



TDR 2021

INS PLA DE L'ESTANY

# CIRURGIA ROBÒTICA

Creació d'un sistema quirúrgic

Autor

ORIOL CAPALLERA RODRIGO

Tutor

XEVI SALA





*“Cuando un sueño aparezca, ¡agárralo!”*

Larry Page

Cofundador de Google y CEO de Alphabet

### **Las tres leyes de la robótica**

- I. *“Un robot no hará daño a un ser humano ni, por su inacción, permitirá que un ser humano sufra daño”*
- II. *“Un robot debe obedecer las ordenes dadas por los seres humanos, excepto si estas entran en conflicto con la primera ley”*
- III. *“Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que no entre en conflicto con la primera o la segunda ley”*

Issac Asimov (Bioquímico, científico, divulgador y escritor)



## Agraïments

Aquest treball ha estat possible gràcies al suport i l'acompanyament de diverses persones.

En primer lloc, voldria agrair a en Xevi Sala, el meu tutor del TdR per la seva ajuda i el seu suport durant tots aquests mesos de planificació i execució del treball. Gràcies a ell he pogut tenir un millor enfocament del projecte.

En segon lloc, al meu pare pels seus coneixements tecnològics, que m'han ajudat molt durant tota la part pràctica i a trobar solucions a problemes tècnics a vegades complicats. I a la meua mare pels seus coneixements científics, que m'han ajudat en tota la part teòrica. També, gràcies a ella vaig tenir l'oportunitat de contactar amb el Dr. Nicolau Carrasco.

Per últim, vull agrair al Dr. Nicolau Carrasco que em fes una *Master Class* sobre la utilitat del robot Da Vinci i em deixes provar el simulador quirúrgic. Que em va ajudar a triar el tema del TdR.



## Abstract

La robòtica s'ha aplicat a l'àmbit de la salut des dels anys vuitanta per alliberar el personal sanitari de les tasques rutinàries, perquè es puguin dedicar a situacions més urgents. La cirurgia robòtica ha suposat un gran avenç a les intervencions quirúrgiques, reduint les incisions, les complicacions i l'estada hospitalària del pacient. L'objectiu d'aquest treball és redissenyar un braç robòtic utilitzant tecnologia 3D, per adaptar-lo a les necessitats d'una intervenció laparoscòpica. Per a complir l'objectiu ha estat necessari dissenyar un sistema quirúrgic, que consta de tres parts: un braç robòtic imprès amb una impressora 3D, una zona de control integrada en una maleta amb pantalla i un accessori pel braç robòtic que consisteix en una pinça laparoscòpica modificada. El repte s'ha aconseguit i els moviments del braç robòtic poden ser controlats a distància i visualitzats en la pantalla situada a la zona de control.

La robótica se ha aplicado al ámbito de la salud desde los años ochenta para liberar el personal sanitario de las tareas rutinarias, para que se puedan dedicar a situaciones más urgentes. La cirugía robótica ha supuesto un gran avance en las intervenciones quirúrgicas, reduciendo las incisiones, las complicaciones y la estancia hospitalaria del paciente. El objetivo de este trabajo es rediseñar un brazo robótico utilizando tecnología 3D, para adaptarlo a las necesidades de una intervención laparoscópica. Para cumplir el objetivo ha sido necesario diseñar un sistema quirúrgico, que consta de tres partes: un brazo robótico impreso con una impresora 3D, una zona de control integrada en una maleta con pantalla y un accesorio para el brazo robótico que consiste en una pinza laparoscópica modificada. El reto se ha conseguido y los movimientos del brazo robótico pueden ser controlados a distancia y visualizados en la pantalla situada en la zona de control.



Robotics has been applied to the field of health since the 1980s to free health workers from routine tasks, so that they can deal with more urgent situations. Robotic surgery has been a major breakthrough in surgery, reducing the incisions, complications and hospital stay of the patient. The aim of this work is to modify the design of a robotic arm (printed with a 3D printer), in order to make the necessary movements for a laparoscopic intervention. To meet the goal it has been necessary to design a surgical system, which consists of three parts: a robotic arm printed with a 3D printer, a control area integrated in a suitcase with screen and an accessory for the robotic arm consisting of a forceps modified laparoscopic. The challenge has been to make the robotic arm work by means of remote controls and perform the necessary movements for surgery. In addition to being able to view it through the screen located in the control area.



## Índex:

<b>0. Introducció</b>	<b>2</b>
<b>Part Teòrica</b>	<b>5</b>
<b>1. Cirurgia Robòtica</b>	<b>6</b>
1.1 Primer robot quirúrgic	7
1.2 Evolució del robot quirúrgic	8
PROBOT® (1988)	8
ROBODOC® (1992)	9
AESOP® (1996)	10
ZEUS® (1998)	11
Da Vinci® (1999-2019)	12
<b>2. Funcionament dels robots quirúrgic</b>	<b>16</b>
2.1 Procediment operatori	16
2.2 Avantatges dels robots quirúrgics	18
2.3 Desavantatges o limitacions dels robots quirúrgics	19
<b>Part Pràctica</b>	<b>20</b>
<b>3. Objectius i Requisits principals</b>	<b>21</b>
<b>4. Investigació i cerca d'informació</b>	<b>22</b>
<b>5. Disseny de la solució</b>	<b>23</b>
5.1 Disseny del braç robòtic	24
5.2 Disseny de la maleta	27
5.3 Disseny de la pinça	30
<b>6. Procés de construcció</b>	<b>35</b>
6.1 Materials	35
6.2 Eines	37
6.3 Muntatge del braç robòtic	38
6.3.1 Eix 6	39
6.3.2 Eix 5	39
6.3.3 Eix 4	40
6.3.4 Eix 3	40
6.3.5 Eix 2	41
6.3.6 Eix 1	42
6.3.7 Acoblament final	43
6.3.8 Gestió del cablejat	44



6.4 Muntatge de la maleta	44
6.5 Muntatge de la pinça	46
6.6 Programació	46
6.6.1 Programes braç robòtic	46
6.6.2 Programa joysticks	48
6.6.3 Programa final	49
<b>7. Avaluació</b>	<b>52</b>
<b>8. Conclusions</b>	<b>55</b>
<b>9. Bibliografia</b>	<b>56</b>
<b>10. Annexos</b>	<b>59</b>





## 0. Introducció

Sempre he tingut una gran afició per la robòtica i la medicina, això m'ha ajudat a decantar-me a l'hora de triar el tema del treball de recerca, "La Cirurgia Robòtica", ja que aquest tema engloba aquestes dues disciplines. També, una situació que em va fer decidir definitivament per aquest treball, va ser que vaig tenir l'oportunitat de veure en persona el sistema quirúrgic Da Vinci, un robot quirúrgic molt sofisticat, utilitzat a l'Hospital Dr. Josep Trueta de Girona per fer intervencions d'urologia i ginecologia.

Així doncs, el propòsit d'aquest treball és fer una cerca d'informació sobre els robots quirúrgics i sobre el seu funcionament, per posteriorment dissenyar un sistema quirúrgic i dur-lo a terme.

Un robot és un sistema mecànic o virtual que està controlat per un programa o un circuit elèctric, que pot ser parcialment o totalment autònom.

Els robots s'han aplicat a l'àmbit de la salut des dels anys vuitanta, ajudant a alliberar al personal sanitari de tasques rutinàries, d'aquesta manera poden dedicar el seu temps a situacions de més urgència, fent que els procediments mèdics siguin més segurs i menys costosos.

### **Objectiu principal:**

Modificar el disseny d'un braç robòtic (imprès amb una impressora 3D), per a poder realitzar els moviments necessaris per a una intervenció laparoscòpica.

### **Hipòtesis de partida:**

- Potser seré capaç de modificar el disseny d'un braç robot per fer un sistema quirúrgic.

**Metodologia:**

Aquest treball consta de dos grans blocs, el primer és un bloc teòric i l'altre bloc és el pràctic.

La part teòrica l'he elaborat a partir d'un llibre de la cirurgia robòtica i mitjançant articles científics del cercador "ClinicalKey<sup>®</sup>". Molts d'aquests eren en anglès i vaig haver de traduir-los i extreure'n la informació principal. A banda d'això em va ser bastant complicat trobar informació dels robots quirúrgics, ja que és un tema bastant recent i no hi ha un gran recorregut històric, aquest ha sigut la principal dificultat del treball.

D'altra banda, el marc pràctic he utilitzat el procés tecnològic per poder dur a terme el meu objectiu. El procés tecnològic consisteix en 5 apartats:

- Objectiu i Requisits principals
- Investigació i cerca d'informació
- Disseny de la solució
- Construcció
- Avaluació



# Part Teòrica



# 1. Cirurgia Robòtica

La cirurgia robòtica o cirurgia assistida per robots, és considerada per molts com el futur de la cirurgia gràcies als importants avenços que ha experimentat i al gran impacte causat durant les últimes dècades. Aquesta, permet als metges realitzar molts tipus de procediments complexos i utilitzar les característiques dels robots per millorar les capacitats del cirurgià en comparació amb les tècniques a mà. La principal diferència d'aquest tipus de robot respecte als industrials és que no funcionen de manera autònoma, sinó que actuen amb una interfase entre el cirurgià i el pacient.

En una cirurgia robòtica el cirurgià, assegut en una consola, utilitza els moviments de les mans i els peus per controlar el moviment dels diferents instruments introduïts al pacient. Aquests instruments estan articulats als extrems, el que fa que s'hi pugui reproduir els moviments de les mans del cirurgià evitant les limitacions que sol tenir amb la cirurgia convencional, amb els punts de suport. Gràcies a això, es poden realitzar maniobres més fines i eliminar el tremolor de les mans. També, amb aquest sistema el cirurgià pot treballar a distància amb la telecirurgia. Un dels inconvenients d'aquesta tecnologia és que el cirurgià no té sensació tàctil i ha d'actuar i prendre decisions a partir de la informació visual.

Als anys vuitanta van començar a aparèixer els primers conceptes de robots quirúrgics. Aquests estaven pensats per assistir durant les intervencions i fer la feina del cirurgià una mica més senzilla, o si més no, limitar l'error humà. Les empreses que van aportar més al desenvolupament dels robots quirúrgics van ser: Intuitive Surgical Inc. i Computer Motion Inc. que es van especialitzar en els robots quirúrgics per a cirurgia mínimament invasiva.

Molts dels primers robots estaven especialitzats en una cirurgia molt concreta, però això va anar canviant al llarg del temps, ja que els robots es van tornar molt més versàtils i precisos.



## 1.1 Primer robot quirúrgic

El robot PUMA 560 és considerat el primer robot quirúrgic, però en un principi en Victor Scheinman, el creador d'aquest robot, el va dissenyar per ser un braç robot industrial com el seu nom indica, “Programmable Universal Machine for Assembly” (Màquina Universal Programable per al Muntatge). Però l'any 1985 es va utilitzar per realitzar una operació estereotàxica, un tipus d'intervenció quirúrgica mínimament invasiva que utilitza un sistema de coordenades tridimensional per localitzar lesions. Es va utilitzar la tomografia axial computada (TAC) per guiar el robot mentre introduïa una agulla al cervell per realitzar una biòpsia. El robot PUMA 560 estava dotat amb 6 eixos de moviment, els quals li permetien arribar a qualsevol punt que estigués dins el seu rang de moviment. També, podia saber en quina posició es trobava a cada moment mitjançant uns potenciòmetres (resistències regulables) i així podia realitzar moviments molt més precisos. (Fig. 1)



**Fig. 1** PUMA 560 experimentant.

**Font:** (Kroh, M. i Chalikonda, S., 2015. *Essentials of Robotic Surgery*. 1a ed. Suïssa: Springer, p.17)



## 1.2 Evolució del robot quirúrgic

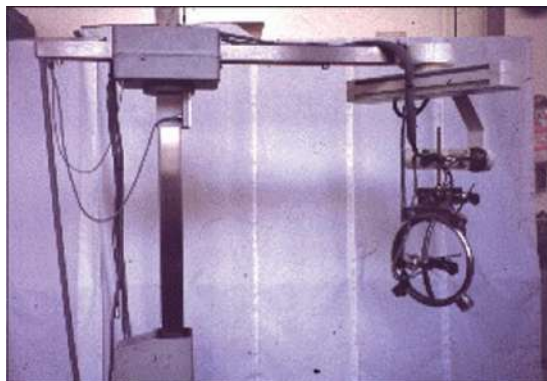
Després del PUMA 560 van arribar tota mena de robots quirúrgics cada un amb característiques innovadores i nous mètodes de funcionament, així com un millor camp visual del pacient, més precisió amb els moviments del robot, sistemes més intuïtius, etc.

Seguidament s'exposa un seguit d'exemples dels robots més reconeguts per la comunitat, gràcies a les seves innovacions i al seu impacte, d'aquesta manera es pot veure com han evolucionat des de la dècada dels vuitanta fins a l'actualitat.

- **PROBOT® (1988)**

El PROBOT® va ser un robot dissenyat per ser utilitzat a la branca d'urologia, que és l'especialitat medicoquirúrgica que s'encarrega de la prevenció, diagnòstic i tractament de malalties renals que afecten tots dos sexes i a les malalties que afecten l'aparell genital masculí. Dins l'especialitat d'urologia el PROBOT® era especialment utilitzat per a la prostatectomia transuretral, que consisteix a extreure parcialment o completament la glàndula prostàtica. (Fig. 2)

El seu creador va ser Brian Davies, professor de robòtica mèdica a l'Imperial College de Londres durant la dècada dels vuitanta (1988)



**Fig. 2** El robot PROBOT®

**Font:** Mavrich, H. (2006) *Actas Urológicas Españolas*



La majoria dels robots com el PUMA 560, solen tenir un braç que consta d'un mecanisme d'espatlla, colze i canell i una eina de subjecció per a la mà. El professor Brian Davies va considerar que un braç d'aquestes característiques era excessiu per a propòsits quirúrgics i fins i tot podia ser perillós utilitzar-lo en espais molt reduïts dins dels cossos humans. Per això van decidir que el PROBOT® estaria dotat de només 3 eixos de moviments i un quart per moure una talladora per a la cirurgia de la pròstata, d'aquesta manera seria el més portàtil i compacte possible.

- **ROBODOC® (1992)**

El ROBODOC® va ser un innovador sistema robòtic que permetia als cirurgians realitzar cirurgies complicades de maluc i genoll amb molta més precisió, gràcies a tomografies convertides en imatges virtuals tridimensionals. Aquest procediment consisteix en l'obtenció d'imatges per seccions mitjançant l'ús de la TAC. D'aquesta manera la planificació preoperatòria i la perforació podien ser guiades per un ordinador. Va ser tan innovador que es va arribar a utilitzar a més de 28.000 procediments a tot el món.

Aquest robot va ser dissenyat pel veterinari Howard A. Paul i l'enginyer convertit en cirurgià ortopèdic William Bargar, que treballaven a la Universitat de Califòrnia. El sistema quirúrgic ROBODOC® consta de dos components: L'ORTHODOC® (Fig. 3), una estació de treball tridimensional (3D) per a la planificació quirúrgica preoperatòria i el ROBODOC® (Fig. 4), un robot quirúrgic tipus SCARA<sup>1</sup> ("Selective Compliance Articulated Robot Arm") amb 5 eixos de moviment, controlat per ordinador que s'utilitza per a la preparació precisa de la cavitat òssia.

---

<sup>1</sup> El SCARA és un tipus de braç robòtic que és extensible a l'eix X-Y i rígid en l'eix Z. La configuració de SCARA és única i està dissenyada per gestionar una varietat d'operacions de manipulació de materials.



**Fig. 3** ORTHODOC®



**Fig. 4** ROBODOC®

**Font fig. 3 i 4:** "The ROBODOC system including ORTHODOC"

- **AESOP® (1996)**

L'AESOP® és un sistema endoscòpic automàtic per a posicionament òptim. Va ser el primer robot aprovat per la FDA (Administració de Medicaments i Aliments) per a intervencions quirúrgiques abdominals, i fou dissenyat per Computer Motion. Inicialment L'AESOP® va ser pensat per ser un braç robòtic per al programa espacial dels Estats Units. Posteriorment, aquest braç va ser modificat per sostenir un laparoscopi i reemplaçar la càmera laparoscòpica.

L'AESOP® està format per un braç robòtic molt semblant a un de tipus SCARA, quatre eixos de moviment en l'eix de X-Y i amb un cinquè a l'eix de la Z. Aquest últim eix subjecta una càmera laparoscòpica que el cirurgista pot controlar mitjançant uns pedals i així pot tenir les mans lliures per realitzar la intervenció més còmodament. Va ser el primer sistema que permetia controlar la càmera laparoscòpica de manera robòtica. (Fig. 5)





Aquest sistema va tenir diverses versions, cada una incorporava o millorava un aspecte diferent del robot, un exemple pot ser el control per veu que va incorporar anys després, però no va ser gaire exitosa.



Fig. 5 Robot AESOP®

Font: "Computer Motion's AESOP"

- **ZEUS® (1998)**

El Robot ZEUS® va ser un robot desenvolupat principalment per a intervencions laparoscòpiques mínimament invasives de l'especialitat de cardiologia, que és la branca de la medicina que s'encarrega de diagnosticar i tractar les malalties de cor i del sistema circulatori. L'empresa que es va encarregar de dissenyar el ZEUS® va ser Computer Motion, la mateixa empresa que va crear el robot AESOP. La primera versió del Zeus va sortir al mercat l'any 1998, però la versió definitiva va ser de l'any 2001.

Constava d'una taula operatòria amb tres braços telecomandats, un dels quals era AESOP (encarregat de dirigir la càmera laparoscòpica) (Fig. 6) i una consola situada a distància des d'on el cirurgià, ergonòmicament posicionat, controlava els braços (Fig. 7). Aquest robot va tenir diverses versions, i en la seva última disposava de comandament de veu, imatge tridimensional, instruments amb 6 graus



de llibertat i filtrat de tremolor de les mans, que era molt important tenint en compte que estava pensat per ser un robot per a intervencions cardíques.



Fig. 6 Taula operatòria amb els braços robòtics



Fig. 7 Consola del cirurgià

Font Fig. 6 i 7: Romero Otero, 2021

- **Da Vinci® (1999-2019)**

El sistema quirúrgic Da Vinci® és un sistema utilitzat actualment per a intervencions laparoscòpiques, particularment en l'especialitat d'urologia.

La primera idea del projecte era que fos utilitzat per l'exèrcit, perquè es poguessin realitzar intervencions als militars de manera remota. Es pretenia que el cirurgià estés en un lloc i el pacient en un altre. Però, al final es va decidir utilitzar-lo com a robot quirúrgic pels hospitals. L'empresa encarregada d'aquest projecte és l'anomenada Intuitive Inc.

El sistema quirúrgic Da Vinci® està format per tres parts. La primera és el carro del pacient que és el component operatiu de sistema da Vinci i es compon de quatre braços mòbils i intercanviables, que són els encarregats de realitzar els moviments per la intervenció quirúrgica (Fig. 8). La segona part és la consola quirúrgica, que és principalment el centre de control, a través del qual, el cirurgià controla els braços i els instruments mitjançant dos controls i pedals (Fig.9). I per últim tenim la torre de visió, que consisteix en un seguit de pantalles utilitzades principalment per les infermeres de quiròfan i el segon



cirurgià, a través d'aquestes poden veure la intervenció que està realitzant el primer cirurgià (Fig. 10).



**Fig 8:** Carro del pacient  
**Font:** Intuitive.com. *Da Vinci.*



**Fig. 9:** Carro quirúrgic  
**Font:** Intuitive.com. *Da Vinci.*



**Fig. 10:** Torre de visió  
**Font:** Intuitive.com.  
*Da Vinci.*

A continuació s'exposen les raons per què aquest sistema quirúrgic és considerat un dels millors robots quirúrgic i un dels més utilitzats, amb un total de 3900 sistemes quirúrgics Da Vinci® en funcionament:

- Tradueix els moviments del cirurgià de manera intuïtiva, permetent un control total dels braços robòtics dels instruments, evitant els complexos moviments laparoscòpics.
- Permet una visió tridimensional del camp operatori, el cirurgià entra literalment en un procés "d'immersió", sense l'ajuda d'ulleres ni altres equips i "viure" la intervenció quirúrgica gairebé des de dins del cos del pacient.
- Elimina el tremolor de les mans del cirurgià o de moviments involuntaris, fent així la intervenció molt més segura i eficaç.
- Utilitza instruments amb un diàmetre d'entre 8 mm i 12 mm, denominats "EndoWrist".



El sistema quirúrgic Da Vinci ha tingut un total de 6 generacions, cada generació implementava alguna innovació o alguna millora. (Taula 1)

Any	Model	Preu	Característiques
1999	Estàndard	1.2 M €	-Primer sistema robòtic -3 braços robòtics -Instruments de 5 mm de gruix
2005	S	1.5 M €	-Primer sistema digital -Visió 3D millorada
2010	SI	1.7 M €	-Millora de l'ancoratge dels instruments -Integrament del bisturí elèctric
2014	XI	1.85 M €	-Reducció de la mida dels braços robòtics -Rotació més dinàmica de la càmera -Millor rang de moviment
2017	X	1.3 M €	-Versió més econòmica del model XI
2019	SP	2.0 M €	-Primer robot a utilitzar la tecnologia d'un sol port <sup>2</sup>

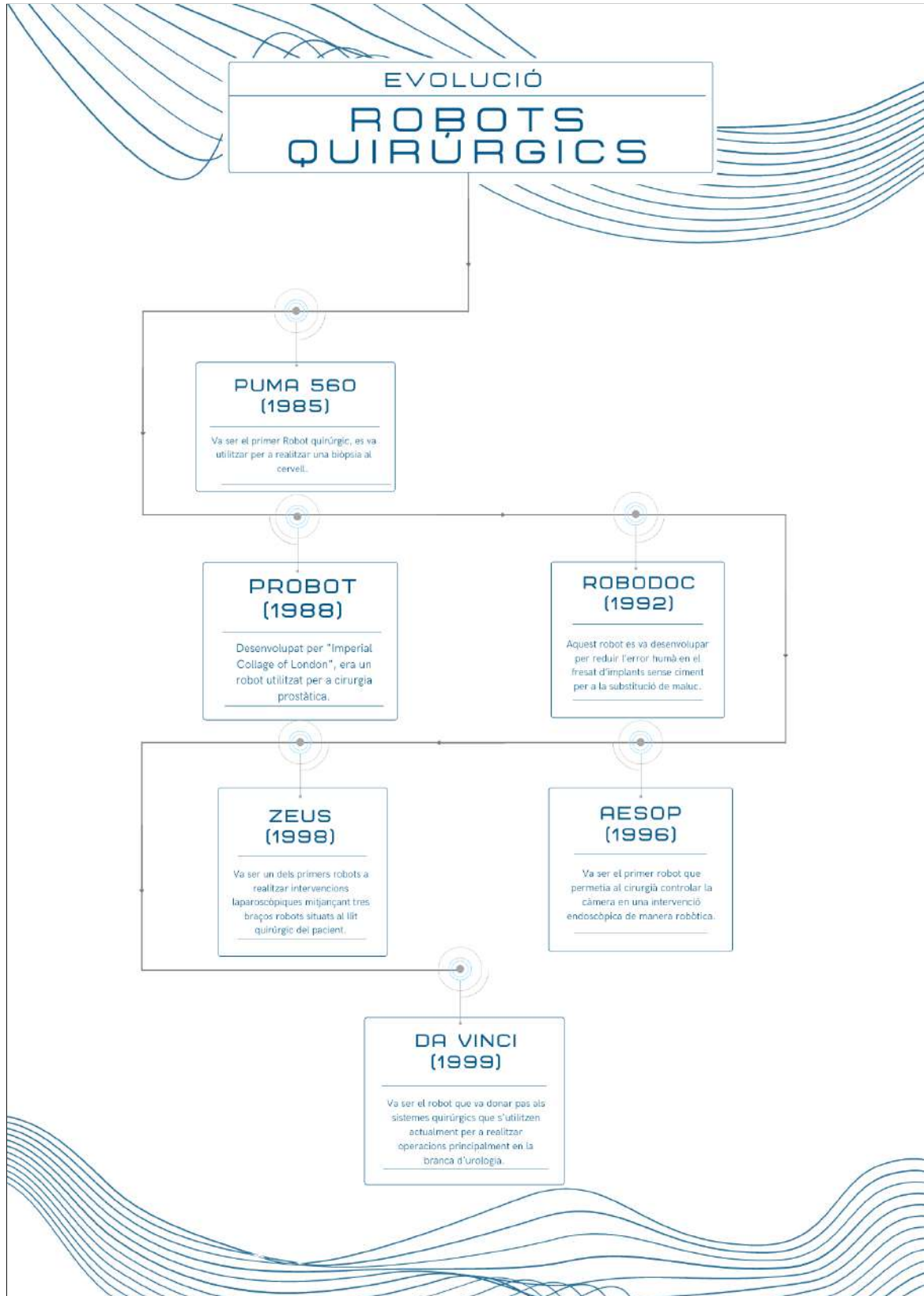
**Taula 1:** Taula de característiques dels diferents models del sistema quirúrgic Da Vinci®

**Font:** Holcomb & Rothenberg

<sup>2</sup> Tecnologia d'un sol port: Consisteix a introduir tots els utensilis i càmeres del robot a través d'un sol orifici.



## Infografia de l'evolució dels robots quirúrgics



## 2. Funcionament dels robots quirúrgic

Els robots quirúrgics utilitzats avui en dia funcionen tots relativament igual pel que fa al funcionament quirúrgic. Tot i això, cada marca incorpora tota mena de millores tant estètiques com tècniques. Així doncs, el funcionament és el següent:

### 2.1 Procediment operatori

El primer pas d'una operació amb robot quirúrgic és realitzar de tres a cinc petites incisions en el cos del pacient per introduir els diversos instruments, un d'aquests porta incorporada una càmera de tres dimensions d'alta definició.(Fig. 11) Tot i que en alguns casos no és necessari realitzar les petites incisions en el pacient, com és el cas de les operacions a les cordes vocals, que s'introdueix per la cavitat bucal.

Els instruments utilitzats en aquests tipus d'intervencions es denominen "EndoWrist". L'EndoWrist és una tecnologia dissenyada per l'empresa Intuitive Inc. (la mateixa que va dissenyar el sistema quirúrgic Da Vinci®), que permet al cirurgià una mobilitat igual o segons els seus creadors millor que la d'un canell humà, amb llibertat de moviment sobre 7 eixos (a diferència dels 4 graus dels instruments de laparoscòpia convencional) i una rotació de gairebé 360 °. (Fig.12). Actualment hi ha un total de 36 models diferents d'instruments amb la tecnologia EndoWrist, els quals no ocupen més de 8 mil·límetres de diàmetre.



**Fig. 11:** Instruments introduïts i preparats en un simulador

**Font:** *Integración del robot quirúrgico*



**Fig. 12:** Instrument "EndoWrist"

**Font:** Intuitive.com. *Da Vinci*.



Un cop els instruments estan introduïts dins el pacient, el cirurgià se situa en una consola quirúrgica des d'on controlarà els moviments del robot dins i fora del pacient.

La consola consta de 3 parts principals (Fig. 13):

La primera és la zona on el cirurgià podrà veure les imatges de l'interior del pacient. Consisteix en una pantalla integrada dins la part superior de la consola, que està dotada amb una tecnologia 3D que li permet emetre imatges en tres dimensions i així facilita la sensació de profunditat (Fig. 14).

La segona part són els comandaments hàptics, una de les zones més importants, ja que és des d'on el cirurgià realitzarà els moviments necessaris per a la intervenció. Aquests permeten controlar l'instrument EndoWrist i els braços robòtics de manera intuïtiva. Un dels punts forts d'aquests controls és la facilitat de control que tenen, ja que els controls llegeixen els moviments que fas mitjançant uns sensors i transmet aquesta informació al centre de la consola perquè tradueixi aquesta informació en moviments que ha de fer el braç. D'aquesta manera el control del robot se simplifica molt pel cirurgià. Un altre aspecte a destacar dels controls és que elimina pràcticament tota mena de tremolor de les mans del cirurgià, fent que la cirurgia sigui més segura i eficaç. (Fig. 15)

Per últim la tercera part és la zona més baixa de la consola, els pedals. Aquests tenen la funció de seleccionar si es vol moure la càmera o deixar-la estàtica, controlar un altre utensili o fer una foto del que estem veient a través de la càmera. (Fig. 16)





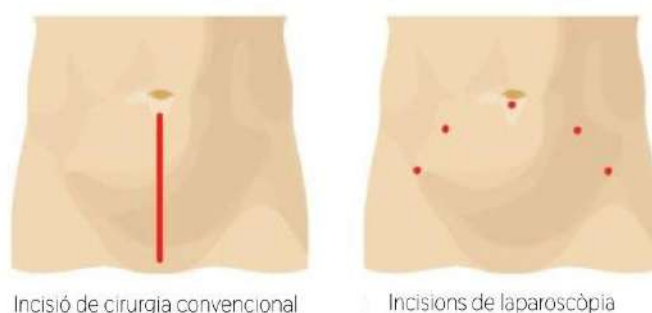
## 2.2 Avantatges dels robots quirúrgics

La majoria dels robots quirúrgics realitzen intervencions laparoscòpiques o operacions mínimament invasives. Si es compara amb la cirurgia convencional, té els següents avantatges (Fig. 17):

- Els pacients presenten menys dolor
- Es realitzen incisions més petites
- La recuperació del pacient és més ràpida
- Els pacients tenen menys risc d'infecció i de sagnat
- L'estada hospitalària es redueix

A part d'aquests avantatges, que té tota cirurgia laparoscòpica, els robots quirúrgics aconseguen que:

- El cirurgià tingui més control dins del pacient, gràcies a la tecnologia Endowrist
- Es redueixi el tremolor propi que genera el cirurgià al moment d'operar
- El camp de visió és més ampli, gràcies a la càmera de tres dimensions
- Reconeixement d'imatge (si tenim una prova diagnòstica tipus TAC el robot pot identificar la zona de la lesió)
- Es puguin realitzar intervencions a distància



**Fig. 17:** Comparació entre les incisions de la cirurgia convencional i la laparoscòpica

**Font:** Minimally Invasive or Laparoscopic: Benefits of Robotic Surgery, 2021





## 2.3 Desavantatges o limitacions dels robots quirúrgics

La cirurgia robòtica no és perfecta i té algunes limitacions. Un inconvenient evident dels robots actuals és la manca de sensació tàctil durant la cirurgia. Tot i que el sistema ofereix una navegació visual molt avançada amb imatges tridimensionals d'alta resolució, aquesta limitació impedeix la sensació de la força a les estructures internes. Tampoc deixa percebre algunes característiques dels teixits manipulats, com la textura i la pressió o elasticitat dels teixits

Un altre inconvenient podria ser el preu de compra, que actualment és d'aproximadament 1,5 milions d'euros per robot, sense tenir en compte el manteniment i les actualitzacions.

Si es valora els pros i contres, dels sistemes quirúrgics s'ha demostrat que sacrificant la sensació tàctil, es millora considerablement la recuperació del pacient i s'escurça l'estada hospitalària, gràcies a les característiques dels sistemes quirúrgics. Així doncs, a criteri de cada centre hospitalari queda valorar si val la pena o no adquirir aquests sistemes quirúrgics tan moderns, per augmentar la qualitat de les intervencions.



# Part Pràctica



### 3. Objectius i Requisits principals

#### Objectius:

L'objectiu principal de la part pràctica és modificar el disseny d'un braç robòtic i adaptar-lo perquè es pugui utilitzar com a un robot quirúrgic. Un cop fet això el següent objectiu és poder integrar-lo en un sistema quirúrgic format per una zona de control i una pantalla, des d'on es podrà observar l'interior del pacient i els moviments que fa el robot dins d'aquest.

#### Requisits principals:

1. **Un mínim de 4 graus de llibertat.** Com tot robot quirúrgic, ha de ser capaç de realitzar els moviments necessaris per a una intervenció laparoscòpica, com s'ha explicat anteriorment aquest tipus d'operació és una intervenció mínimament invasiva utilitzada per gran part dels robots quirúrgics.
2. **Precís** a l'hora de realitzar els moviments.
3. La **mida** del sistema quirúrgic ha de ser reduït i portàtil.
4. **Maleta de control.** La zona de control ha d'estar integrada en una maleta, d'aquesta manera es redueix molt l'espai utilitzat i per altra banda faci possible que sigui portàtil.
5. **Intuïtiu:** El control del robot ha de ser el màxim intuïtiu possible, ja que un dels principals objectius d'un robot quirúrgic és facilitar la feina del cirurgià.
6. **Imprès en 3D:** Estructura mecànica impresa amb impressores 3D <sup>3</sup> personalitzada i feta a partir del redisseny d'un braç robòtic.

---

<sup>3</sup> La impressió 3D és un procés que consisteix a dipositar material fos per capes per acabar formant un model en tres dimensions. Aquest procés el realitza una màquina automàticament, aquestes màquines s'anomenen impressores 3D.



## 4. Investigació i cerca d'informació

Per dur a terme aquest projecte, vaig realitzar un procés de cerca d'informació, per poder començar a fer els primers esbossos. A part de la cerca vaig tenir el privilegi de contactar amb el Doctor Nicolau Carrasco Canovas, un metge de l'especialitat d'urologia, que realitza intervencions amb el sistema quirúrgic Da Vinci a l'Hospital Josep Trueta.

El doctor Nicolau Carrasco és llicenciat en Medicina i Cirurgia per la UAB (1984-1990), va realitzar l'especialitat d'urologia per formació MIR a l'Hospital del Mar de Barcelona (1992-1997). És professor associat mèdic a la facultat de medicina a la Universitat de Girona (UdG) des del 2009. Ha obtingut un diploma en Cirurgia laparoscòpica a la Universitat d'Estrasburg (2006), una acreditació com a cirurgià expert en cirurgia robòtica (2017) i és director del servei d'urologia de la Clínica Bofill (Girona) des de 2007.

El doctor Nicolau em va fer una sessió on va explicar les característiques més rellevants dels robots quirúrgics: què són els robots quirúrgics, quins avantatges i desavantatges tenen, i per quines intervencions l'utilitzen. Gràcies a tota aquesta informació vaig poder tenir una idea de com estructurar tot el meu treball.

Per últim em va ensenyar el sistema quirúrgic Da Vinci XI, que utilitzen als quiròfans de l'Hospital Josep Trueta. A més d'ensenyar-me el robot en directe, vaig tenir el privilegi de poder provar el simulador de la consola quirúrgica. Aquest simulador està integrat dins la mateixa consola del sistema quirúrgic, consisteix a generar una simulació d'una intervenció quirúrgica i d'aquesta manera els cirurgians poden practicar.

L'experiència va ser increïble, i vaig poder obtenir moltes idees sobre el funcionament del sistema quirúrgic Da Vinci (Annex A).

## 5. Disseny de la solució

Durant el procés de disseny vaig realitzar diverses proves i diferents propostes de possibles solucions. Però, pel que fa al disseny del sistema quirúrgic, vaig dissenyar dues propostes.

### Primer disseny:

El primer disseny consisteix en un braç robòtic molt semblant a un robot industrial, però amb relativament poca mobilitat (quatre eixos de moviment). No obstant això, la mobilitat del sistema quirúrgic no es veurà afectada, ja que l'utensili del robot té la mateixa mobilitat que el canell d'un humà. D'aquesta manera el robot podria arribar pràcticament a qualsevol part de l'interior del pacient. Aquesta primera idea està en certa manera inspirada amb el sistema quirúrgic Da Vinci.

Tot i que sembla una solució vàlida, perquè compleix tots els requisits que em vaig proposar, vaig haver de desestimar el disseny perquè el mecanisme de l'utensili era massa complex per a ser imprès amb una impressora 3D (Fig.18).

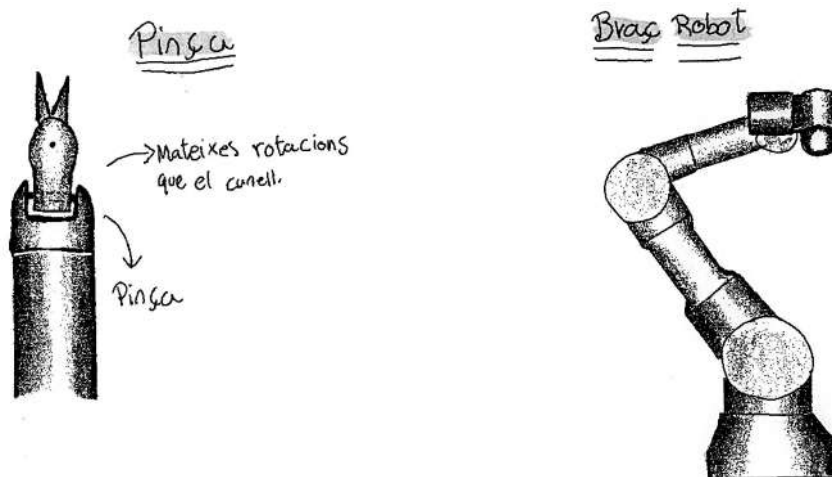


Fig. 18. Esborrany del primer disseny

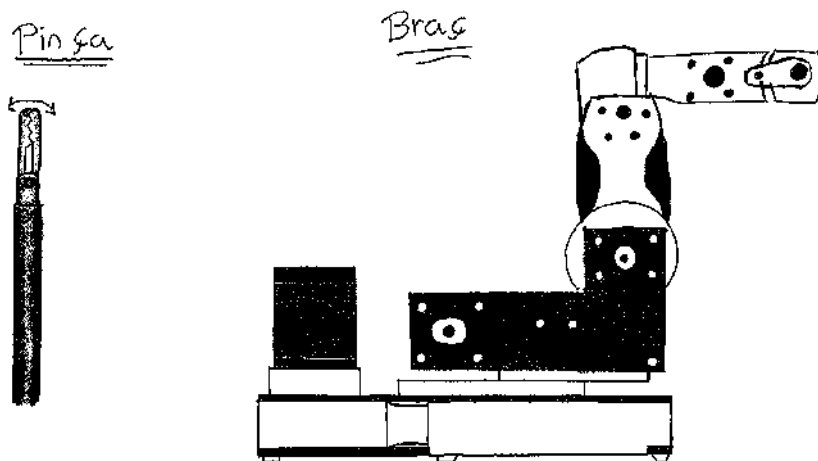
Font: Autoria personal



### Segon disseny:

El segon disseny i definitiu, és més senzill que el primer perquè la pinça no té mobilitat pròpia, sinó que és el braç que contraresta el poc rang de moviment de la pinça. En aquest disseny vaig partir d'un braç robòtic creat per un enginyer amb un canal de YouTube anomenat "Skyentific". És un braç robòtic molt compacte, lleuger i amb un total de sis eixos de moviment, que seran perfectes per a poder programar els moviments per a les intervencions.

A part del braç robòtic i la pinça aquest sistema robòtic té una maleta des d'on es controlarà el robot i es podrà veure la intervenció mitjançant una pantalla incorporada a la tapa d'aquesta (Fig. 19).



**Fig.19:** Esborrany del segon disseny

**Font:** Autoria personal

## 5.1 Disseny del braç robòtic

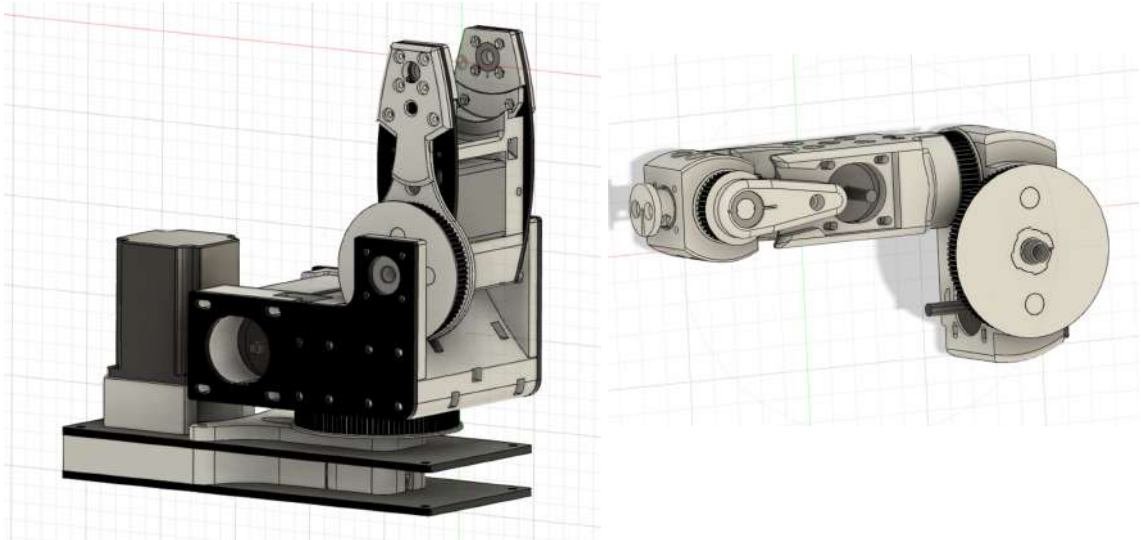
Com s'ha explicat anteriorment el disseny del braç és d'un enginyer amb un canal de YouTube que es dedica a crear diferents robots perquè la comunitat del seu canal els pugui descarregar i modificar al seu gust. Aquest braç en concret el va pensar per ser un braç robòtic que fos assequible, i pràcticament tot imprès amb una impressora 3D.



Vaig decidir escollir aquest disseny per les següents raons:

- **Dimensions:** De la manera que està dissenyat aquest braç permet que quan no s'està utilitzant ocupi un espai bastant reduït, concretament les seves dimensions són de 275 mm x 125 mm x 215 mm i en posició de treball (totalment desplegat) ocupa un total de 390 mm x 125 mm x 305 mm.
- **Materials:** Un dels punts forts d'aquest robot és que els materials utilitzats són bastant assequibles, ja que es pot fer tot completament de PLA (àcid polilàctic), que és el principal material que s'utilitza en la impressió 3D. Però, en el meu cas 6 peces del robot estan fetes amb fibra de carboni i tallades amb una fresadora.
- **Codi obert:** En ser un disseny de codi obert (tothom té accés als arxius per poder descarregar el model 3D i modificar-lo) la feina d'editar els fitxers i imprimir les peces se simplifica molt.
- **Cost:** El cost ha sigut un altre factor que m'ha fet decantar per aquest disseny, s'ha de dir que no és el més barat de tots, però mirant preus d'altres robots aquest és molt més assequible tenint en compte que és molt complet i compacte.

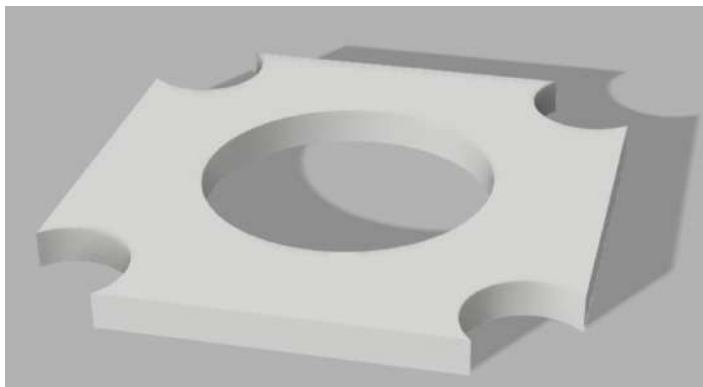
Així doncs després de decidir quin disseny faria servir vaig descarregar-me els arxius del braç i els vaig dipositar en un programa de disseny 3D anomenat Fusion 360<sup>®</sup> de l'empresa Autodesk<sup>®</sup> per poder veure millor el disseny en 3D. (Fig.20)



**Fig. 20:** Dissenys dintre el Fusion 360®

**Font:** Fusion 360

Un cop dins del programa vaig veure que algunes de les politges que van a l'eix del motor eren massa llargues i les corretges no quedarien en paral·lel amb les altres politges del robot, per tant vaig dissenyar unes peces que separen una mica el motor. (Fig. 21)



**Fig.21:** Imatge renderitzada del separador

**Font:** Autoria personal



## 5.2 Disseny de la maleta

A l'hora de decidir on posaria els controls i tota l'electrònica del robot se'm va acudir que podia utilitzar una maleta, perquè d'aquesta manera tot estaria en un mateix lloc, seria més portàtil i pràctic.

El següent pas era decidir com seria la distribució, així que vaig començar a fer esbossos de com podria estar tot distribuït, fins que vaig trobar la combinació amb la qual s'aprofitava més l'espai.



1. Pantalla
2. Connector de corrent
3. Connector USB Arduino
4. Ventilador
5. Targeta de vídeo
6. Font d'alimentació
7. Arduino
8. Controladors

Fig. 22: Distribució de la maleta

Font: Pròpia

A la imatge anterior (Fig. 22), es pot observar la distribució dels components dins la maleta. Hi ha dues parts, la tapa de la maleta i el fons de la maleta.

- **Tapa de la maleta:** A la tapa de la maleta s'ha situat una pantalla de 15 polzades, per la que es podrà observar tota la intervenció. Vaig decidir col·locar-la a la maleta perquè l'espai de la tapa quedava desaprofitat i d'aquesta manera tot quedava integrat dins la maleta.
- **Fons de la maleta:** Pel que fa al fons de la maleta es pot veure que és la zona amb més components. Per començar hi ha el connector de corrent, el connector USB de l'Arduino i el ventilador situats a la paret



del darrere. Això és així perquè els dos connectors han de ser fàcils de trobar i accessibles. Pel que fa al ventilador està situat en paral·lel amb els controladors per així refredar-los d'una manera molt més eficient. En segon lloc es troba la targeta de vídeo que converteix el senyal que arriba de la càmera en un senyal que sigui llegible pel monitor. A l'esquerra d'aquesta targeta de vídeo es troba la font d'alimentació que està situada davant del connector de corrent, per facilitar les connexions d'alimentació. A la seva dreta se situa el cervell de tota l'electrònica, l'Arduino. Aquest està situat al centre de la maleta perquè ha d'estar connectat per una banda a la font d'alimentació i per l'altre amb els controladors i d'aquesta manera el cablejat se simplifica molt més. Per últim, es troben els controladors a la dreta de la caixa, els 6 controladors estan situats en 2 columnes de 3 controladors perquè la feina de passar els cables sigui molt més senzilla i polida.

Tots aquests components estan collats a una planxa d'alumini mitjançant cargols i en alguns casos, com la placa d'Arduino i la targeta de vídeo, es col·locaren uns separadors perquè els pins que tenen per sota no toquessin directament a l'alumini. També, s'ha dissenyat uns escaires (impresos amb la impressora 3D) per collar els controladors (Fig. 23)(Annex C, p). D'aquesta manera no va ser necessari realitzar molts forats a la caixa i només es varen fer quatre per collar la planxa, i si algun dia es volen extreure tots els components, serà molt més senzill. Per últim, es va dissenyar una reixa de protecció pel ventilador i es va instal·lar per la part exterior de la caixa (Fig. 24) (Annex C).

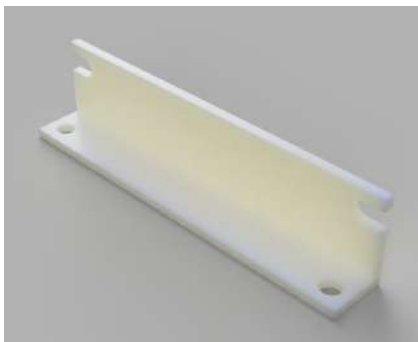


Fig.23: Escaire dels controladors



Fig. 24: Reixa del ventilador



Font: Autoria personal

Font: Autoria personal

Finalment, una xapa d'alumini tancarà tot el fons de la maleta. En aquesta hi estaran situats els controls del robot, el connector de la càmera i l'interruptor d'enjogada. (Fig. 25) Aquesta xapa està pensada per poder-se extreure fàcilment i així es pugui accedir a l'interior de maleta si fos necessari.



**Fig. 25:** Tapa Maleta

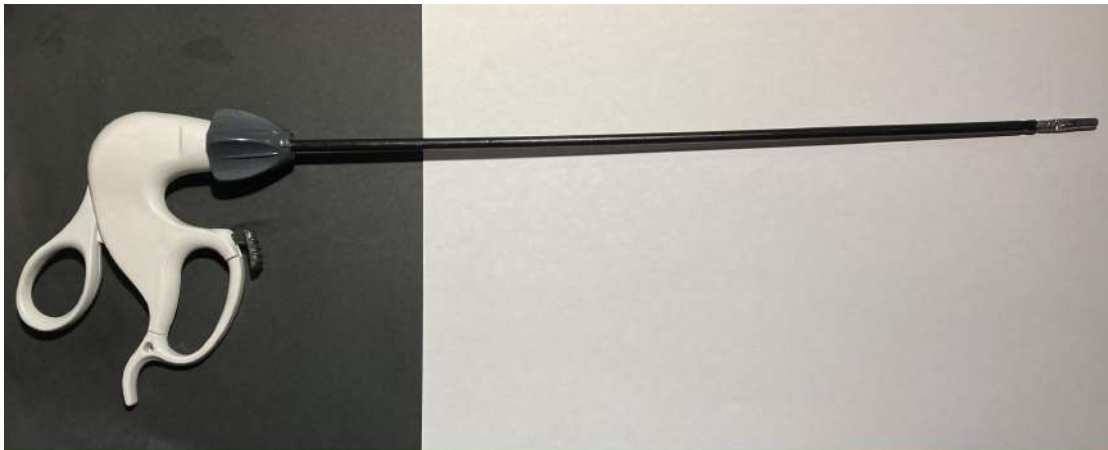
Font: Autoria personal



### 5.3 Disseny de la pinça

La principal idea de la pinça era que estigués situada a l'extrem del robot i s'accionés mitjançant un motor que portaria integrat.

A l'hora de dissenyar la pinça es va partir d'una pinça de laparoscòpia que s'accionava manualment. (Fig. 26)



**Fig. 26:** Pinça de laparoscòpia

Font: Autoria personal

El següent pas va ser desmuntar la pinça per veure el funcionament i el mecanisme d'accionament.

El seu funcionament és bastant senzill, per tancar la pinça s'han d'ajuntar els anells per on es passen els dits i això fa que s'estiri la tija que passa per tot l'eix de la pinça, fent que la pinça es tanqui. Després a la part inferior hi ha un altre mecanisme amb dues molles que s'utilitza per bloquejar la pinça perquè no es pugui obrir (Fig.27).



**Fig. 27:** Funcionament pinça de laparoscòpia

Font: Autoria personal



Un cop conegut el funcionament de la pinça es va extreure l'eix de la pinça (la part negra i llarga que va des del mànec fins a la punta de la pinça), i es va tallar a la mida que es necessitava (26 cm). Després, es va procedir a dissenyar el mecanisme per obrir i tancar la pinça mitjançant un motor. Però, va ser necessari tenir un parell de coses en compte a l'hora de trobar un mecanisme que fos adient. En primer lloc, el recorregut que fa la tija per obrir i tancar la pinça és d'un mil·límetre, per tant, l'accionament hauria de ser molt precís. En segon lloc, l'espai que tenia per fer el mecanisme era bastant reduït, ja que havia d'encaixar amb l'últim eix del motor (que és el més petit de tots). Tenint això en compte es varen fer un total de quatre dissenys diferents.

- **Primer disseny:** La primera idea consistia a fer moure la tija mitjançant una vareta roscada que aniria directament a l'eix d'un micro servo motor (un servomotor és un dispositiu elèctric autònom que gira parts d'una màquina amb alta eficiència i amb gran precisió) i una peça impresa amb la impressora 3D que aniria enganxada a l'extrem de la tija (Fig. 28).

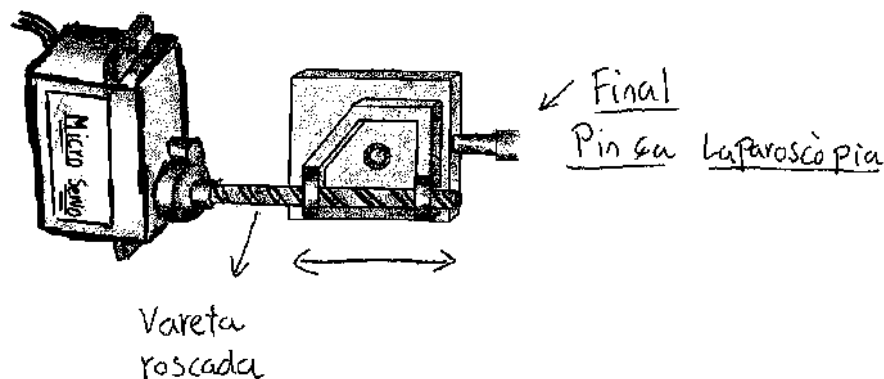


Fig. 28: Esborrany primer disseny

Font: Autoria personal

Després de tenir l'esborrany es varen agafar les mides de cada peça per poder fer el disseny amb el programa Fusion 360® i així imprimir la peça amb la impressora 3D. Un cop impresa es va instal·lar a la pinça (Fig. 29).

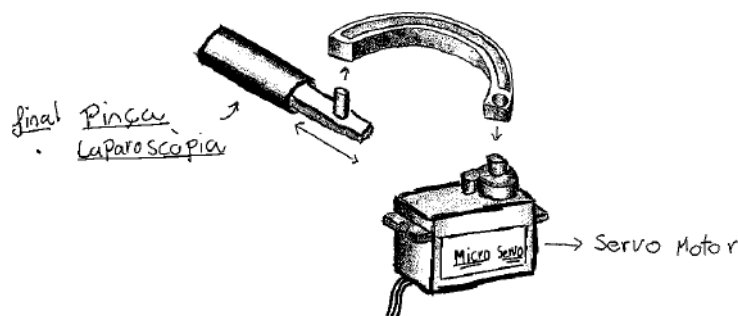


**Fig. 29:** Primera prova del mecanisme 1

**Font:** Autoria personal

Després de muntar-ho tot es va provar d'obrir i tancar la pinça amb el motor, però en ser un servo de 180° (que només gira 180°) no acabava de fer avançar del tot la tija de la pinça, per tant, no tancava del tot. Vaig pensar alguna solució com per exemple posar un servomotor que dones una volta completa, però no m'acabava de convèncer aquest disseny, i al final el vaig descartar.

- **Segon disseny:** Per la segona idea vaig pensar un mecanisme més simple, però que podia funcionar igualment. Consistia en una peça impresa en 3D en forma de semicercle vuit per dintre que aniria encaixada per un extrem al servomotor i per l'altre quedaria encaixada amb l'extrem de la tija de la pinça. D'aquesta manera quan el motor es mogués desplaçaria la tija endavant i endarrere (Fig. 30)



**Fig. 30:** Esborrany segon disseny

**Font:** Autoria personal



Quan em vaig disposar a fer el disseny de la peça que havia d'imprimir amb la impressora 3D, se'm va acudir una altre idea que podria anar molt millor que aquesta. Amb aquest disseny si aplicava una mica de força a la pinça el més probable és que la peça, que estaria impresa en 3D, cedís. Així doncs vaig descartar aquesta segona idea.

- **Tercer disseny:** Pel tercer disseny em vaig basar en certa manera en el segon disseny, encara que a simple vista potser no ho sembla, el funcionament seria bastant similar. Consisteix en que a l'extrem de la tija hi hauria una molla provocant que la pinça sempre estigui tancada. D'aquesta manera el mecanisme només hauria de poder obrir la pinça. Partint d'això, la peça encarregada d'obrir la pinça seria una

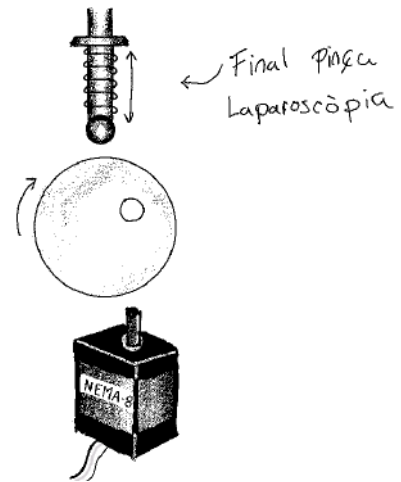


Fig. 31: Esborrany tercer disseny

Font: Autoria personal

excèntrica (peça circular d'una màquina que el seu eix de rotació no ocupa el centre i que està pensada per transformar un moviment de rotació en un d'una altra classe, en aquest cas rectilini). Per tant, quan el motor giri farà girar l'excèntrica i farà desplaçar la tija i d'aquesta manera la pinça s'obrirà (Fig.31). Cal dir que en aquest disseny el motor no és un servomotor com en la resta de dissenys sinó que s'utilitzaria el motor que porta l'eix 6 i així el cablejat seria molt més simple i polit.

Un cop fet l'esborrany, es varen prendre mides de les peces per fer el disseny de l'excèntrica i de la caixa que aguantaria tot el mecanisme. Un cop impreses les peces es va muntar la molla a la pinça i per últim es varen col·locar la resta de peces (Fig.32).

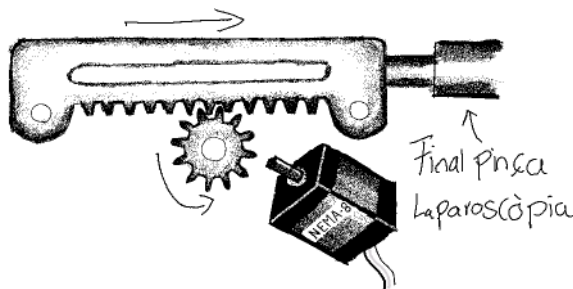


**Fig. 32:** Prototip tercer disseny

**Font:** Autoria personal

Vaig fer diversos prototips d'aquest disseny i em vaig trobar amb diferents problemes. Per exemple, vaig veure que la molla que utilitzava era massa dura i el motor no tenia prou força per moure la tija, o que l'excèntrica tenia l'eix massa desplaçat del centre i provocava massa tensió a la pinça. Finalment vaig descartar aquest disseny per tots els problemes que comportava.

- **Quart disseny:** El quart disseny i el definitiu consisteix bàsicament amb un mecanisme de cremallera, consta d'un engranatge situat a l'eix del motor 6 i una cremallera en contacte amb l'engranatge. Mitjançant aquest mecanisme quan el motor roti la cremallera es mourà endavant i endarrere i farà obrir la pinça (Fig. 33).



**Fig. 33:** Esborrany quart disseny

**Font:** Autoria personal

Finalment aquest va ser el disseny que vaig utilitzar per fer el mecanisme de l'obertura de la pinça.





## 6. Procés de construcció

### 6.1 Materials

- Filament impressió 3D (PLA)
- Planxa de fibra de carboni (200 x 350 x 3 mm)
- Plaques d'alumini (x2)
- Motors
  - motor Nema 23 (x2)
  - motor Nema 17
  - motor Nema 11 (x2)
  - motor Nema 8
- Corretges GT2 2 mm x 6 mm
  - 87 dents (x2)
  - 139 dents
  - 128 dents
  - 152 dents
- Politges de 20 dents
  - 2 x 5 mm (x3)
  - 3 x 6 mm (x2)
- Coixinets
  - 21 x 15 x 4 mm (x3)
  - 16 x 8 x 5 m (x3)
  - 8 x 3 x 3 mm (x4)
  - 26 x 10 x 8 mm (x2)
  - 16 x 5 x 5 mm (x2)
  - 28 x 16 x 28 x 15 x 9 mm (x2)
- Cargols, femelles i volanderes
  - M2 (x12)
  - M3 (x51)
  - M4 (x51)
  - M5 (x22)



- Tubs d'alumini
  - 8 mm DE, 6 mm DI, 70 mm L
  - 10 mm DE, 8 mm DI, 115 mm L
  - 12 mm DE, 10 mm DI, 106 mm L
- Arduino Mega 2560
- Placa Ramps 1.4
- Targeta de vídeo VGA02A
- Connectors
  - 25 Pins Masc. i Fem.
  - 9 Pins Masc. i Fem.
  - Alimentació
  - USB
  - Harting Masc. i Fem.
- Font d'alimentació de 204 W
- Ventilador de 12V
- Interruptor
- "Joysticks" (x 2)
- Cables
  - cable de 25 (2m)
  - cable de 4 (1m)
  - cable VGA
  - cable alimentació
  - cable USB
- Pantalla de 15"
- Càmera de seguretat
- Maleta



## 6.2 Eines

- Impressores 3D (DaVinci jr 1.0, Artillery X1 i Prusa i3 MK3S+)
- Dremel 3000
- Trepant de mà
- Tornavisos
  - plans
  - d'estrella
  - Torx
  - Allen
- Alicates
  - de tallar
  - de punta
- Soldador d'estany
- Peu de rei
- Pistola de silicona
- Encenedor
- Paper de vidre
- Llimes

## 6.3 Muntatge del braç robòtic

El muntatge del braç robòtic comença amb la impressió de totes les peces necessàries amb la impressora 3D, un total de 31 peces (Annex B). A banda de les peces impreses en 3D també s'han necessitat 6 peces de fibra de carboni tallades amb una fresadora CNC <sup>4</sup> i 3 tubs d'alumini.

Un cop creades les peces, ha estat necessari modificar-les perquè la qualitat d'impressió era bastant baixa i per tant les peces no encaixaven entre si (Fig.34). Per obtenir bons resultats vaig utilitzar les següents eines:

- Dremel 3000
- Paper de vidre
- Llimes
- Alicates de tallar

El temps emprat per modificar les peces va ser d'unes 8 hores.



**Fig. 34:** Modificació d'una peça amb la Dremel 3000

**Font:** Autoria personal

Posteriorment, va ser necessari preparar els tubs d'alumini. A cada eix del robot estan situats aquests tubs que guien els cables dels motors. A aquests se'ls hi ha de realitzar una sèrie de talls perquè la gestió dels cables sigui el més còmode possible. Per tant, vaig utilitzar la Dremel i un disc per tallar

---

<sup>4</sup> CNC són les sigles de "Computer numerical control" El control numèric és un sistema d'automatització de màquines operades mitjançant comandaments programats.



metall per poder realitzar els talls necessaris i començar així a muntar el braç robòtic. (Annex B)

El muntatge està dividit en sis parts, una per cada eix del robot.

### 6.3.1 Eix 6

A la peça "Suport motor eix 6" se li subjecta el motor Nema 8 mitjançant 4 cargols de M 2,5. Posteriorment s'introdueix el coixinet de 21x15x4mm, la politja de l'eix 6 i un altre coixinet de 16x8x5mm. (Fig. 35)

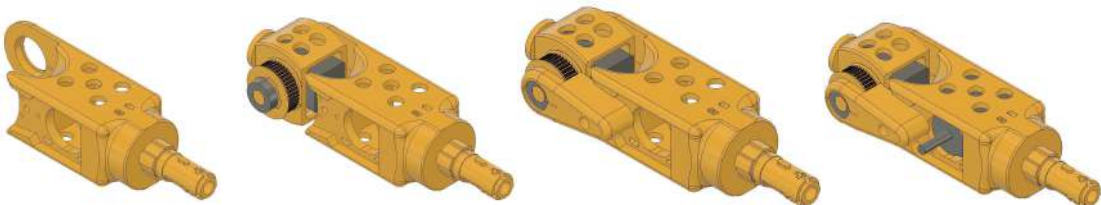


**Fig. 35 :** Muntatge eix 6

**Font:** Fusion 360

### 6.3.2 Eix 5

S'assegura l'eix 6 amb la peça "suport eix 5". Es col·loca el motor Nema 11 dins la peça "suport eix 5" i es colla amb 4 cargols M 2,5. (Fig. 36)



**Fig. 36:** Muntatge eix 5

**Font:** Fusion 360



### 6.3.3 Eix 4

A l'eix 4 s'introdueix la politja de 56 dents i un coixinet de 21x15x4mm. Posteriorment, la peça eix 4 s'acobla amb l'eix 5 i s'assegura mitjançant un coixinet de 21x15x4mm, la peça "connector eix 5" i els colla el conjunt amb 3 cargols de M2. Finalment, s'introdueix un motor Nema 11 a la peça "eix 4" i s'instal·la la politja de 100 dents. (Fig. 37)



**Fig. 37 :** Muntatge eix 4  
**Font:** Fusion 360

### 6.3.4 Eix 3

S'introdueixen 2 coixinets de 16x8x15mm (un a cada peça) al "suport coixinet eix 3". Aquestes dues es col·loquen al damunt de la peça "eix 3 part 2" i se li acobla un motor Nema 23.

Al lateral esquerre de l'eix 3 part 2 es col·loca la peça "eix 3 part 1" de fibra de carboni, on s'hi afegirà el "protector 1 eix 3". A la part inferior s'hi adhereix la peça "eix 3 part 3".

Per la banda dreta es col·loca l'altre peça de fibra de carboni "eix 3 part 1" i es colla amb el "protector 2 eix 3" (Fig. 38).



**Fig. 38:** Muntatge eix 3  
**Font:** Fusion 360

### 6.3.5 Eix 2

En el “protector 2 eix 3” se li acobla la politja “eix 2”.

A través de la peça “eix 3 part 3” s’introdueix un tub d’alumini i s’assegura per cada costat amb 2 coixinets de 26x10x8mm. En un d’aquests coixinets s’encola la peça “suport coixinet eix 2”. A l’altre coixinet se li enganxa el “suport coixinet 2 eix 2”.

Es col·loca “l’eix 3” sobre la peça “eix 2 part 2”. Posteriorment, s’introdueix l’altre motor Nema 23 dins l’eix 2 part 1 i es colla amb la peça de fibra de carboni “eix 2 placa 1” paral·lelament es col·loca el suport del motor on s’hi colla l’altra placa de fibra de carboni, amb la “tapa del rodament eix 2” i la “tapa del motor” (Fig. 39)





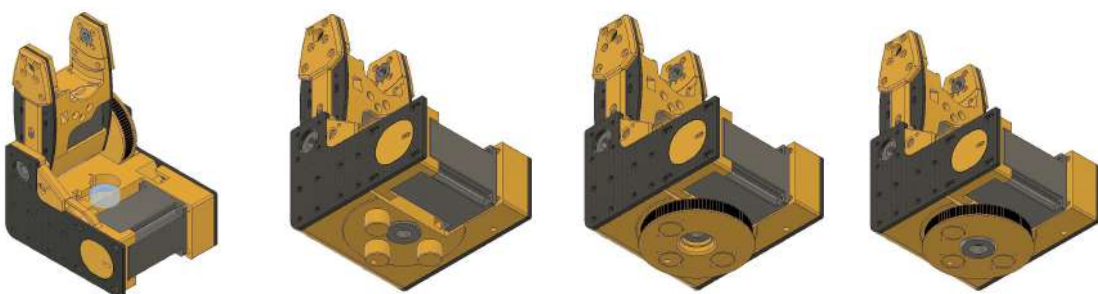
**Fig. 39:** Muntatge eix 2

**Font:** Fusion 360

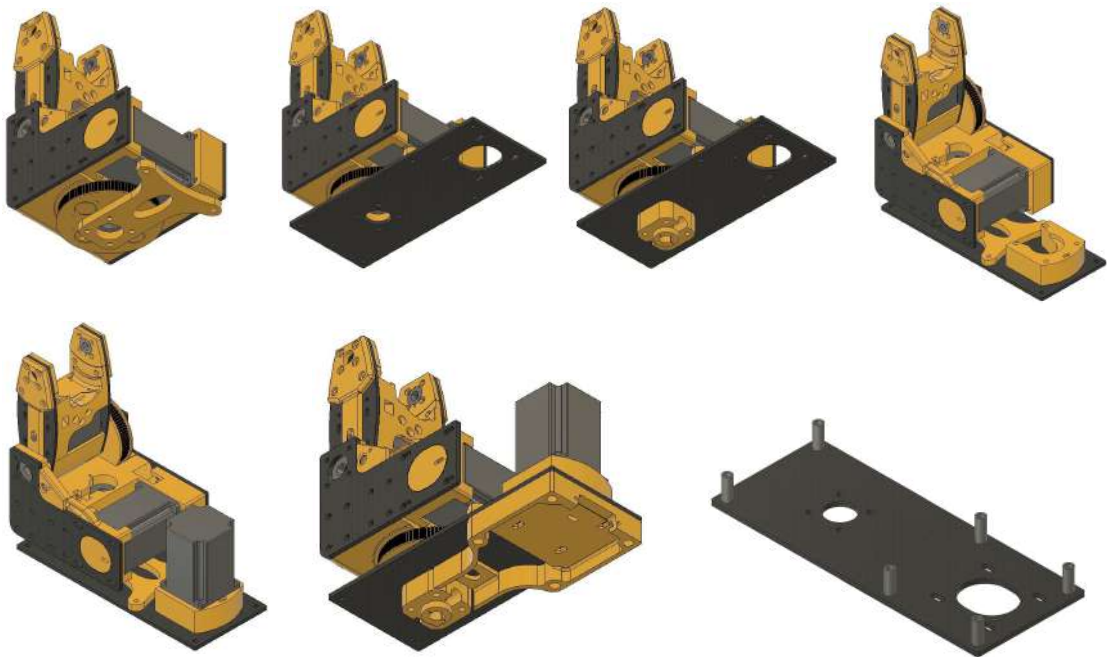
### 6.3.6 Eix 1

A dins la peça “eix 1” s’introdueixen 2 rodaments diferents (28x12x8mm i 28x16x28x15x9mm) i un separador entre aquests 2 rodaments.

A la part inferior s’acobla la politja “eix 1”, un rodament de 28x16x28x15x9mm amb el “separador de l’eix 1”. S’hi afegeix una peça de fibra de carboni “eix 1 part 2” i es colla amb el “suport eix 1”. A sobre la placa de fibra de carboni s’hi col·loca el “suport motor eix 1” i el motor Nema 23. Justa a sota d’aquests es posa el “suport motor eix 1 (oposat)” que es colla amb l’altra placa de fibra de carboni “eix 1 part 2” (Fig. 40).







**Fig. 40:** Muntatge eix 2

**Font:** Fusion 360

### 6.3.7 Acoblament final

Els eixos 6,5 i 4 que ja estan acoblats es collen amb l'eix 3, 2 i 1 i d'aquesta manera l'estructura del robot queda finalitzada (Fig. 41).



**Fig. 41:** Braç robòtic acabat

**Font:** Autoria personal

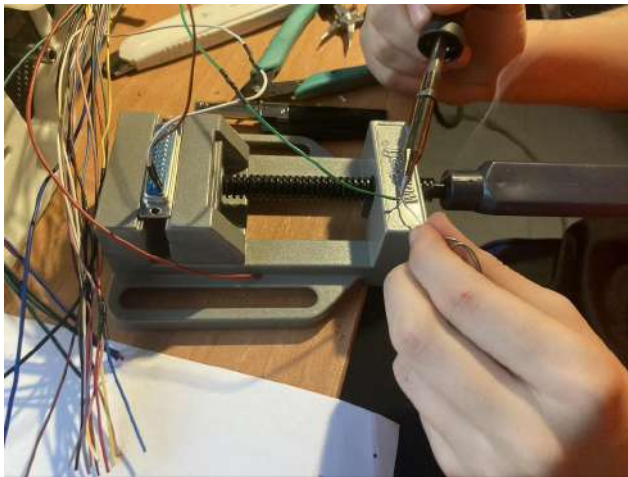


[Videomuntatge \(Stop Motion\)](#)

### 6.3.8 Gestió del cablejat

Es fan passar els cables dels 6 motors per dins dels tubs d'alumini que estan situats als eixos 4,3,2 i 1.

Els terminals dels cables se solden al connector de 25 pins (mascle). La funció d'aquest connector és que la comunicació entre el robot i l'electrònica sigui més senzilla i es pugui connectar i desconnectar quan sigui necessari (Fig. 42).

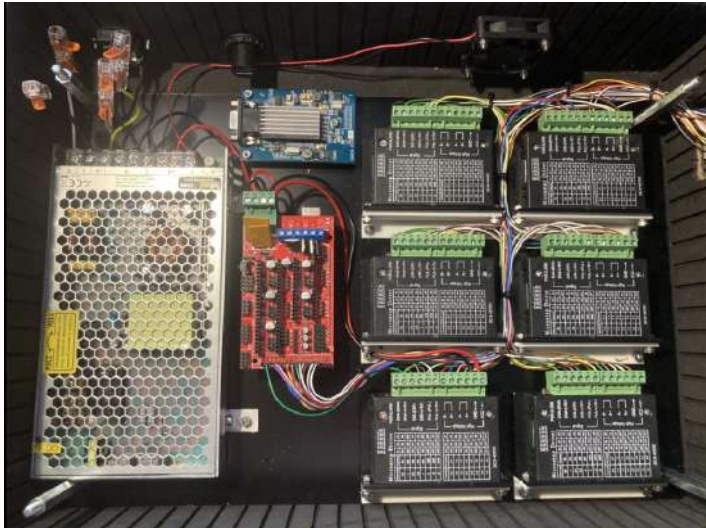


**Fig. 42:** Gestió del cablejat del braç robòtic

**Font:** Autoria personal

## 6.4 Muntatge de la maleta

El primer pas del muntatge de la maleta va ser tallar una placa d'alumini de 600x600x3mm a mida perquè entrés a la maleta (420x310) i se li van realitzar 25 forats per poder collar els components electrònics (una font d'alimentació, una placa Arduino, una targeta de vídeo i sis controladors dels motors pas a pas). Posteriorment, es van realitzar 4 forats al fons de la maleta per poder collar la placa d'alumini amb els components (Fig.43).



**Fig. 43:** Electrònica de la maleta  
**Font:** Autoria personal

[Muntatge de la Maleta](#)

També, va ser necessari efectuar 1 forat pel connector d'alimentació, 1 forat pel connector USB, 1 forat pel ventilador i 1 forat pel connector Harting (femella). Aquests forats es van fer a la paret de la maleta, per collar tots aquests components.

Un cop finalitzat aquest procés es va tallar una placa d'alumini (420x310mm) per tapar l'electrònica. En aquesta placa es varen fer 4 forats per col·locar l'interruptor, 1 connector de 9 pins i 2 joysticks.

A la tapa de la maleta s'hi van fer 4 forats per collar la pantalla de 15". A aquesta es va connectar amb un cable d'alimentació i un cable VGA a la targeta de vídeo (Fig. 44).



**Fig. 44:** Pantalla de la maleta  
**Font:** Autoria personal



## 6.5 Muntatge de la pinça

En primer lloc es van imprimir un total de 5 peces amb la impressora 3D (“engranatge pinça”, “cremallera pinça”, “base pinça”, “tapa pinça” i “suport pinça” (Annex D)). Després es va collar la peça “base pinça” a l’eix 6 del motor, sobre aquesta s’hi va situar “l’engranatge pinça” alineat amb l’eix del motor Nema 8, en contacte amb aquest s’hi va posar la “cremallera pinça”, i es va collar la tija de la pinça laparoscòpica a la cremallera amb la peça “suport pinça”. Per últim es va tancar el mecanisme amb la “tapa pinça”. (Fig. 45)



**Fig. 45:** Pinça l’aeroscòpia modificada

**Font:** Autoria personal

## 6.6 Programació

Un cop muntat el braç robòtic, la maleta i la pinça, es varen fer proves amb diferents programes. Aquests programes els vaig fer mitjançant l’aplicació d’Arduino (Arduino IDE).

### 6.6.1 Programes braç robòtic

El primer programa consistia a moure el motor d’un eix concret un seguit de passos en una direcció, que parés un segon i fes els mateixos passos en direcció contrària.

```
//Programa per provar un motor  
  
void setup() {
```



```

    pinMode(5, OUTPUT); //Direcció EIX 5
    pinMode(2, OUTPUT); //Puls EIX 5
    pinMode(8, OUTPUT); //Enable
}

void loop() {

    delay(1000);
    digitalWrite(8, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(5, HIGH); //S'estableix la direcció del gir

    delayMicroseconds(1000);

    for(int j=0; j<6000; j++){//El motor de l'eix 5 realitzarà 6000 pasos

        digitalWrite(2, HIGH);
        delayMicroseconds(1500);
        digitalWrite(2, LOW);

    }

    delay(1000);

    digitalWrite(5, LOW);//S'estableix la direcció contrària a l'anterior

    delayMicroseconds(1000);

    for(int i=0; i<6000; i++){//El motor de l'eix 5 realitzarà 6000
                                pasos
        digitalWrite(2, HIGH);
        delayMicroseconds(2000);
        digitalWrite(2, LOW)
    }
    delay(1000);
}

```

El segon programa consistia a moure el braç mitjançant coordenades. Per poder fer aquest programa vaig haver de fer un diagrama cinemàtic<sup>5</sup> (Fig.46), una taula de Denavit-Hartenberg<sup>6</sup> (Fig.47) i unes fórmules matemàtiques. Però després de fer tot aquest procés no va funcionar, ja que es necessitaven coneixements molt avançats tant de programació com de matemàtiques i al final no va ser possible utilitzar el programa.

<sup>5</sup> Un esquema cinemàtic il·lustra la connectivitat entre les unions d'un mecanisme o màquina

<sup>6</sup> Són quatre paràmetres associats amb una convenció particular per unir marcs de referència als enllaços d'un robot manipulador.

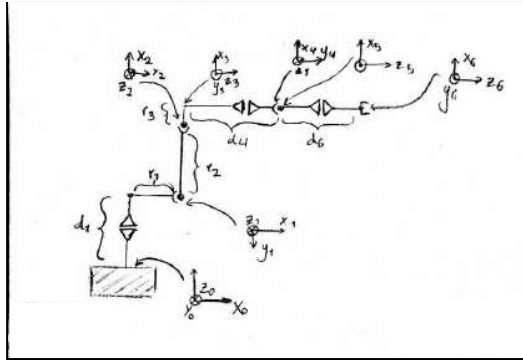


Fig. 46: Diagrama cinemàtic  
Font: Autoria personal

Denavit - Hartenberg (D-H)

	$\theta$	$\alpha$	$r$	$d$
1	$\theta_1$	$-90^\circ$	$r_1$	$d_1$
2	$\theta_2$	$0$	$r_2$	$0$
3	$\theta_3$	$-90^\circ$	$r_3$	$0$
4	$\theta_4$	$90^\circ$	$0$	$d_4$
5	$\theta_5$	$-90^\circ$	$0$	$0$
6	$\theta_6$	$0$	$0$	$d_6$

Fig. 47: Taula de Denavit-Hartenberg  
Font: Autoria personal

### 6.6.2 Programa joysticks

El programa dels *joysticks* va servir per testar el funcionament dels *joysticks* i comprovar si era possible controlar el braç amb ells.

```
// Programa prova joysticks

int X; // variable eix X
int Y; // variable eix y
int LED_ESQUERRA = 3;
int LED_DRETA = 5;
int LED_ABAIX = 6;
int LED_ADALT = 9;

void setup() {
  pinMode(LED_ESQUERRA, OUTPUT); // LED como sortida
  pinMode(LED_DRETA, OUTPUT); // LED como sortida
  pinMode(LED_ABAIX, OUTPUT); // LED como sortida
  pinMode(LED_ADALT, OUTPUT); // LED como sortida
}

void loop() {
  X = analogRead(A0); // lectura del valor de l'eix x
  Y = analogRead(A1); // lectura del valor de l'eix y

  if (X >= 0 && X < 480) { // si X està en la zona esquerra
    analogWrite(LED_ESQUERRA, map(X, 0, 480, 255, 0)); // LED brilla
    analogWrite(LED_ESQUERRA, 0); // X en zona de repos, LED s'apaga
  }
  if (X > 520 && X <= 1023) { // si X està en la zona dreta
    analogWrite(LED_DRETA, map(X, 520, 1023, 0, 255)); // LED brilla
  } else {
    analogWrite(LED_DRETA, 0); // X en zona de repos, LED s'apaga
  }
  if (Y >= 0 && Y < 480) { // si Y està en la zona d'abaix
```



```

    analogWrite(LED_ABAIX, map(Y, 0, 480, 255, 0)); // LED brilla
  } else {
    analogWrite(LED_ABAIX, 0); // Y en zona de repos, LED s'apaga
  }
  if (Y > 520 && Y <= 1023){ // si Y està en la zona d'adalt
    analogWrite(LED_ADALT, map(Y, 520, 1023, 0, 255)); // LED brilla
  } else {
    analogWrite(LED_ADALT, 0); // Y en zona de repos, LED s'apaga
  }
}

```

En aquest programa quan es movia el joystick de costat s'encenia un LED i d'aquesta manera es podia veure visualment si la senyal del joystick era detectada i processada per l'Arduino.

### 6.6.3 Programa final

En el programa final vaig utilitzar els coneixements adquirits amb els programes anteriors per poder controlar el braç robòtic utilitzant els joystics

```

int X;
int Y;
int ESQUERRA = 13;
int DRETA = 5;
int ABAIX = 6;
int ADALT = 9;
int PULSADOR = 10;
int LED_SW = 11;
int SW;
int ENABLE = 8;
int x;
int y;

void setup() {
  pinMode(ESQUERRA, OUTPUT);
  pinMode(DRETA, OUTPUT);
  pinMode(ABAIX, OUTPUT);
  pinMode(ADALT, OUTPUT);
  pinMode(LED_SW, OUTPUT);
  pinMode(PULSADOR, INPUT);
  pinMode(37, OUTPUT);
  pinMode(39, OUTPUT);
  pinMode(41, OUTPUT);
  pinMode(43, OUTPUT);
  pinMode(45, OUTPUT);
  pinMode(47, OUTPUT);
  pinMode(35, OUTPUT);
  pinMode(33, OUTPUT);
  pinMode(31, OUTPUT);
  pinMode(29, OUTPUT);
}

```



```

pinMode(27, OUTPUT);
pinMode(25, OUTPUT);

pinMode(ENABLE, OUTPUT)
digitalWrite(ENABLE, LOW) //posició d'inici
digitalWrite(41, HIGH);
digitalWrite(45, HIGH);

    delayMicroseconds(1000);

for(int j=0; j<6000; j++){

digitalWrite(43, HIGH);
digitalWrite(47, HIGH);
delayMicroseconds(1500);
digitalWrite(43, LOW);
digitalWrite(47, LOW);
    }
    delay(1000);
}

void loop(){ //Inici del bucle principal

    X = analogRead(A3);
    Y = analogRead(A4);
    SW = digitalRead(PULSADOR);
    x = analogRead(A9);
    y = analogRead(A5);

    if (X >= 0 && X < 480){

digitalWrite(25, HIGH);
digitalWrite(37, HIGH);
delayMicroseconds(1000);
analogWrite(ESQUERRA, map(X, 0, 480, 255, 0));

    for(int j=0; j<10; j++){

        digitalWrite(27, HIGH);
        digitalWrite(39, HIGH);
        delayMicroseconds(2500);
        digitalWrite(27, LOW);
        digitalWrite(39, LOW);
    }
    } else {
        analogWrite(ESQUERRA, 0);
    }
    if (X > 520 && X <= 1023){
        digitalWrite(25, LOW);
        digitalWrite(37, LOW);
        delayMicroseconds(1000);
        analogWrite(ESQUERRA, map(X, 0, 480, 255, 0));
    for(int j=0; j<10; j++){
        digitalWrite(27, HIGH);
        digitalWrite(39, HIGH);
        delayMicroseconds(2500);
        digitalWrite(27, LOW);
        digitalWrite(39, LOW);
    }
}

```





```
} else {
analogWrite(DRETA, 0);
}
if (Y >= 0 && Y < 480){
digitalWrite(45, HIGH);
delayMicroseconds(1000);

for(int j=0; j<10; j++){

digitalWrite(47, HIGH);
delayMicroseconds(2500);
digitalWrite(47, LOW);
}
} else {
analogWrite(ABAIX, 0);
}
if (Y > 520 && Y <= 1023){
digitalWrite(45, LOW);
delayMicroseconds(1000);

for(int j=0; j<10; j++){

digitalWrite(47, HIGH);
delayMicroseconds(2500)
digitalWrite(47, LOW);
}
} else {
analogWrite(ADALT, 0);
}
digitalWrite(LED_SW, !SW);

if (x >= 0 && x < 480){

digitalWrite(29, HIGH);
delayMicroseconds(1000);
analogWrite(ESQUERRA, map(X, 0, 480, 255, 0));

for(int j=0; j<10; j++){

digitalWrite(31, HIGH);
delayMicroseconds(2500);
digitalWrite(31, LOW);
}

} else {
analogWrite(ESQUERRA, 0);
}
if (x > 520 && x <= 1023){
digitalWrite(29, LOW);
delayMicroseconds(1000);
analogWrite(ESQUERRA, map(X, 0, 480, 255, 0));
for(int j=0; j<10; j++){

digitalWrite(31, HIGH);
delayMicroseconds(2500);
digitalWrite(31, LOW);
}
} else {
analogWrite(DRETA, 0);
```



```
}  
if (y >= 0 && y < 480){  
  digitalWrite(41, LOW);  
  delayMicroseconds(1000);  
  
  for(int j=0; j<10; j++){  
  
    digitalWrite(43, HIGH);  
    delayMicroseconds(2500);  
    digitalWrite(43, LOW);  
  
  }  
  
} else {  
  analogWrite(ABAI, 0);  
}  
  if (y > 520 && y <= 1023){  
    digitalWrite(41, HIGH);  
    delayMicroseconds(1000);  
    for(int j=0; j<10; j++){  
      digitalWrite(43, HIGH);  
      delayMicroseconds(2500);  
      digitalWrite(43, LOW);  
    }  
  }  
}
```

En aquest programa vaig associar cada moviment dels joysticks amb un moviment diferent del braç robòtic. D'aquesta manera es pot controlar el robot de manera intuïtiva mitjançant els joysticks.

## 7. Avaluació

Avaluació dels resultats obtinguts:

### 1. Un mínim de 4 graus de llibertat.

El robot compleix aquest requisit perquè té un total de 6 eixos tenint en compte el motor que acciona la pinça. Per tant si descartem el motor de l'eix 6, el braç robòtic està dotat amb 5 graus de llibertat, més que suficient per al seu propòsit (Fig. 48).



Fig. 48: Braç robòtic

Font: Autoria personal



## 2. Mida reduïda.

Les dimensions del braç robòtic (en la posició de repòs) són de 145x260x215 mm. Per tant si es té en compte que molts braços robòtics tenen unes dimensions aproximades de 210x530x800, es pot afirmar que el requisit “mida reduïda” l’ha complert (Fig. 49).



Fig. 49: Dimensions del braç robòtic

Font: Autoria personal

## 3. Maleta de control

Pel que fa a la maleta de control, té la zona de control integrada a la maleta (*Joysticks*, interruptor, connector de la càmera i la pantalla), l’electrònica està resguardada a l’interior de la maleta. Tot això fa possible que la zona de control sigui portàtil. (Fig. 50)

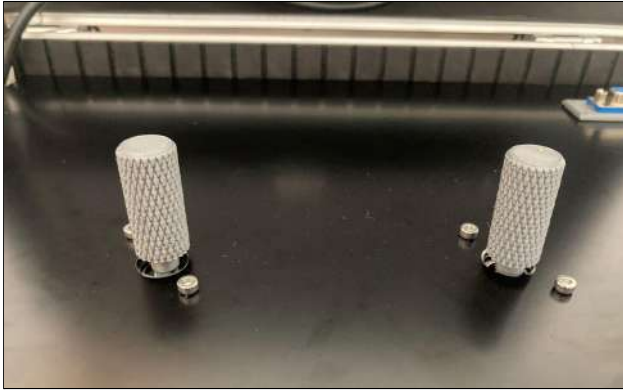


Fig. 50: Maleta de control

Font: Autoria personal

## 4. Intuïtiu

El control mitjançant *joysticks* facilita molt el maneig del robot, ja que si es mou el *joystick* a la dreta, el robot es mou a la dreta i si es mou a l’esquerra, el robot es mou a l’esquerra. D’aquesta manera el control és més intuïtiu (Fig. 51).

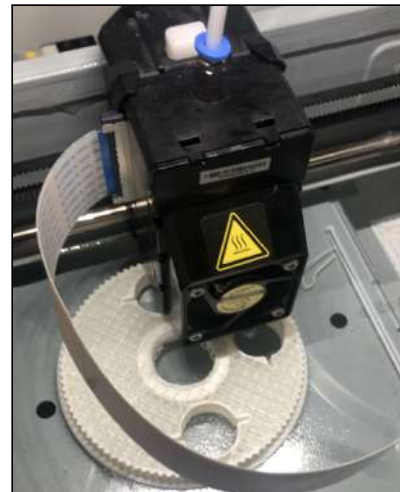


**Fig. 51:** joysticks

**Font:** Autoria personal

## 5. Imprès en 3D

A banda d'un parell de peces que van ser mecanitzades amb una fresadora CNC, la resta han sigut impreses amb impressores 3D. Per tant, s'ha complert el requisit que la majoria de peces del braç robòtic s'han creat amb impressores 3D.



**Fig. 52:** Impressora 3D fent una peça

**Font:** Autoria personal



[Funcionament del sistema quirúrgic](#)



## 8. Conclusions

El repte de replicar i posteriorment modificar un braç robòtic per convertir-lo en un sistema quirúrgic ha estat complicat i en algunes ocasions frustrant.

Si es compara un treball de recerca d'altres àmbits amb un de tecnològic, es pot veure que hi ha una sèrie d'inconvenients, ja que aconseguir assolir els objectius a la primera a vegades suposa un repte molt complicat. En el meu cas, per poder complir tots els objectius, he hagut de repetir en diverses ocasions no només el disseny sinó també la programació del robot. De totes maneres el repte que suposa aconseguir aquests objectius va representar un estímul per anar superant els diferents problemes que van anar sorgint.

Tot i les dificultats, amb molt d'esforç i temps, vaig poder assolir els objectius que em vaig marcar, de manera que la hipòtesi es complís.

Com a punts de millora un cop acabat el projecte, canviaria el sistema de moviment de la pinça per augmentar el seu rang de moviment. Així, el braç robòtic no hauria de fer tants moviments per fer-la avançar i retrocedir.

Gràcies a aquest projecte he après molts aspectes de mecànica i electrònica, de programació, metodologia de cerca d'informació i a gestionar adequadament el temps ja que sinó, no hauria estat possible acabar el robot a temps.



## 9. Bibliografia

Sabiston and Townsend, C., 2018. *Tratado de cirugía*. Amsterdam: Elsevier, p.393-406.

Holcomb, G., & Rothenberg, S. *Atlas of pediatric laparoscopy and thoracoscopy* p. 197-208.

Pass, H., Ball, D., & Scagliotti, G. *IASLC thoracic oncology* 2nd ed., p. 283-288.

Kroh, M. i Chalikonda, S., 2015. *Essentials of Robotic Surgery*. 1a ed. Suïssa: Springer, p.

Villavicencio Mavrich, H. (2006). Cirugía laparoscópica avanzada robótica Da Vinci: origen, aplicación clínica actual en Urología y su comparación con la cirugía abierta y laparoscópica. *Actas Urológicas Españolas*, 30.

How are Robots Changing Healthcare? - Healthcare Administration Degree Programs.

<https://www.healthcare-administration-degree.net/faq/how-are-robots-changing-healthcare/#:~:text=Robots%20in%20medicine%20help%20by,places%20and%20transport%20dangerous%20substances>. 30 Octubre 2020.

Robotic surgery - Mayo Clinic.

<https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/robotic-surgery/about/pac-20394974>  
30 Octubre 2020

Robots de farmacia, la automatización del almacenaje de productos pequeños.

<https://www.mecalux.es/blog/robot-farmacia> 18 Desembre 2020

InfoNegocios. (2019). Tiemblan los farmacéuticos, se instaló el primer robot que entrega medicamentos en Uy.

<https://infonegocios.biz/nota-principal/tiemblan-los-farmaceuticos-se-instalo-el-primer-robot-que-entrega-medicamentos-en-uy> 16 Gener 2021

The ROBODOC Surgical System.

<http://www.biomedhealthtech.com/robodoc.html> 8 Abril 2021



The ROBODOC system including ORTHODOC.

[https://www.researchgate.net/figure/The-ROBODOC-system-including-ORTHODOC-a-3-dimensional-3D-preoperative-planning\\_fig1\\_235881157](https://www.researchgate.net/figure/The-ROBODOC-system-including-ORTHODOC-a-3-dimensional-3D-preoperative-planning_fig1_235881157) 25 Juliol 2021

Romero Otero, J., Paparel, P., Atreya, D., Touijer, K. and Guillonneau, B., 2021. *Antecedentes, desarrollo y situación actual de la robótica en cirugía*. Scielo.isciii.es. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06142007000400002](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06142007000400002) 23 August 2021

Magazine, S., & Nodjimbadem, K. Why This Robotic Medical Device Belongs in a Museum. <https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/why-this-robotic-medical-device-belongs-in-a-museum-180961220/> 28 Agost 2021

Computer Motion's AESOP. [https://www.researchgate.net/figure/Computer-Motions-AESOP-Automatic-Endoscopic-System-for-Optimal-Positioning-has-allowed\\_fig2\\_51437277](https://www.researchgate.net/figure/Computer-Motions-AESOP-Automatic-Endoscopic-System-for-Optimal-Positioning-has-allowed_fig2_51437277) 30 Agost 2021

Peña, R. Cirugía robótica: ¿una tecnología disruptiva?. <http://revinfodir.sld.cu/index.php/infodir/article/view/580/758> 19 Setembre 2021

Autodesk.es. 2020. *¿Qué es la impresión 3D? | Software de impresión 3D | Autodesk*. <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing> 19 Setembre 2021

ResearchGate. *Integración del robot quirúrgico*. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Integracion-del-robot-quirurgico\\_fig6\\_303881515](https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Integracion-del-robot-quirurgico_fig6_303881515) 19 Setembre 2021

Intuitive.com. *Da vinci*. <https://www.intuitive.com/en-us> 20 Setembre 2021

Gainesvilletimes.com. n.d. *Hospital celebrates its 2,000th robotic surgery procedure*. <https://www.gainesvilletimes.com/news/hospital-celebrates-its-2000th-robotic-surgery-procedure/> 20 setembre 2021

Hernández, N., 2018. *El futuro de los quirófanos pasa por la cirugía robótica*. <https://www.nobbot.com/personas/el-futuro-de-los-quirofanos-pasa-por-la-cirurgia-robotica/> 20 Setembre 2021



MedStar Franklin Square Medical Center. n.d. *Minimally Invasive or Laparoscopic: Benefits of Robotic Surgery.*

<https://www.medstarfranklinsquare.org/our-services/surgical-services/treatments/robotic-surgery/benefits-of-robotic-surgery/> 21 Setember 2021





## 10. Annexos

### Annex A. Visita al sistema quirúrgic Da Vinci



Font: Autoria personal



Font: Autoria personal



Font: Autoria personal



Font: Aurtoria personal



Font: Aurtoria personal



Font: Aurtoria personal



Font: Aurtoria personal



Font: Autoria personal








Font: Autoria personal

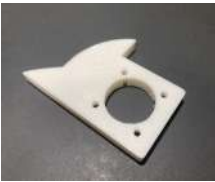








## Annex B. Muntatge del braç robòtic







## Peces impreses amb impressora 3D


Foto	Nom	Informació Peça	Quantitat	Temps d'Impressió
	Suport de l'eix 1	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 19,3 g -Material PLA	1	3 h
	Suport motor de l'eix 1	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 31,8 g -Material PLA	1	3 h
	Suport motor eix 1 (oposat)	-Gruix de capa: 0,2 mm -30% Densitat de farciment. -Massa: 62 g -Material PLA	1	4 h
	Politja de l'eix 1	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 37,3 g -Material PLA	1	1 h 50'
	Separador de l'eix 1	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 16,6 g -Material PLA	1	45'
	Tapa rodament de l'eix 2	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 2,1 g -Material PLA	1	15'










	Suport coixinet eix 2 part 1	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 9,8 g -Material PLA	1	1 h
	Suport coixinet part 2	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 11,5 g -Material PLA	1	1 h
	Suport motor eix 2 OP	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 15,6 g -Material PLA	1	1 h 30'
	Tapa motor	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 3,3 g -Material PLA	1	20'
	Suport eix 5	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 70 g -Material PLA	1	5 h
	Politja eix 2	-Gruix de capa: 0,2 mm -30% Densitat de farciment. -Massa: 25,3 g -Material PLA	1	2 h 40'
	Separador eix 1	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 0,5 g -Material PLA	1	15'



	Suport coixinet eix 3	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 3,8 g -Material PLA	2	30'
	Protector 1 eix 3	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 14,2 g -Material PLA	1	2 h
	Protector 2 eix 3	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 26,2 g -Material PLA	1	3 h
	Eix 2	-Gruix de capa: 0,3 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 258 g -Material PLA	1	8 h
	Eix 3 part 3	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 31,6 g -Material PLA	1	3 h
	Suportmotor eix 4	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 34,6 g -Material PLA	1	4 h 30'




	Suport eix 6	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 4,7 g -Material PLA	1	1 h
---	--------------	---	---	-----



	Connector eix 5	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 1,5 g -Material PLA	1	30'
	Separador	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 0,7 g -Material PLA	1	20'
	Suport motor eix 6	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 14,5 g -Material PLA	1	3 h
	Femella potes	-Gruix de capa: 0,1 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 0,7 g -Material PLA	2	30'
	Pota	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 21,9 g -Material PLA	2	4 h
	Politja de 56	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 4,7 g -Material PLA	1	40'
	Politja de 100	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 9,9 g -Material PLA	1	1 h



## Peces mecanitzades amb fresadora CNC

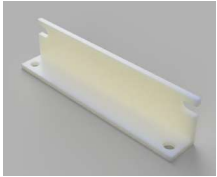

Foto	Nom	Informació Peça	Quantitat	Temps
	Eix 3 part 1	-Gruix: 3 mm -Massa: 30 g -Material: Fibra de carboni	2	30'
	Eix 2 part 1	-Gruix: 3 mm -Massa: 65 g -Material: Fibra de carboni	2	30'
	Eix 1 part 2	-Gruix: 3 mm -Massa: 125 g -Material: Fibra de carboni	2	30'





## Annex C. Muntatge de la maleta




Peces impreses amb impressora 3D

Foto	Nom	Informació Peça	Quantitat	Temps
	Escaire Controladors	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 15 g -Material PLA	6	30'
	Reixa Ventilador	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 9 g -Material PLA	1	1 h



## Annex D. Muntatge de la pinça

Peces impreses amb impressora 3D

Foto	Nom	Informació Peça	Quantitat	Temps
	Cremallera Pinça	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 5 g -Material PLA	1	30'
	Engranatge Pinça	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 5 g -Material PLA	1	30'
	Base Pinça	-Gruix de capa: 0,2 mm -20% Densitat de farciment. -Massa: 10 g -Material PLA	1	30'