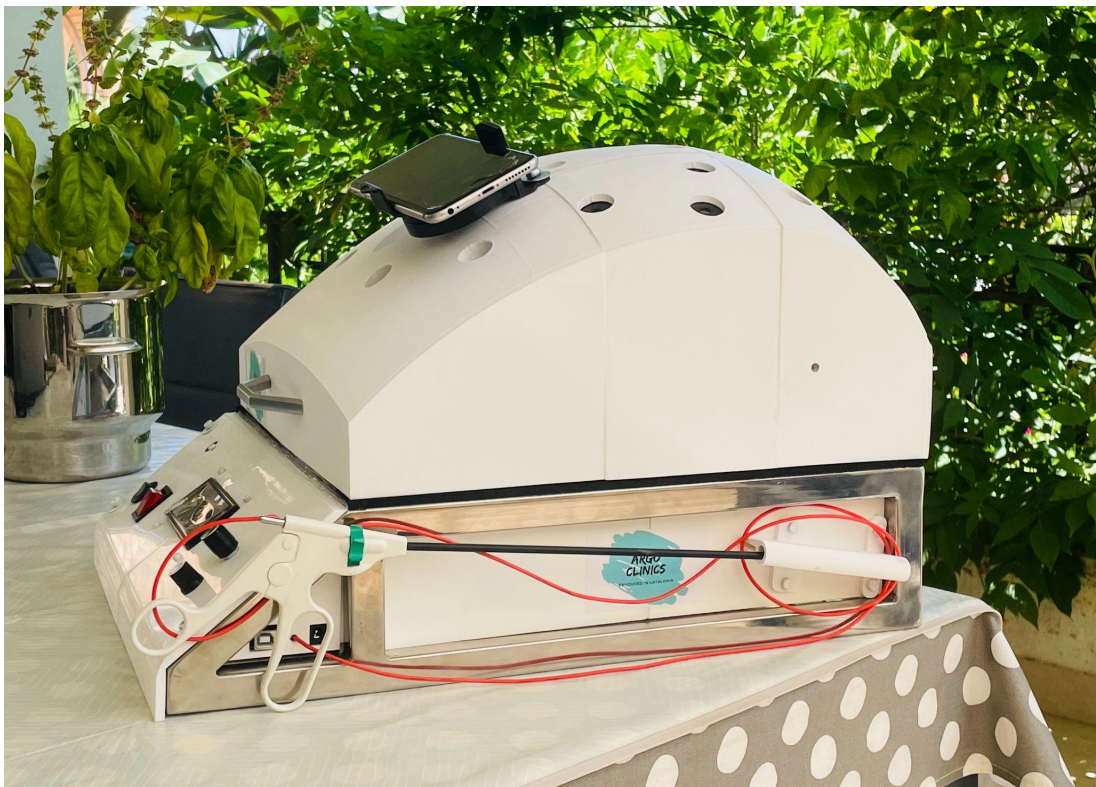


Figura-58. Simulador Definitiu (2).

Memoria de Càlcul

7. Divisors de Tensió

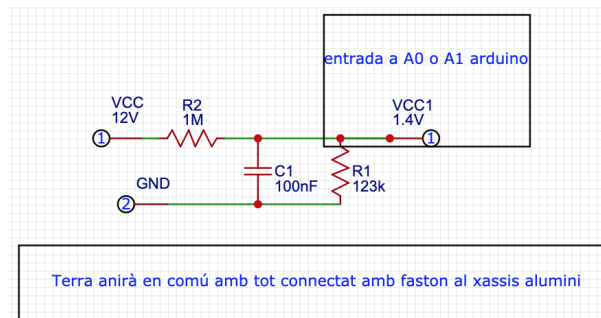


Figura-59. Esquema divisor de tensió.

$$VCC1 = V_{CC} \cdot \frac{R1}{R1+R2} = 12 \cdot \frac{123k\Omega}{1M\Omega+123k\Omega} = 1,31V \quad (1)$$

8. Consum del projecte.

Arduino Uno (12V): 46 mA

VL53L0X (5V): 19 mA en el seu rang de consum màxim.

Sensor IR Pepper+Fuchs (12V): 25 mA màxim.

Encoder KY-040: Menyspreable.

Plaques PCB: Menyspreable.

Pantalla LED 2004 I2C(5V): 200 mA

Buzzer(5V): 30 mA.

Llum LED 80 cm (12 V): 830 mA

Interruptors: Menyspreable.

Intensitat total màxima: 1,150 A

9. Resistencia cables

9.1 Càlcul de resistència del cablejat.

$$R = \rho \cdot L/s \quad (2)$$

On:

R= Resistència del cable en Ω

ρ = Coeficient de resistivitat del material, en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ a 20 °C.

L=longitud del cable en metres.

s= Secció del cable en mm^2 .

9.2 Càlcul de la caiguda de tensió (ΔV).

$$V = I \cdot R \text{ i per tant } \Delta V = V1 - V2 \quad (3)$$

Aquí hem de tenir en compte la resistència del cable tant d'anada com de tornada, ja que hem de recordar que quan el corrent torna també hi ha una resistència existent.

Per als elements de 12 V els hi arriben 12 V i surten 11,96 V.

Per als elements de 5 V els hi arriben 5 V i surten 4,97 V.

9.3 Càlcul del corrent (I)

Tenim tres formes:

$$P = V \cdot I \quad (4)$$

$$I = P/V \quad (5)$$

$$V = I \cdot R \quad (6)$$

Tenim 2 tipus de components, els que treballen a 12 V i els que treballen a 5 V, si sumem la corrent per als dos casos:

10. Els elements que tenim connectats a 12V són:

- *Arduino Uno (12V)*: 46 mA
- *Sensor IR Pepper+Fuchs (12V)*: 25mA màxim.
- *Llum LED 80cm (12V)*: 830 mA

Aquí ens trobem amb un corrent de: 901 mA

11. Els elements que treballen a 5 V són:

- *VL53L0X (5V)*: 19 mA en el seu rang de consum màxim.
- *Pantalla LED 2004 I2C(5V)*: 200 mA
- *Buzzer(5V)*: 30 mA.

Aquí ens trobem amb un corrent de: 249 mA

9.4 Càlcul de la secció del cable

Si ajuntem la fórmula de la caiguda de tensió amb la de Resistència del cable obtenim la següent:

$$\Delta V = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / s \quad (7)$$

Si aïllem la secció ens quedaria el següent:

$$s = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / \Delta V \quad (8)$$

Per als cables de 12V, amb una longitud mitja de 30 cm de cable, corrent de 0,9 Ampers i amb un coeficient de resistivitat del coure de $0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ tenim la següent secció:

$$s = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / \Delta V = 2 \cdot 0,90 \cdot 0,0172 \cdot 0,30 / (12 - 11,96) = 0,232 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Per tant agafariem el cable de secció universal de $0,25 \text{ mm}^2$.

Per als cables de 5V, amb una longitud mitja de 20 cm de cable, amb la corrent de 0,249 Ampers i amb un coeficient de resistivitat del coure de $0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ tenim la següent secció:

$$s = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot L / \Delta V = 2 \cdot 0,249 \cdot 0,0172 \cdot 0,20 / (5 - 4,97) = 0,0571 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Per tant agafariem el cable de secció universal de $0,14 \text{ mm}^2$.

10. Timmer

El timmer que farem servir es el Timmer-2 que treballa a 8 Mhz

1. Definim el prescaler a la freqüència més baixa (7812,5 Hz)

TCC2RB=0b00000111;

2. Calculem el temps que representa aquesta divisió:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{7812,5 \text{ Hz}} = 0,000128 \text{ s} \quad (11)$$

Si un cop entra el timmer entra ha de comptar 255 cops fins a acabar, tardarà:

$$T_{\text{recorregut}} = 0,000128 \cdot 255 = 0,03264 \text{ s} \quad (12)$$

Si volem que ens conti cada segon, ho dividim per saber quants cops haurà d'entrar:

$$Cops \text{ per comptar } 1 \text{ segon} = \frac{1\text{s}}{T_{\text{recorregut}}} = \frac{1}{0,03264} = 30,63 \quad (13)$$

Per tant si ho arrodonim, cada 31 cops que entri al Timmer amb aquesta configuració de prescaler serà pràcticament 1 segon, i d'aquesta manera podem fer servir el comptador de forma molt precisa.

Plec de Condicions

11. Capítol-1

11.1. Estructura del Plec de Condicions.

Aquest Plec de Condicions Tècniques Particulars comprèn el conjunt de característiques que han de complir els materials emprats en la construcció, així com els tècnics de la seva col·locació en el projecte, les respectives instal·lacions, quines seran les responsabilitats i obligacions del fabricant respecte al simulador, terminis d'entrega i possibles futures modificacions que puguin sorgir respecte al següent: "Equip de simulador de Laparoscòpia mèdica".

El present projecte consta dels següents documents:

1. Capítol-1
 - 1.1. Estructura del Plec de Condicions.
 - 1.2. Descripció del Lloc de Treball.
 - 1.3. Programa d'execució i plaç d'entrega.
 - 1.4. Modificació del Projecte.
2. Capítol-2
 - 2.1 Condicions Generals
 - 2.2 Acer Inoxidable
 - 2.3 PLA
 - 2.4 Goma elàstica
 - 2.5 Alumini

S'entén per documents contractuals aquells que estiguin incorporats en el contracte i que siguin d'obligat compliment, excepte modificacions degudament autoritzades. Aquests documents, en cas de licitació sota pressupost, són:

- Plànols
- Plec de Condicions
- Pressupost

La resta de documents o dades del Projecte tenen caràcter informatiu i estan constituïts per la Memòria Descriptiva amb tots els seus annexos, imatges i pressupostos parcials. Els esmentats documents informatius representen únicament una opinió fonamentada. Aquestes dades han de considerar-se tan sols com a complement de la informació que el contractista ha d'adquirir directament i amb els seus propis mitjans.

Solament els documents contractuals definits en la part anterior constitueixen la base del contracte. Per tant, el contractista no podrà al·legar cap modificació de les condicions del contracte basant-se en les dades contingudes dels documents informatius (com, per exemple, preus de base de personal, maquinària i materials, modificació dels planells, préstecs, distàncies de transport, característiques dels materials de l'explanació, justificació de preus, etc.), llevat que aquestes dades apareguin en algun document contractual.

El contractista serà, doncs, responsable dels errors que es puguin derivar de no obtenir la suficient informació directa que rectifiqui o ratifiqui el contingut dels documents informatius del projecte.

En cas de contradicció entre els Plànols i les prescripcions tècniques particulars contingudes en el present plec de condicions, preval el que s'ha prescrit en aquestes últimes. En qualsevol cas, ambdós documents prevalen sobre les prescripcions tècniques generals contingudes en el present plec.

El que s'hagi citat en el plec de condicions i omès en els plànols, o viceversa, haurà de ser executat com si hagués estat exposat en ambdós documents, sempre que, segons el parer del fabricant, quedin suficientment definides les unitats d'obra corresponents i aquestes tinguin preu en el contracte.

11.2. Descripció del Lloc de treball.

Les instal·lacions es situen en la parcel·la nº 12 del Polígon Industrial de Constantí, Tarragona, i són les necessàries per a l'EXECUCIÓ D'UN SIMULADOR DE LAPAROSCÒPIA MEDICA.

Les instal·lacions queden descrites en la memòria i plànols del Projecte, on es detallen i especifiquen les característiques de cadascun dels elements que componen l'obra i que bàsicament són:

1. Neteja, puliment i brillantor de la parcel·la mitjançant l'actuació dels mitjans necessaris.
2. Lloc de treball referent a la nau projectada, de 10 metres de llum i 25 metres de longitud, amb taules rígids metàl·liques i de fusta amb una alçada de pilars d'1,5 metres i una superfície cadascuna de 1 x 3 metres.
3. Condicionament del lloc de treball, llum LED 200 W, finestrals per llum natural i pas d'aire, lavabo, etc.
4. Instal·lacions de fontaneria i electricitat.
5. Estanteries amb material de muntatge de ferreteria com passamans, rosques, volanderes, broques, taladro, clau allen, claus angleses, etc.
6. Equips elèctrics com Soldador d'elèctrode, radial, allargo, mola, taladro industrial, etc.
7. Instal·lació elèctrica de baixa tensió.

8. Instal·lació d'equips de protecció contra incendis.
9. Instal·lació de la maquinària necessària per a la realització de l'activitat projectada.

11.3. Programa d'execució i termini d'entrega

El programa previst per a l'execució de les parts mecàniques i instal·lacions, inclòs el muntatge, la fabricació dels elements plàstics, la programació i el testeig s'estima en 3 mesos a partir de l'inici de la creació del sistema. Per a això se seguirà, de manera aproximada, el següent calendari:

- *Mes 0:* Fabricació del xassís, cúpula, embut, bissagres, plaques PCB i compra de tots els components d'electrònica com pantalla LCD, buzzer, encoder, els dos sensors, connectors, interruptors, fastons, cablejat, condensadors, resistències, potenciometres, fusibles, transistors i transformadors.
- *Mes 1:* Fabricació de la placa de proves amb tots els seus respectius elements tant metàl·lics com plàstics, adquisició dels altres elements com pinces quirúrgiques, gomes de treball, pisto pneumàtic, placa suport dels elements elèctrics i forat roscat de mecanitzat del xassís per als caragols.
- *Mes 2:* Muntatge general de connexionat, proves i testeig del producte.

11.4. Modificació del Projecte

El Director del projecte podrà disposar el canvi de qualsevol unitat projectada per una altra nova, lliurant al contractista els plànols definitius, que des d'aquest moment formaran part del projecte.

Les modificacions seran recollides en el preceptiu llibre d'ordres, que serà lliurat a la contracta a l'hora de fer el replanteig de l'obra, i que romandrà en la mateixa a disposició del Director o persona en qui aquest delegui.

Sempre que els canvis es refereixin a substitució d'una unitat del sistema per una altra de característiques similars a les que figuren en el pressupost, les modificacions no donaran lloc a variacions dels preus unitaris que figuren en el projecte.

La Direcció del projecte resoldrà de manera expressa i estricta els casos en què hi hagi omissió d'alguna prescripció o n'hi hagi dues contradictòries.

12. Capítol-2

12.1. Condicions Generals

Tots els materials a utilitzar en l'obra, inclosos o no inclosos en aquest Plec, hauran d'observar les següents prescripcions:

1. Si les procedències de materials fossin fixades en els documents contractuals, el contractista les haurà d'utilitzar obligatòriament, llevat que hi hagi una autorització expressa del director del projecte. Si fos imprescindible a judici de l'administració canviar aquest origen o procedència es regeix pel que es disposi en la clàusula 60 del Plec de Clàusules Administratives Generals.
2. Si per no complir les prescripcions del present Plec es rebutgen els materials que figuren com a utilitzables en els documents informatius, el contractista tindrà l'obligació d'aportar altres materials que compleixin les prescripcions, sense que per això tingui dret a un nou preu unitari.
3. El contractista obtindrà al seu càrrec l'autorització per a la utilització de préstecs i es farà càrrec a més, pel seu compte, de totes les despeses, cànon, indemnitzacions, etc. que es presentin.
4. El contractista notificarà a la Direcció de fabricació amb suficient antelació les procedències dels materials que es proposi utilitzar, aportant les mostres i les dades necessàries, tant pel que faci referència a la qualitat com a la quantitat.
5. En cap cas podran ser arreplegats i utilitzats a l'obra materials de la qual la procedència no hagi estat aprovada pel director.
6. Tots els materials que s'utilitzin al projecte hauran de ser de qualitat suficient segons el parer del director de l'obra, encara que no s'especifiqui expressament en el Plec de Condicions. La qualitat considerada com a suficient serà la més completa de les definides en la normativa de l'apartat dels materials.

12.2. Acer Inoxidable

L'acer a emprar complirà les condicions exigides en la Instrucció per al Projecte i Execució del simulador.

12.2.1 Calitat

L'allargament mitjà de trencament serà superior a divuit (18) graus, entenent per tal deformació unitària la romanent mesura després de l'assaig normal de tracció UNE 7101, sobre una base de cinc (5) diàmetres de coll d'estracció i de més de tres (3) diàmetres del punt d'aplicació de la mordassa.

El mòdul d'elasticitat inicial serà igual o superior a un milió vuit-cents mil quilograms per centímetre quadrat (1.800.000 kg / cm²). El límit elàstic serà l'indicat en els plànols i, si no hi ha especificacions, serà de cinc mil cent quilograms per centímetre quadrat (5.100 kg / cm²).

En els acers amb esglaó de relaxament, es posarà com a límit elàstic la mínima tensió capaç de produir una deformació romanent del dos per mil (0,2%).

La tensió màxima de trencament serà igual o superior al cent vint-i-cinc per cent (125%) del seu corresponent límit elàstic, entenent per tensió màxima de trencament el valor de l'ordenada màxima del diagrama tensió-deformació.

El valor del límit elàstic característic es determinarà prenent la mitjana aritmètica dels "n / 2" valors més baixos obtinguts de l'assaig de "n" provetes, prescindint del valor mitjà de la sèrie, si "n" fos imparell.

S'ajustarà a l'article 600 del Plec General de març de 1975.

12.2.2 Assajos

Si el director facultatiu del projecte ho considera convenient, s'exigirà un certificat d'un Laboratori Oficial que garanteixi la qualitat de l'acer utilitzat.

Així mateix, donarà instruccions sobre l'execució en el projecte de l'assaig de doblegat descrit en la Instrucció per al Projecte i l'Execució d'obres d'Acer Inoxidable EH-91.

12.2.3 Estructura de l'Acer

La classe d'acer de perfil quadrat a emprar en les estructures serà, tant en perfils com a xapa, acer laminat AISI-304, inclòs en la norma UNE-36.080-73, complirà totes les característiques mecàniques (límits elàstics, resistència a tracció, allargament de ruptura, doblat), i químiques (contingut límit en carboni, fòsfor i sofre), que estableix la norma NBE-EA / 95: " Estructures d'acer en Xassis ". Aquests complimentes hauran de ser garantits pel fabricant.

12.2.4 Cargols i rosques

El ferro per claus i ferramentes serà dolç, mal·leable en fred i en calent, de gra fi i homogeni, perfectament laminat i de superfície ben neta, no havent-hi de presentar buits ni senyals d'incrustacions de brutícies o cossos estranys.

Els claus i els cargols que s'utilitzin seran de ferro dolç, amb puntes agudes i filets nets, tenint cada peça la longitud i el gruix o diàmetre necessaris per a la seva funció.

12.3. PLA

L'àcid polilàctic (PLA) és un polièster termoplàstic, alifàtic i compostable d'origen natural, obtingut tant de la condensació directa de l'àcid làctic (àcid 2-hidroxipropiònic) com de la polimerització d'obertura d'anell (Polymerization d'obertura d'anell, ROP) del dímer de lactida cíclica. Aquest material ha despertat un gran interès en els últims anys gràcies a la seva possibilitat de trobar feina com a substitut dels termoplàstics tradicionals en la indústria de l'embalatge i com a material biocompatible / bio absorbible en el camp de la medicina. El PLA té bones propietats mecàniques en comparació amb les dels materials termoplàstics estàndards. Té baixa resistència a l'impacte, comparable al clorur de polivinil - PVC no plastificat. La duresa, rigidesa, resistència a l'impacte i elasticitat del PLA són similars a les del PET. La pel·lícula orientada al PLA pot ser de plegat o doblat. Té bona resistència a la torsió, propietats típiques del paper i paper d'alumini i que, en general, no ho tenen en pel·lícules de plàstic. Aquestes propietats, l'alt mòdul de flexió i l'alta transparència fa que la pel·lícula en PLA sigui un material comparable a la pel·lícula de cel·lofana.

El PLA ha despertat l'interès d'investigadors, productors i processadors, ja que a més de ser un termoplàstic, s'ha trobat que pot ser un gran competidor enfront de plàstics d'origen petroquímic pel seu rang de propietats, a més de ser biodegradable al 100% en un medi aquós a temperatura ambient i en un rang de pH entre 5 i 8. Un altre aspecte important és que l'energia que es requereix per produir un quilogram de PLA és la meitat del que s'ocupa per produir un plàstic d'origen petroquímic si el seu precursor s'extreu de biomassa. L'àcid làctic és una molècula quiral i té dos isòmers òptics, el D (-) làctic i L (+) làctic, que en manipular els seus pesos moleculars poden aconseguir propietats diferents des de l'estat amorf fins a l'estat cristal·lí. Hi ha tres formes possibles de PLA:

- Poli (meso-lactida) o poli (D, L-lactida) que és un grau amorf de PLA (representat com A-PLA)
- PLLA, homocristal·lí.
- PDLA, homocristal·lí, homocristalina

La majoria dels PLA comercials actuals són poli (meso-lactida), que és una barreja de 95% amb isòmer PLLA i 5% amb PDLA. El PLA es pot produir a partir de fonts agrícoles renovables com el blat de moro, la canya de sucre i remolatxa, entre altres. L'àcid làctic pot ser obtingut per via química o biotecnològica. La producció química està basada en la reacció d'acetaldehídic amb àcid cianhídric (HCN) per donar acetonitril, el qual pot ser hidrolitzat a àcid làctic; un altre tipus de reacció es basa en la reacció a alta pressió d'acetaldehídic amb monòxid de carboni i aigua en presència d'àcid sulfúric com a catalitzador. La síntesi química té el desavantatge que l'àcid làctic produït és una barreja de D i L àcid làctic òpticament inactiu. La producció biotecnològica està basada en la fermentació de substrats rics en carbohidrats per microorganismes i té l'avantatge de formar enantiòmers D o L, òpticament actius. Industrialment es fan servir com a substrats, sacarosa provinent de sucre de canya i remolatxa sucrera, lactosa provinent de lactosèrum, i dextrosa procedent de midó hidrolitzat. Una limitació del PLA és que, comparat amb altres empaquetatges plàstics, té una baixa temperatura de distorsió, entre 55 i 60 ° C; això pot ser un problema en aplicacions on el material d'empaquetatge és exposat a pics d'escalfament durant l'ompliment, transport o emmagatzematge i pot finalment deformar-se.

12.3.1 Propietats tèrmiques

El PLA té una cristal·linitat del voltant del 37%, una temperatura de transició vítria entre 60-65°C, una temperatura de fusió entre 173-178 °C i un mòdul d'elasticitat entre 2,7 GPa. No obstant això, el PLA resistent a la calor pot suportar temperatures de 90 °C i es degrada ràpidament per sobre d'aquesta temperatura en condicions d'alta humitat. El PLA té propietats mecàniques similars al PET, però té una temperatura màxima d'ús continu significativament més baixa. A causa de la baixa temperatura de l'estovament de Vicat.

L'àcid polilàctic es pot processar, com la majoria dels termoplàstics, en fibra (per exemple, usant el procés convencional de filatura per fusió) i en pel·lícula. La temperatura de fusió del PLA es pot augmentar 40-50°C i la temperatura de deflexió a la calor pot incrementar-se en aproximadament 60 °C fins 190 °C per barrejat físic del polímer amb PDLA (poliàcido-D-làctic).

La resina de copolímer d'etilè pot reduir els punts febles del PLA en termes de resistència a l'impacte, flexibilitat i estabilitat de la massa fosa, augmentant la vida útil de l'embalatge, especialment els rígids termoformats o modelats per injecció, sense comprometre les característiques de comptabilitat: en particular, permet obtenir una major transparència en comparació amb els additius que tenen funcions similars. Les dosis recomanades varien del 1 al 5% depenent de l'aplicació específica.

12.3.2 Propietats físiques

Les propietats físiques depenen de característiques moleculars com el gruix dels cristalls, el grau de cristal·linitat, la mida de les esferulites, la morfologia i l'orientació de les cadenes. Les propietats mecàniques, d'altra banda, poden variar de les d'un polímer amorf a les d'un polímer semicristal·lí i generalment són intermèdies entre aquestes característiques del PET i les del poliestirè (PS). En les proves de flux en espiral, les resines MBS flueixen a la mateixa distància que el policarbonat a temperatures significativament més baixes. Això condueix a

una major productivitat, menor consum d'energia i menys estrès modelat. És un material que pot imprimir-se sense tractament superficial. Pel que fa a les propietats del material, és possible observar que des d'un punt de vista reològic la fosa té una elasticitat menor que la de les poliolefines tradicionals.

12.4. Goma elàstica de silicona.

La silicona és un derivat de la roca de quars combinat a altes temperatures amb carboni, és a dir, un cautxú amb una base de sílice. A partir d'aquesta base, es poden obtenir diverses formes físiques com el gel, l'oli i el sòlid. Nosaltres hem utilitzat el cautxú de silicona, el qual és antiadherent a la gran majoria de materials i adhesius. És hidròfug, a més d'impermeable.

12.4.1 Resistència tèrmica

Els cautxús de silicona tenen un excel·lent comportament i estabilitat des de - 55 ° C a +225 °C i les nostres gomes de silicona THT que hem fet servir en aquest simulador poden treballar fins +320 ° C en calor seca. Hi ha silicones que ens permeten arribar fins als -90 °C, com les silicones de Fenil-Vinil-Metil-siloxà (PVMQ). També podem trobar al mercat silicones especials per vapor (calor humida), que resisteixen els +150 °C en continu.

12.4.2 Normativa de toxicitat

Material inert podent arribar a complir amb les normes internacionals aptes per a l'ús mèdic i farmacèutic i apte per al contacte amb aliments segons: FDA CFR 177.2600 (US Food and Drug Administration), BgVV BfR cap.15 (Bundesinstitut für Gesundheitlichen Verbraucherschutz Und Veterinärmedizin) , USP Classe VI (US Pharmacopoeia), EC 1935/2004 Regulation, Journal officiel de la République Française brochure 1227.

12.4.3 Resistència atmosfèrica

Ofereix una excel·lent resistència a la intempèrie, l'ozó, el pyralene i les radiacions UV.

12.4.4 Dureses i densitats

Les nostres gomes de silicona compacta ofereixen dureses d'uns 70 Shore A (el estàndard és 65 Shore), podent-ne trobar de fins a 90 Shore.

12.5. Alumini

L'alumini és un metall platejat molt lleuger. La seva massa atòmica és 26,9815, té un punt de fusió de 660 °C i un punt d'ebullició de 2.467 °C, i una densitat relativa 2,7 kg / m³. És un metall molt electropositiu i extremadament reactiu. Al contacte amb l'aire es cobreix ràpidament amb una capa dura i transparent d'òxid d'alumini que el protegeix de la corrosió.

12.5.1 Propietats mecàniques

Entre les característiques mecàniques de l'alumini destaquem les següents:

- Fàcil mecanitzat.
- Molt mal·leable, permet la producció de làmines molt primes.
- Bastant dúctil, permet la fabricació de cables elèctrics.
- Material tou (Escala de Mohs: 2-3). Límit de resistència a tracció: 160-200 N/mm², [160-200 MPa] en estat pur, en estat aliat el rang és de 1400-6000 N / mm². El duralumini és un aliatge particularment resistent.
- Material que forma aliatges amb altres metalls per millorar les propietats mecàniques.
- Permet la fabricació de peces per fosa, forja i extrusió.
- Material soldable.
- Amb CO₂ absorbeix el doble de l'impacte.

12.5.2 Propietats Químiques

- A causa del seu elevat estat d'oxidació es forma ràpidament a l'aire una fina capa superficial d'òxid d'alumini (Alúmina Al₂O₃) impermeable i adherent que atura el procés d'oxidació, el que li proporciona resistència a la corrosió i durabilitat. Aquesta capa protectora, de color gris mat, pot ser ampliada per electròlisi en presència d'oxalats.
- L'alumini té característiques amfòteres. En aquest cas es dissol tant en àcids (formant sals d'alumini) com en bases fortes (Formant aluminats amb l'anió [Al(OH)₄]⁻) alliberant hidrogen.
- La capa d'òxid formada sobre l'alumini es pot dissoldre en àcid cítric formant citrat d'alumini.
- L'alumini reacciona amb facilitat amb HCl, NaOH, perclòric, però en general resisteix la corrosió a causa de l'òxid. No obstant això quan hi ha ions Cu⁺⁺ i Cl⁻ seva passivació desapareix i és molt reactiu.

Agraïments

Dedico aquest apartat a tota la gent que amb la seva ajuda han fet possible que aquest treball s'hagi realitzat satisfactòriament, complint totes les expectatives que ens havíem marcat a l'inici i sobretot amb aportacions de qualitat i professionalitat, ja que sense aquestes aportacions aquest treball no hagués estat ni de bon tros fet tant satisfactiu com ho està actualment.

Per tant ha sigut imprescindible la col·laboració d'aquestes persones per la correcta execució i la planificació d'aquest projecte, repeteixo que sense ells no hagués estat possible.

A continuació faig un llistat destacant aquestes persones que han aportat molts grans de sorra per l'acompliment d'aquest treball:

Joan Ramon Aragonès: En Joan Ramon, el meu pare, ha estat una persona clau per l'elaboració, el mecanitzat i disseny de gran part de les peces que conformen aquest simulador, des de la selecció de materials passant pel tallat i perforat fins al muntatge i retocs finals de les peces han estat fonamentals perquè cada prova pogués funcionar de forma correcta i adequada, no només això sinó que la seva col·laboració ha sigut clau per agilitzar en gran manera l'elaboració d'aquest treball, sense ell no hagués pogut entregar el projecte a temps de cap manera.

Agraeixo infinitats, per tant, el seu esforç, dedicació, paciència, voluntat i l'optimisme que ha tingut per seguir endavant sense desistir en cap moment dels seus objectius recolzant-me moltíssim en aquest camí de grans dificultats que ens hem trobat.

Dr. Bartomeu: El Dr. Bartomeu de l'hospital Althaia, Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, és la persona que em va guiar a accomplir aquest projecte, ell va ser dels pocs que va respondre els correus que jo enviava als hospitals per esbrinar què és el que més els hi feia falta i que podia aportar-los jo, i es va posar en contacte amb mi per proposar-me aquest treball tan interessant el qual jo vaig decidir tirar endavant perquè vaig veure viable.

Em resolvia tots els meus dubtes que m'anaven sorgint, em trucava si feia falta i m'enviava informació o imatges que jo necessitava, també em va invitar a l'hospital per reunir-nos amb altres metges i poder comentar tots junts els problemes que tenien amb els metges residents i com podíem resoldre'ls amb aquest projecte.

Sense la seva participació de ben segur que aquest treball no hagués estat realitzat.

Agustí Rubio (Mecaindu): La participació de l'Agustí en aquest projecte també ha sigut fonamental, la seva professionalitat, pulcritud, rapidesa i sobretot el seu tracte ens ha meravellat des del primer moment, de ben segur que hem estat afortunats que l'Agustí hagi pogut col·laborar amb nosaltres, sense ell no tindríem un projecte amb materials d'aquesta gran qualitat i amb aquests acabats tan impecables, com podem observar amb el xassís d'acer inoxidable tant ben acabat, net i ràpid que ens va fer.

Crisanto Villalobos: En Crisanto, com a doctor en Materials de la UPC, també ha sigut de gran ajuda amb l'elecció dels materials, el mecanitzat, i les geometries dels elements que formen aquest simulador, sobretot dels polímers com el PLA utilitzat amb les impressions 3D. També ha sigut de gran ajuda amb l'estudi de les forces que sofrien aquests materials, com la tracció i compressió, i de quines formes es podria resoldre l'impacte aquestes forces per evitar possibles fissures d'aquestes peces en un futur pròxim.

Però personalment, el valor més important per a mi ha estat la seva generositat, l'honestedat, la franquesa i el temps que ens ha dedicat per poder fer aquest treball el millor possible, a més, tot el seu suport i els seus ànims han sigut vitals per a que poguéssim carregar les piles en els moments més difícils.

Nico (Ferreteria Marti): En Nico va ser una persona que ens va atendre d'una manera única i excepcional preocupant-se per nosaltres i el nostre treball en tot moment, va dedicar gran part de les seves hores a estar per nosaltres i a buscar peces, materials i ferramentes que ens poguessin servir per acomplir millor les nostres tasques.