



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**DISSENY D'UN BRAÇ ROBÒTIC PER A LA CLASSIFICACIÓ DE
PAQUETS EN GRANS MAGATZEMS**



Volum I: Memòria i Annexos

Autor: Aleix Simon Roca
Director: Oscar Farrerons Vidal
Departament: DEGD - Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny
Convocatòria: Setembre 2022

Resum

L'objectiu principal d'aquest Treball de Fi de Grau és el disseny d'un braç robòtic per a la classificació de paquets en grans magatzems.

Per portar-lo a terme s'estudien els requisits que presenta un braç robòtic per a poder realitzar aquestes funcions, tenint en compte els diferents paquets que haurà de classificar (diferents grandàries i pesos), com diferenciar-los, els moviments que haurà de ser capaç de fer, etc.

Un cop estiguin definides les característiques i funcionalitats que requerirà el robot, es procedirà a fer el disseny CAD 3D mitjançant el programa SolidWorks. Amb aquest programa també es duran a terme diversos estudis estàtics per tal de triar quin és el material més adequat. Posteriorment, s'estudiarà quins serien els seus límits de càrrega, els moments de força que hauria de suportar i els mètodes de transmissió de moviment que s'implementarien.

La principal diferència respecte a altres braços robòtics similars serà l'ampli ventall de possibilitats que oferirà pel que fa a les diferents mesures i pesos dels paquets que podrà classificar.

Resumen

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es el diseño de un brazo robótico para la clasificación de paquetes en grandes almacenes.

Para llevarlo a cabo se estudian los requisitos que presenta un brazo robótico para poder realizar estas funciones, teniendo en cuenta los diferentes paquetes que tendrá que clasificar (diferentes tamaños y pesos), como diferenciarlos, los movimientos que tendrá que ser capaz de hacer, etc.

Una vez estén definidas las características y funcionalidades que requerirá el robot, se procederá a hacer el diseño CAD 3D mediante el programa SolidWorks. Con este programa también se llevarán a cabo varios estudios estáticos para elegir cuál es el material más adecuado. Posteriormente, se estudiará cuáles serían sus límites de carga, los momentos de fuerza que tendría que soportar y los métodos de transmisión de movimiento que se implementarían.

La principal diferencia respecto a otros brazos robóticos similares será el amplio abanico de posibilidades que ofrecerá en cuanto a las diferentes medidas y pesos de los paquetes que podrá clasificar.

Abstract

The main purpose of this End-of-degree project is to design a robotic arm for classifying packages in department stores.

To carry this out, the requirements of a robotic arm are studied to perform these functions, taking into account the different packets it will have to classify (different sizes and weights), how to differentiate them, the movements it will have to be able to make, etc.

Once the features and functions required by the robot are defined, the CAD 3D design will be done using the SolidWorks program. Several static studies will also be conducted with this program in order to choose which material is most suitable. Subsequently, it will be studied what its load limits would be, the moments of force it would have to endure and the methods of motion transmission that would be implemented.

The main difference from other similar robotic arms will be the wide range of possibilities it will offer in terms of the different measurements and weights of the packages it will be able to classify.

Agraïments

En primer lloc, m'agradaria agrair a l'Òscar Farrerons Vidal, el meu tutor del TFG, per acceptar el treball, i sobretot per guiar-me i ajudar-me durant el procés de creació del projecte.

També agrair a la universitat, la UPC, per tot el que m'ha ensenyat durant aquests anys de carrera. Sense els coneixements obtinguts no hauria estat possible la realització d'aquest treball.

Finalment, agrair a la meva família i amics, en especial a la meva germana Marina, per la seva ajuda i el seu suport durant aquests mesos, oferint-me consells i idees en certes parts del projecte.

Glossari

- **Encoder:** Dispositiu de detecció que proporciona una resposta.
- **Motor pas a pas:** És un motor de corrent continu sense escobretes en el qual la rotació es divideix en un cert nombre de passos resultants de l'estructura del motor.
- **SCARA:** Selective Compliant Assembly Robot Arm.
- **Pick&place:** És una tècnica que es basa a agafar un objecte i col·locar-lo en un altre lloc.
- **GdL:** Graus de llibertat.
- **UNE-EN 13698-1-2003:** Norma de fabricació d'erupalets a Espanya.
- **Europalet:** Palet europeu normalitzat de 800 x 1200 mm.
- **Codi QR:** És un codi de resposta ràpida que permet veure la informació que conté al ser escanejat.
- **Mòdul Elàstic:** Paràmetres que caracteritzen el comportament elàstic d'un sòlid deformable elàstic.
- **Tensió de von misses:** És una magnitud física proporcional a l'energia de distorsió.
- **Límit Elàstic:** És la tensió màxima que pot suportar un material sense patir deformacions permanents.
- **Factor de seguretat:** Coeficient entre la capacitat màxima d'un sistema i el requisit real al qual serà sotmès.
- **Mètode d'elements finits:** Eina de càlcul que consisteix a crear un model simplificat d'un objecte per sotmetre'l a una sol·licitació i analitzar-ne els resultats.
- **SolidWorks:** Programa de disseny CAD 3D.
- **Cad 3D:** Disseny tridimensional assistit per ordinador.



Índex

RESUM	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
AGRAÏMENTS	4
GLOSSARI	5
1. Prefaci	1
1.1. Origen del treball	1
1.2. Motivació	1
1.3. Requeriments previs	1
2. Introducció	2
2.1. Objectius del treball	2
2.2. Abast del treball	2
3. Història dels braços robòtics	3
3.1 Primers braços robòtics	3
3.2 Introducció en el món dels magatzems	5
4. FASE D'INVESTIGACIÓ	6
4.1 El braç robòtic	6
4.1.1 Parts d'un braç robòtic	6
4.1.2 Tipus de braços robòtics	7
4.2 Característiques i conceptes tècnics d'un braç robòtic	11
4.2.1 Transmissions	12
4.2.2 Reductors	13
4.2.3 Sensors	13
4.2.4 Actuadors	15
4.2.5 Unitat de control	16
4.2.7 Ma robòtica o pinces	17
4.2.6 Materials	18
4.3 Projectes referents	19
5. FASE DE PLANIFICACIÓ	21
5.1 Idees conceptuals	21



5.2 Requisits	23
5.3 Selecció del model	25
5.4 Mètode per distingir i agafar els paquets	26
6. FASE DE DESENVOLUPAMENT	27
6.1. Disseny en 3D	27
6.1.1. Disseny del braç robòtic	28
6.1.2. Disseny de les pinces o mà robòtica	32
6.2. Selecció de materials	34
6.2.1 Estudi estàtic de les pinces	35
6.2.2 Selecció material pinces	44
6.2.3 Estudi estàtic pel braç robòtic	47
6.2.4 Selecció material braç robòtic	51
6.3. Càlculs	52
6.3.1 Engranatges	52
6.3.2 Moments de força	54
6.3.3. Motors	55
ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	57
CONCLUSIONS	59
BIBLIOGRAFIA	61
ÍNDIX DE FIGURES	64
Índex de taules	66

1. Prefaci

1.1. Origen del treball

L'origen del treball neix en la necessitat que tenen moltes empreses de distribuir o categoritzar els propis paquets o els que reben en els seus grans magatzems. Està pensat per a empreses de distribució les quals han de fer molts enviaments diàriament, o inclús per a empreses d'enginyeria que tinguin un magatzem on guarden els diversos models de peces que fabriquen, caixes amb material, productes per als clients, etc.

1.2. Motivació

Moltes empreses mouen grans quantitats de paquets o caixes diàriament, la motivació d'aquest treball està en trobar, mitjançant un braç robòtic, una manera eficient i econòmica de poder classificar aquests paquets que tenen, sense haver de fer grans instal·lacions.

Aquest robot facilitaria la feina monòtona dels operaris, ja que s'encarrega de classificar els paquets i també de col·locar-los de forma ordenada en palets, per a ser emmagatzemats posteriorment.

Part de la motivació d'aquest treball també està en la dificultat que pot tenir buscar un robot que s'adapti a les màximes situacions possibles, partint amb la recerca d'un bon mètode per a subjectar i moure els objectes, ja puguin ser amb unes pinces o una pala adequada.

1.3. Requeriments previs

Per a dissenyar el braç robòtic i tenir una base des d'on partir, es du a terme un estudi dels diversos braços robòtics que hi ha en l'actualitat, tant per a la classificació de paquets, com per a qualsevol altre àmbit. Des d'aquest punt es realitza el disseny, tenint en compte les possibles necessitats que poden tenir diverses empreses.

2. Introducció

Abans de començar amb el projecte en si, es definiran quins són els objectius que es volen assolir amb la realització del treball. Primerament, s'establirà l'objectiu principal i a continuació els secundaris, aquells més específics que ajudaran a completar l'objectiu principal.

També queda especificat quin és l'abast d'aquest treball, on es detallarà fins a on ha d'arribar el treball, quines parts s'hauran de realitzar i quines altres no.

2.1. Objectius del treball

L'objectiu principal d'aquest treball és realitzar el disseny d'un braç robòtic per a la classificació de paquets en grans magatzems.

Per a completar l'objectiu principal, tenim els següents objectius específics:

- Aprendre sobre els tipus de braços robòtics i entendre el seu funcionament.
- Seleccionar el disseny òptim del braç.
- Dissenyar una metodologia per agafar i moure els paquets.
- Dissenyar amb el software SolidWorks totes les peces del conjunt i acoblar-les.
- Seleccionar el material adequat.
- Validar la viabilitat del projecte mitjançant els càlculs corresponents.

2.2. Abast del treball

El projecte es centra en el disseny mecànic del braç robòtic.

Es realitzarà el disseny de totes les peces del braç mecànic mitjançant el software de disseny CAD SolidWorks, amb tots els plànols corresponents. També es farà un estudi d'esforços mitjançant aquest mateix programa.

Se seleccionarà quin és el material més adequat i s'estudiarà la viabilitat mecànica del projecte.

La programació per a l'automatització del robot queda fora de l'abast d'aquest treball, només s'indicarà certes opcions per al seu posterior desenvolupament.

3. Història dels braços robòtics

La robòtica és una tecnologia que ha revolucionat la indústria de manera constant en els últims vuitanta anys. Encara que actualment estem molt acostumats al fet que formi part de la cadena de producció de les empreses, la robòtica industrial moderna ha patit una ràpida evolució en els segles XX i XXI.

Ens trobem davant de la quarta revolució industrial, marcada clarament per l'ús de robots industrials.

En els següents punts es donarà un cop d'ull als primers braços robòtics i a com s'han implementat en l'àmbit de la logística.

3.1 Primers braços robòtics

Un dels primers braços robòtics va ser inventat per l'estudiant britànic Bill Taylor, l'any 1937. Aquest robot el van anomenar "Gargantua", tenia forma de grua i servia per apilar productes.

L'any 1938, la companyia Devliss va construir el primer robot en forma de braç articulat per a pintura en esprai, i l'any 1939 a la fira de Nova York van presentar els primers robots per a l'ús industrial.



Figura 1. Braç robòtic Gargantua per Bill Taylor, 1937 [Font: 2]

Després de la Segona Guerra Mundial es van començar a utilitzar robots industrials de gran dimensió, destinats a tasques pesades i repetitives.

Va ser la companyia Unimation, propietat de Joseph Engelberger i George Devol, qui va desenvolupar el primer robot de transferència programable, l'any 1961. Més tard, General Motors, una de les empreses pioneres en la robòtica industrial, va utilitzar les llicències d'Unimation per incorporar a la seva cadena de producció un braç robòtic que executava les tasques més perilloses per als operaris (aixecava grans peces de metall calent i ho col·locava en líquids refrigerants).

Durant els anys vuitanta es va avançar molt amb el desenvolupament de la robòtica, va augmentar en un 80% la seva fabricació i venda. De mica en mica es va anar introduint amb més força la robòtica intel·ligent, donant més independència en les seves tasques als robots.

Per aconseguir la màxima productivitat i eficiència, les empreses han anat incrementant cada vegada més l'ús de la robòtica intel·ligent, per així produir més quantitat per un menor preu.

L'any 2019, segons les dades recollides per l'informe anual de "World Robotics 2020 Industrial Robots", operaven al voltant de 2,7 milions de robots industrials en fàbriques d'arreu del món. Fabricants com KAWASAKI, YASKAWA i FANUC, entre d'altres, són líders en aquests sectors.



Figura 2. Robot paletitzador CP700L KAWASAKI [Font: 4]

3.2 Introducció en el món dels magatzems

Cada vegada són més les empreses que decideixen implementar braços robòtics automatitzats per tal de reduir temps logístics, millorar la productivitat, o portar a terme tasques de risc o dificultoses per als operaris, com per exemple la càrrega d'objectes pesants o operacions que requereixin d'una elevada precisió.

En el magatzems, moltes empreses ja disposen de braços robòtics o d'altres mecanismes per a distribuir i classificar els paquets o els objectes dels quals disposen.

El principal avantatge en els magatzems és la seva gran capacitat de moure aquelles càrregues més pesades, a major velocitat i eliminant la fatiga que implica per a un operari la repetició de moviments. D'aquesta manera, el seu ús augmentaria el rendiment de l'operativa i maximitzaria la seguretat dels treballadors.

A més, un altre punt a destacar és la reducció de costos degut a la reducció d'operaris. No obstant això, cal tenir en compte l'elevada inversió inicial que ha de realitzar la empresa.



Figura 3. Robot Amazon per moure contenidors [Font: 6]

4. FASE D'INVESTIGACIÓ

El cos del projecte es dividirà en 3 fases. A la fase inicial o d'investigació, es realitzarà la recerca d'aspectes importants sobre els braços robòtics, tipologies de robots, aspectes tècnics, funcionament, etc.

La segona fase serà la de planificació, on es decidirà, a partir de la informació trobada, com es vol que sigui el disseny del robot, quins requisits hauria de tenir i quins mètodes s'aplicaran perquè funcioni.

Finalment, es durà a terme la fase de desenvolupament, on es realitzarà el disseny del braç robòtic i tots els càlculs necessaris per a la seva validació.

4.1 El braç robòtic

Un braç robòtic és un braç mecànic dissenyat amb estructures articulades que li permeten fer un gran nombre de moviments. Es pot programar i les seves funcions principals són semblants a les d'un braç humà. Aquest mecanisme pot formar part d'un robot més complex o ser independent.

Les seves parts estan unides i connectades per a poder fer moviments de rotació i translació. Aquests moviments permeten donar-li diferents usos, amb més velocitat i desplaçament per als objectes que mouen. També poden executar feines de precisió si és necessari i solen ser ancorats a una superfície per a així poder aixecar un pes més elevat.

Els braços robòtics són utilitzats principalment per agilitzar feines que requereixen repetició i precisió. Els sectors industrials que més els solen utilitzar són la indústria mecànica, automobilística, minera, farmacèutica i alimentària [8].

4.1.1 Parts d'un braç robòtic

Un braç robòtic està format per les següents parts:

- **Controlador o unitat de control:** Compost per un microordinador que s'encarrega de calcular els moviments i els processos que ha d'executar.
- **Actuadors:** Són els motors que generen la força per moure's.
- **Manipulador:** És el conjunt de la part mecànica que realitza els moviments.
- **Articulacions:** Permeten generar moviments lineals i en angle.

- **Canell:** És l'articulació encarregada de realitzar els moviments d'elevació, desviació i gir de la mà robòtica o pinces.
- **Mà robòtica o pinces:** És l'extensió final del braç que s'encarrega de subjectar l'objecte a moure.

4.1.2 Tipus de braços robòtics

Actualment, s'utilitzen diversos tipus de braços robots a la indústria. El tipus depèn de la seva tasca a realitzar. Cadascun té les seves característiques que s'ajusten a cada situació.

Robot cartesià

Aquest braç es caracteritza per generar moviments mitjançant 3 articulacions lineals. Els moviments són perpendiculars i s'estableixen seguint els eixos cartesianes X, Y i Z.

Aquest, és un model de robot que ofereix extraordinaris nivells de precisió. La seva programació resulta senzilla i té un cost assequible. S'acostuma a fer servir en processos de soldadura o en tasques senzilles.

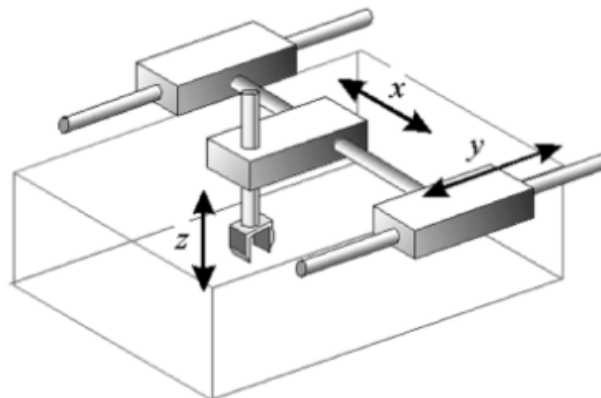


Figura 4. Robot cartesià [Font: 13]

Robot Cilíndric

Aquest robot es caracteritza per tenir dos moviments lineals i un rotacional. La rotació es dona sobre la base, obtenint així una zona de treball cilíndrica. Presenta 3 graus de llibertat.

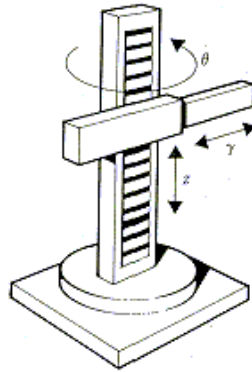


Figura 5. Robot cilíndric [Font: 12]

Robot esfèric / polar

El robot esfèric o polar té dues articulacions rotacionals i una de moviment lineal, fet que li permet apuntar en moltes direccions.

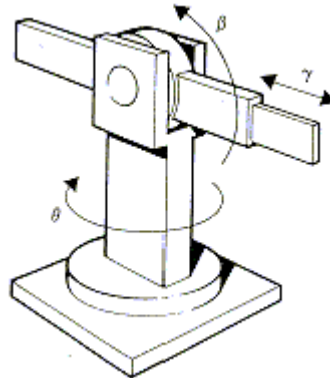


Figura 6. Robot esfèric / polar [Font: 12]

Robot SCARA

El robot Scara també funciona amb el mateix nombre d'eixos que el cartesià, però té més graus de llibertat, ja que també pot realitzar el moviment de rotació. Aquest tipus de braç s'utilitza molt per a la inserció de components en productes o per al "pick&place" en el sector industrial.

El nom "SCARA" correspon a les sigles de "Selective Compliant Assembly Robot Arm".

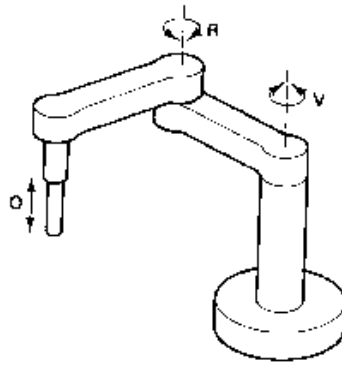


Figura 7. Robot SCARA [Font: 12]

Robot articulat de 6 eixos

Aquest robot destaca per la seva gran flexibilitat gràcies a les tres orientacions que té la seva pinça. És un robot molt utilitzat per a automatitzar tasques de càrrega i descàrrega de material.

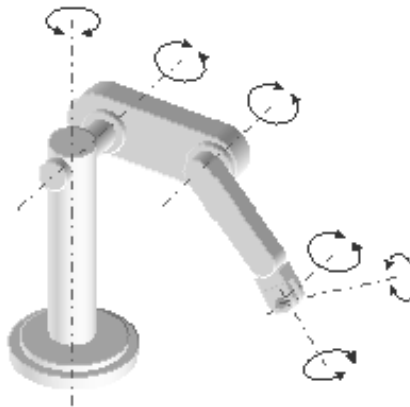


Figura 8. Robot articulat de 6 eixos [Font: 14]

Robot Cíclic

El robot cíclic es caracteritza per tenir més graus de llibertat dels necessaris, el que implica que pot tenir diverses postures per a una mateixa posició. Amb aquest braç s'aconsegueix una àmplia varietat de moviments, obtenint així un funcionament més similar al del braç humà.

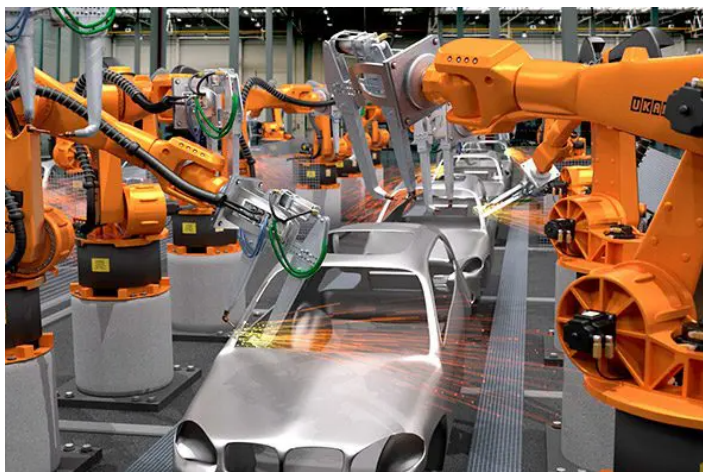


Figura 9. Robot industrial cíclic [Font: 15]

Robot de doble braç

Aquest robot, tal com el nom indica, compta amb dos braços robòtics que treballen conjuntament en una tasca determinada. Solen tenir funcionalitats més innovadores gràcies a les diferents funcions que realitzen, com ara: ajustar la força realitzada, reconèixer objectes o prendre decisions. Així doncs, es tracta d'un tipus de robot més complex i amb un elevat cost econòmic.



Figura 10. Robot de doble braç Yaskawa [Font: 11]

4.2 Característiques i conceptes tècnics d'un braç robòtic

Les principals característiques d'un braç robòtic són les següents:

- **Graus de llibertat (GdL):** És el nombre de moviments independents, siguin gir o desplaçaments, que pot realitzar cada articulació respecte a l'anterior. Per tant, la suma dels graus de llibertat de totes les articulacions dona lloc als graus de llibertat totals del braç robòtic. Les articulacions solen tenir un únic moviment, lineal o de rotació, i per això el nombre d'articulacions acostuma a coincidir amb el nombre de graus de llibertat del braç robòtic.

Per definir la posició d'un cos qualsevol a l'espai, són necessaris sis paràmetres. Tres per a definir la posició i tres per a definir l'orientació. És a dir, si volem que un robot sigui capaç de posicionar un objecte en qualsevol posició, serà necessari que disposi de 6 graus de llibertat.

- **Espai de treball:** És tota la zona de treball on pot arribar la pinça (o part final del braç robòtic). Ve definida per la grandària del robot, els seus graus de llibertat i les restriccions que pugui tenir el model en qüestió.
- **Precisió dels moviments:** Es defineix segons tres característiques: la resolució espacial, l'exactitud i la repetibilitat. La resolució espacial és l'increment més petit de moviment en el qual un robot pot dividir el seu volum de treball. D'altra banda, l'exactitud és la capacitat d'un robot de poder situar l'extrem del seu canell en un punt assenyalat dins del seu espai de treball. Altrament, la repetibilitat és la capacitat pròpia del robot de tornar al punt programat les vegades que calgui. [12]
- **Capacitat de càrrega:** És el pes màxim que pot transportar la mà robòtica. És un factor molt important a tenir en compte en funció de quines siguin les tasques assignades al robot.
- **Velocitat:** És la velocitat màxima a la qual es pot desplaçar la pinça o mà robòtica. Per a feines de manipulació i soldadura és interessant que sigui alta, per a maximitzar la producció. Per contra, en altres àmbits com el mecanitzat o l'acoblament és recomanable que sigui més baixa.
- **Tipus d'elements motrius (Actuadors):** Per tal de generar el moviment en les articulacions, es disposa de diferents elements motrius segons l'energia que consumeixen. Aquests poden ser de tipus hidràulic (destinats a tasques de més potència i capacitat de càrrega), pneumàtic (de major velocitat i baix cost) o elèctric (gran precisió en el control de moviment i potència mitjana).

- **Programabilitat:** Mitjançant un microordinador (controlador), els robots es poden programar de diferents maneres. Els aspectes que es poden controlar del funcionament del manipulador són per exemple el control de la velocitat i l'acceleració, salts condicionals en el programa, temporitzacions i pauses, funcions de seguretat i sincronització amb altres màquines.

4.2.1 Transmissions

Les transmissions són els elements encarregats de transmetre el moviment des dels actuadors fins a les articulacions, i si és necessari, poden convertir moviment circular en lineal o viceversa.

Com un robot mou el seu extrem amb acceleracions elevades, és de gran importància reduir al màxim el seu moment d'inèrcia. De la mateixa manera, els parells estàtics que han de vèncer els actuadors depenen directament de la distància de les masses a l'actuador. Per aquests motius es procura que els actuadors, en general pesats, estiguin el més a prop possible de la base del robot. Aquesta circumstància obliga a utilitzar sistemes de transmissió que traslladin el moviment fins a les articulacions, especialment a les situades en l'extrem del robot. [16]

Un bon sistema de transmissió és convenient que tingui un volum i un pes reduït, que les seves transmissions tinguin un bon rendiment i que tingui la mínima folgança possible.

Els robots utilitzen diferents tipus de transmissions. Les més comunes són les que apareixen a la Taula 1, classificades en funció del tipus de moviment que trobem a l'entrada i la sortida, tant circular com lineal.

Taula 1. Sistemes de transmissió per a robots [Font: 16]

Sistemes de transmissió per robots			
Entrada - Sortida	Denominació	Avantatges	Inconvenients
Circular - Circular	Engranatge Corretja dentada Cadena Paral·lelogram Cable	Parells alts Distàncies grans	Folgances Soroll Gir limitat Deformabilitat
Circular - Lineal	Caragol sense fi Cremallera	Folgança baixa Folgança mitjana	Fregament
Lineal - Circular	Paral·lelogram articulat Cremallera	Folgança mitjana	Control difícil Fregament

Els sistemes de transmissió treballen a parells elevats i a altes repeticions, fet pel qual és important comprovar que el sistema de transmissió sigui capaç de suportar aquests esforços continuats.

4.2.2 Reductors

Els reductors en robots industrials acostumen a tenir uns determinats paràmetres ja establerts, atès que se li exigeix unes condicions de funcionament molt restrictives, principalment pel que fa a precisió i velocitat de posicionament.

Taula 2. Característiques dels reductors per robòtica [Font: 16]

Característiques dels reductors per robòtica	
Característiques	Valors típics
Relació de reducció	50 / 300
Pes i mida	0.1 / 30 kg
Moment d'inèrcia	0.0001 kg m ²
Velocitats màximes d'entrada	6000 / 7000 rpm
Parell de sortida nominal	5700 N m
Parell de sortida màxim	7900 N m
Joc angular	0-2"
Rigidesa torsional	100 / 2000 N m/rad
Rendiment	85% / 98%

A l'hora de triar un reductor per al braç robòtic, és important que tingui un baix pes, una mida reduïda, un baix fregament, un baix moment d'inèrcia i que sigui capaç de realitzar una reducció elevada de velocitat en un únic pas.

4.2.3 Sensors

Els sensors són una part molt important del sistema robòtic, ja que per funcionar és necessari conèixer certs valors, tant de l'entorn com del mateix robot. Es poden classificar per sensors interns i sensors externs.

Els sensors interns són tots aquells que donen informació al robot de quin és el seu estat intern. En particular, li permeten conèixer la posició, la velocitat o l'acceleració dels seus components, entre altres funcions.

Els sensors externs són aquells que aporten informació sobre l'entorn. En serien exemples la distància a la qual es troba un objecte, saber si està en contacte, o quina força o pressió aplica.

Aquests sensors són molt importants, ja que amb la seva ajuda es pot detectar qualsevol cosa externa que no sigui esperada, i així evitar el risc que el robot es pugui espallar.

Taula 3. Principals sensors utilitzats en robòtica [Font: 17]

Sensors interns	De posició	Elèctrics: potenciómetres, sincros i <i>resolvers</i> . Òptics: optointerruptors, codificadors absoluts e incrementals (encoders).
	De velocitat	Elèctrics: dinamos tacomètriques. Òptics: amb encoder.
	Acceleròmetres	
Sensors externs	De proximitat	De contacte: microinterruptors. Sense contacte: resistius, d'efecte Hall, de fibra òptica, d'ultrasons...
	De tacte	De fotodetectors, de presiò neumàtica, de polímers (pell artificial)...
	De força	Per corrent en el motor, per deflexió dels dits.
	De visió	Càmeres de tub, càmeres CCD.

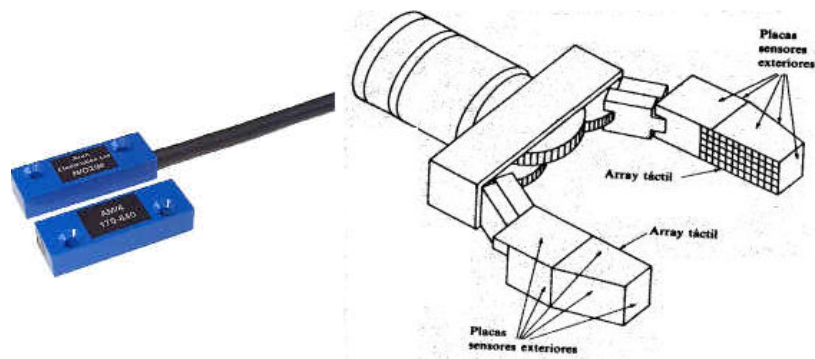


Figura 11. Sensors Reed de proximitat (esquerra) i tàctils (dreta) [Font: 17]

4.2.4 Actuadors

Els actuadors són els elements motrius o motors que generen les forces i els parells per donar moviment a les diferents parts del robot. Es caracteritzen per transformar en energia mecànica algun altre tipus d'energia. Segons l'energia que transformen, es poden classificar en 3 tipus:

- **Hidràulics:** Funcionen mitjançant la circulació de fluids (normalment oli especial) i són controlats mitjançant servo-vàlvules que regulen el flux de fluid, generant així un moviment lineal en un cilindre o pistó. Són recomanables en manipuladors que tenen una gran capacitat de càrrega i que requereixen una regulació de velocitat precisa.
- **Pneumàtics:** Aprofiten la circulació d'aire altament comprensible per a generar energia. Se solen utilitzar quan és necessari un control dels moviments ràpids, però de precisió limitada.
- **Elèctrics:** Són motors que transformen energia elèctrica en mecànica. Solen ser de corrent continu o de pas a pas, que converteixen energia elèctrica en moviment rotacional. Els motors controlats per armadura es comporten com un sistema realimentat, fet que els fa especialment útils. Els motors de pas a pas permeten realitzar girs de pas definits, amb precisions aproximades de $\pm 1.8^\circ$. Tenen un elevat moment a baixes velocitats i no necessiten codificadors de posició. Són els més emprats actualment en l'àmbit de la robòtica.

Taula 4. Resum comparatiu dels actuadors més utilitzats en robòtica [Font: 17]

	Pneumàtics	Hidràulics	Elèctrics
Energia	Aire a pressió (5-10 bar)	Oli mineral (50-100 bar)	Corrent elèctric
Opcions	Cilindres Motor de paletes Motor de pistó	Cilindres Motor de paletes Motor de pistons axials	Corrent continu Corrent altern Motor pas a pas Servomotors
Avantatges	Econòmics Ràpids Senzills Robustos	Ràpids Alta relació - potència pes Autolubricants Alta capacitat de càrrega Estabilitat enfront de càrregues estàtiques	Precisos Fiablers Fàcil control Senzilla instal·lació Silenciosos
Desavantatges	Dificultat de control continu Instal·lació especial (compressor, filtres) Sorollós	Difícil manteniment Instal·lació especial (filtres, eliminació aire) Freqüents fuites Cars	Potència limitada

Per a seleccionar l'actuador més adient per a cada cas, cal avaluar les diferents característiques que poden tenir cadascun d'ells. En robòtica se sol valorar molt que els actuadors puguin ser controlats amb rapidesa i precisió, però també cal avaluar altres característiques com ara la potència, el pes, el volum, el manteniment i el cost.

4.2.5 Unitat de control

Compost per un microordinador que s'encarrega de calcular els moviments i els processos que ha d'executar.

La unitat de control és el nucli de la informació del robot, està compost per un microordinador que s'encarrega de calcular els moviments i els processos que ha d'executar. Gestiona la posició, la velocitat i l'acceleració per a cada part del mecanisme per tal que l'extrem del robot arribi a la posició correcta a l'espai. També s'encarrega de gestionar els programes d'automatització, la seguretat i obté les dades de les entrades i sortides.

Es pot dividir en 4 diferents graus de control, en funció dels paràmetres que regula:

- **De posició:** Només controla la posició de l'element final.
- **Cinemàtic:** Controla la posició i la velocitat.
- **Dinàmic:** Controla la posició, la velocitat i les propietats dinàmiques del robot.
- **Adaptatiu:** És com el controlador dinàmic, però també controla la variació de les característiques del braç robòtic quan canvia la posició.

4.2.7 Ma robòtica o pinces

Per tal que un braç robòtic sigui d'utilitat és totalment necessari que disposi d'una eina final, com pot ser una mà robòtica o unes pinces. Aquests elements es dissenyen en funció de quin és el propòsit del braç robòtic. Poden ser genèrics (fabricats per a situacions generals) o creats específicament per a una tasca en concret. Aquestes eines o pinces es poden classificar segons la seva funcionalitat o segons el seu accionament.

Classificació segons la seva funcionalitat:

- **Pinces o dits robòtics:** El seu ús més comú en processos industrials és la manipulació de diferents peces.
- **Eines:** Poden ser molt variades. Per exemple: soldadors, làsers, dosificadors de pintura o d'adhesius, polidores, etc.
- **Pinces versàtils:** En certs casos alguns processos industrials necessiten eines específiques, per consegüent, es dissenyen pinces amb un disseny concret i a mida per als requisits del projecte.

Classificació segons el seu accionament:

- **De tancament angular o paral·lel:** Les pinces de robot estàndards tenen dos tipus de tancament (paral·lel o angular), i el moviment pot ser operat mitjançant hidràulica, pneumàtica o elèctrica.
- **De buit:** Sovint s'instal·len ventoses de buit per a la manipulació de xapes, fusta, plàstics, vidres i altres peces o materials. Són útils per simplificar el disseny del braç robòtic i per reduir el pes total de l'extrem final del braç.
- **Magnètiques:** Adequades per a productes fèrrics, com ara: discs, anelles, eixos, xapes, etc.



Figura 12. Exemples de pincers per a braços robòtics [Font: 31]

4.2.6 Materials

A l'hora de dissenyar qualsevol element mecànic, és de vital importància seleccionar bé el material amb el qual es fabricarà. Donat que cada material té les seves pròpies característiques, és imprescindible buscar el que s'adapti millor als requisits del projecte.

Els braços robòtics es fabriquen habitualment amb materials com alumini, acer, fibra de carboni o titani. Certes parts dels robots, com ara les tapes de les cubetes on van els motors, poden ser fabricades amb plàstic també, per tal de reduir costos i pes del robot.

ACER

L'acer és un conjunt d'aliatges del ferro amb altres elements, les quals alteren les propietats del metall pur, obtenint així un material més o menys resistent i/o oxidable.

Un dels aliats que es tindran en compte per aquest projecte és l'acer no aliat al carboni. Aquest element redueix la ductilitat i soldabilitat del ferro, però augmenta la seva duresa. La seva densitat acostuma a ser d'aproximadament 8 g/cm^3 . [21]

ALUMINI

L'alumini és un metall molt lleuger amb una densitat de $2,7 \text{ g/cm}^3$, un terç el pes de l'acer. En funció de la composició del seu aliatge pot tenir una resistència major. És molt resistent a la

corrosió, excel·lent conductor de l'electricitat i de gran ductilitat. També és un metall totalment reciclable. [20]

TITANI

El titani és un metall altament dúctil, de gran resistència i rigidesa. Per aquest fet, és un material altament atractiu per a diverses indústries. Les seves propietats poden variar en funció dels seus aliatges, però sol tenir una densitat d'aproximadament de 4,5 g/cm³. [22]

FIBRA DE CARBONI

La fibra de carboni és un material format per fibres de 50-10 micres de diàmetre, compost principalment per àtoms de carboni, amb una densitat bastant baixa en comparació amb el titani i l'alumini, d'aproximadament 1,75 g/cm³. Es caracteritza per tenir alta flexibilitat, alta resistència, baix pes, tolerància a altes temperatures i baixa expansió tèrmica. És molt popular en la indústria aeroespacial, enginyeria civil, aplicacions militars i esports de motor. [23]

PLÀSTIC

Els plàstics són polímers, d'estructura macromolecular que pot ser modelada mitjançant calor o pressió. El seu component principal és el carboni.

Un dels plàstics més utilitzats en la indústria és el polietilè d'alta densitat (HDPE), gràcies a la seva rigidesa, resistència, propietat incolora i fàcil processament. [24]

4.3 Projectes referents

Per a dur a terme correctament el projecte, és important agafar referents de projectes existents, de manera que permetin fer-se una idea general de com ha de quedar el braç robòtic. A més, també són de gran ajuda a l'hora de comprovar si els passos que s'estan seguint són els correctes, comparant-los amb un projecte industrial real ja creat.

Per una banda, s'agafa com a referència el UR10e d'Universal Robots, el qual permet automatitzar processos i tasques amb un pes de fins a 10kg i un radi d'acció de 1300mm. El pes total d'aquest és de 33,5kg i té una petjada de Ø 190 mm. [25]

Aquest robot és interessant com a referent donat que és un model de disseny senzill i és el que més s'aproxima, dins la seva família, a l'abast i capacitat de càrrega que requereix aquest projecte.



Figura 13. Sensors Reed de proximitat (esquerra) i tàctils (dreta) [Font: 25]

D'altra banda, també s'ha escollit el robot industrial paletitzador KR40 PA de la marca KUKA, el qual té una capacitat de càrrega de 40kg, un abast de 2091 mm i està dissenyat específicament per a paletitzar. El pes d'aquest robot és de 695 kg i la seva petjada és d'aproximadament 600 mm [26]

Tot i que el disseny d'aquest robot és bastant més complex, continua sent molt interessant si es té en compte que la capacitat de càrrega i l'abast són molt més similars als que probablement requereix aquest projecte.



Figura 14. Robot industrial per a paletitzar KR 40 PA [Font: 26]

5. FASE DE PLANIFICACIÓ

En aquesta fase es planificarà el desenvolupament del projecte. Amb els coneixements obtinguts a la fase de recerca, s'aportaran idees conceptuals de com serà el disseny del braç robòtic, quins requisits haurà de complir, i quins mètodes s'utilitzaran perquè funcioni correctament.

5.1 Idees conceptuals

La idea principal resideix en el fet que el braç robòtic d'aquest projecte sigui capaç de classificar paquets en grans magatzems. Es tracta d'aconseguir que el robot sigui d'allò més polivalent i que pugui ser instal·lat en una gran quantitat de magatzems. Per assolir aquest propòsit, es dissenya un braç robòtic de mides reduïdes, dins del que és possible, de tal manera que sigui capaç de classificar els paquets, o fins i tot paletitzar els que siguin d'una mateixa categoria.

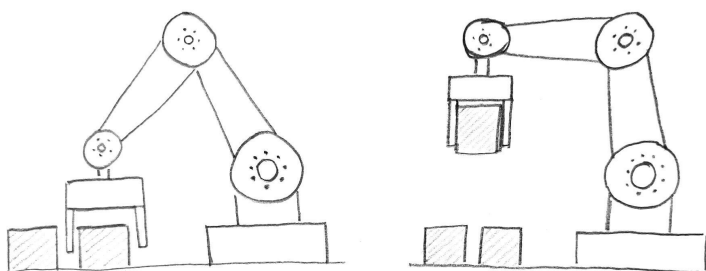


Figura 15. Primers croquis de disseny [Font: Pròpia]

La seva funció de classificar consistirà a rebre paquets d'una cinta transportadora i, mitjançant un lector de codi de barres o de codis QR (codi de resposta ràpida) integrat en el mateix braç, el robot serà capaç de saber a quina categoria pertany cadascun, fet que li permetrà així col·locar-lo en la cinta transportadora corresponent a aquella categoria.

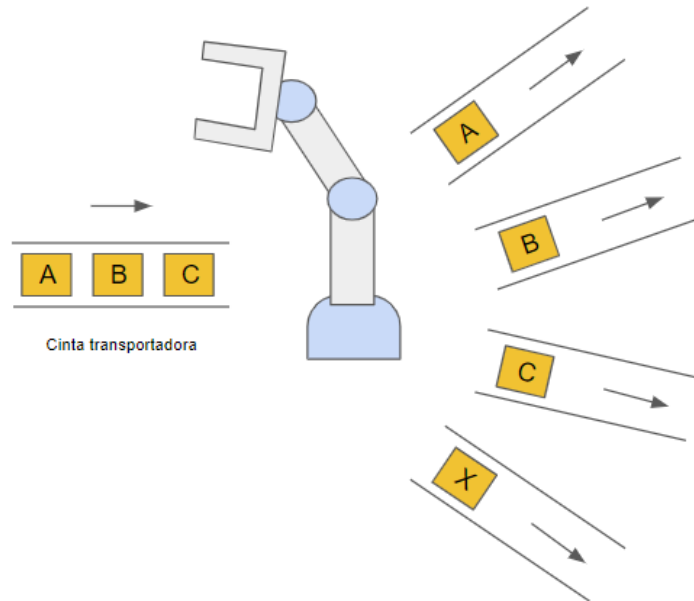


Figura 16. Classificació de paquets en cintes transportadores [Font: Pròpia]

En cas que el magatzem volgués paletitzar els paquets, s’haurien de distribuir palets al voltant del robot, instal·lats prèviament en posicions ja programades per a facilitar la feina. Un cop el robot rebés el paquet i llegís la categoria, podria col·locar-lo en el palet adequat, per a així anar agrupant en cada palet els paquets d’una mateixa categoria.

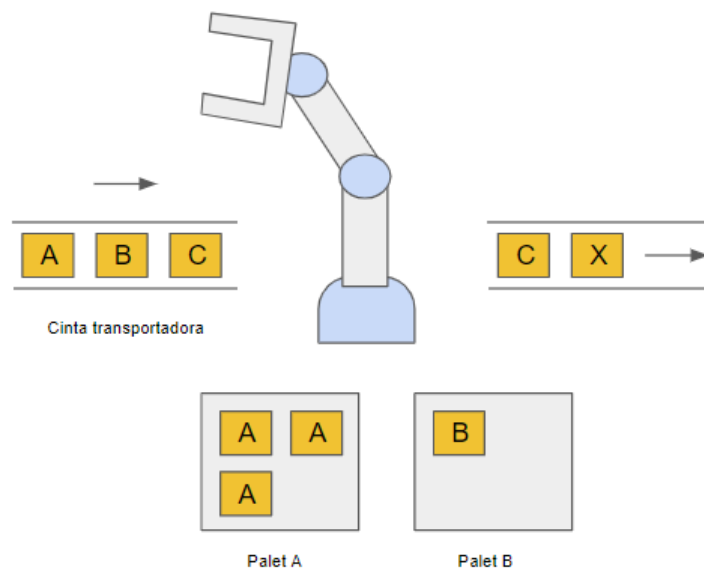


Figura 17. Classificació de paquets en cintes transportadores i palets [Font: Pròpia]

Si es combinen les funcions de col·locar paquets a la cinta transportadora i també de paletitzar utilitzant més d'un robot, es pot aconseguir una classificació més extensa i una major funcionalitat per als robots. Permetent així dirigir els paquets cap a altres punts del magatzem on un altre braç robòtic s'encarregui de paletitzar o de classificar-los de nou en més subcategories.

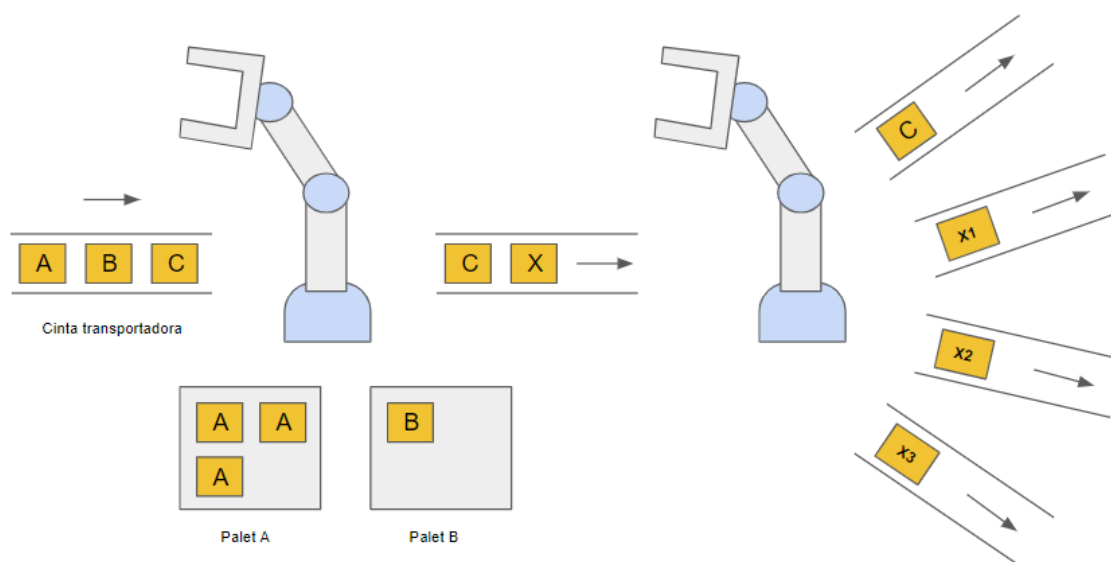


Figura 18. Classificació amb més d'un braç robòtic [Font: Pròpia]

5.2 Requisites

Abans de realitzar el disseny del braç robòtic, és important definir quins requisits ha de tenir.

Com el robot ha de ser capaç de classificar paquets, el primer que cal fer és definir quin és el límit de volum i pes que es vol que tinguin els paquets. La mida dels paquets o objectes serà important a l'hora de dissenyar el actuador final que s'encarregarà d'agafar-los.

Per tal de decidir quin és el volum dels paquets que ha de poder moure el robot, cal centrar-se en la mida dels palets. Cal basar-se en els palets i no tant en la cinta transportadora, ja que en el cas que el robot col·loqui els paquets en una cinta, aquesta pot ser de moltes mides diferents. Per aquest motiu, la cinta no serviria com a referència per establir quina és la mesura dels objectes que ha de poder desplaçar.

Les mesures estàndards de palets europeus (o europalet) són de 800 x 1200 mil·límetres, regulats per la norma UNE-EN 13698-1-2003 a Espanya.

Per tal de dividir de forma eficaç els paquets en els palets, es considera que puguin cabre 2 paquets en la part ampla del palet i 3 en la part llarga. De tal forma es divideix la mesura de 800 mm entre 2 i la mesura de 1200 mm en 3 divisions, obtenint així que la mesura dels paquets que s'hauran de classificar serà com a màxim de 400 x 400 mm.



Figura 19. Palet Europeu o Europalet [Font: 19]

També és necessari definir quin és l'abast que ha de tenir aquest braç robòtic.

Per establir l'abast que tindrà el braç, el criteri que se segueix és analitzar les dues possibles situacions que es poden donar, si ha de col·locar l'objecte en cintes transportadores o en palets. De nou, la situació més delimitant serà la dels palets, ja que hauria de ser capaç com a mínim de poder dipositar-los en qualsevol posició sobre el palet, fins i tot la més allunyada. D'altra banda, les cintes transportadores ocupen un menor espai, el que fa que els paquets puguin estar més propers a l'eix central del robot, i a més en elles no cal que siguin col·locats d'una manera determinada.

Per tal de decidir aquesta distància que haurà d'abastar, es dibuixa, en mides reals, la situació en la qual el braç robòtic hagi de col·locar paquets en diferents palets que tingui agrupats al voltant. La mida del robot és orientativa, ja que encara no està dissenyat.

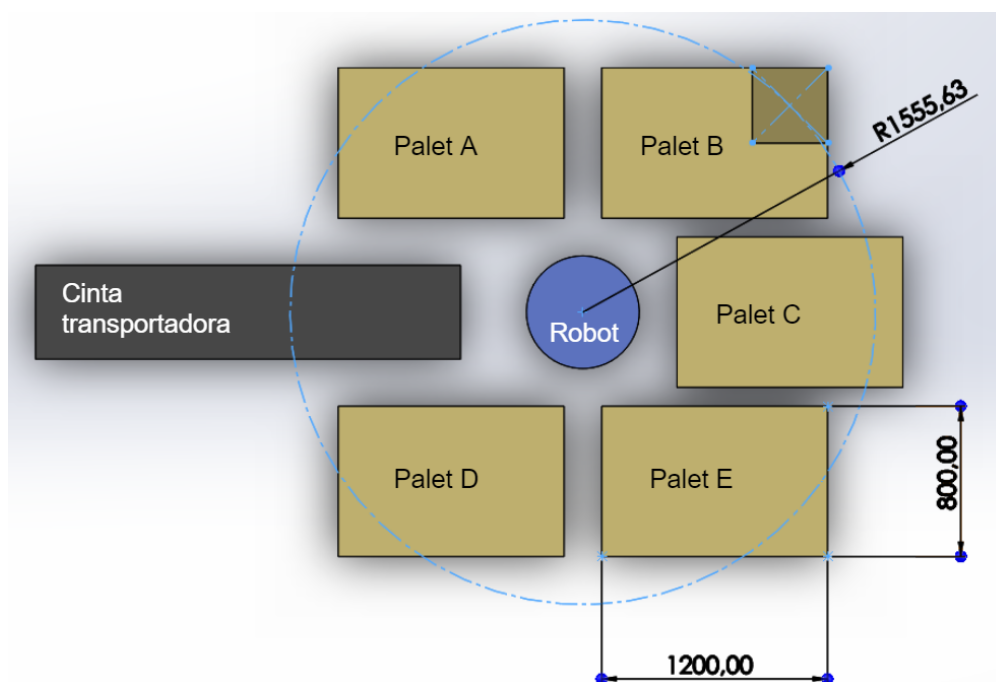


Figura 20. Abast del braç robòtic [Font: Pròpia]

El càlcul resultant de la distància des del centre del robot al centre del paquet més llunyà és de 1555 mil·límetres, tot i que s'arrodoneix a 1600m. Aquesta serà la distància que hauria d'abastar el braç robòtic.

5.3 Selecció del model

Una vegada s'ha realitzat l'estudi dels diferents tipus de braços robòtics, i de quins són els requisits del projecte, s'arriba a la conclusió que la millor opció és dissenyar un robot de 6 eixos.

Aquests braços robòtics permeten màxima flexibilitat a l'hora d'agafar paquets i posar-los en diferents posicions i a diferents alçades. Aquesta característica és ideal per al que es necessita el robot, ja que, tal com s'ha dit, a l'hora de dipositar els paquets als palets és imprescindible tenir suficient mobilitat per poder-los col·locar en diferents posicions segons convingui.

També resulta interessant triar aquest robot perquè el projecte no s'està realitzant per a una feina en concret, sinó que la idea és que pugui satisfer les necessitats del màxim nombre d'empreses. És per això que un disseny flexible sempre serà més interessant que un que delimiti més les opcions.

5.4 Mètode per distingir i agafar els paquets

Per distingir els paquets i poder-los classificar en les diferents categories, es dotarà al robot d'una càmera que sigui capaç de llegir codis QR a certa distància. Per tal de facilitar la lectura del codi i que no calgui cap altra implementació extra, la càmera queda fixada a la part superior de les pinces del robot, de tal forma que mitjançant la programació del robot, aquest es pugui apropar als paquets i llegir el codi QR amb les mateixes articulacions del braç.

Aquesta càmera també serveix com a factor de seguretat, per tal que el robot pugui visualitzar el seu entorn, facilitant així que no pugui haver-hi cap accident.

Pel que fa al mètode per agafar els paquets, es tria dissenyar unes pinces de tancament paral·lel. S'ha fet aquesta elecció considerant que és de les opcions més viables a l'hora de paletitzar paquets, ja que no ocupen gaire espai i permeten agafar tota mena de paquets, dins dels límits ja establerts, i posicionar-los a prop d'altres paquets o objectes.

6. FASE DE DESENVOLUPAMENT

Finalment, a la fase de desenvolupament es dissenya en 3D el braç robòtic mitjançant el programa de disseny CAD SolidWorks, tenint en compte tota la informació de les anteriors fases.

Es realitza un estudi estàtic per tal de seleccionar el material més adient, tant per les pinces, com per al braç robòtic sencer. Tot seguit, es faran els càlculs corresponents per a la transmissió de moviment del conjunt.

6.1. Disseny en 3D

Per començar amb el disseny, es realitza un esbós inicial del braç robòtic. Això permet tenir una idea de com han de ser les parts d'aquest, les longituds dels braços, la col·locació dels motors perquè giri correctament cada peça, etc. En aquest esbós es pot veure com les parts principals del robot seran la base fixa a terra, una segona base giratòria que permet al robot fer girs de 360 graus, el braç, l'avantbraç i finalment les pinces. Els motors estan representats per cubs de color negre.

Tanmateix, amb l'esbós es podrà comprovar com evoluciona el disseny inicial una vegada es va estudiant en profunditat cada part d'aquest, ja que a mesura que es va completant el disseny, es van trobant petites millores que afavoreixen que el disseny final sigui força diferent respecte l'inicial i sigui més complet.

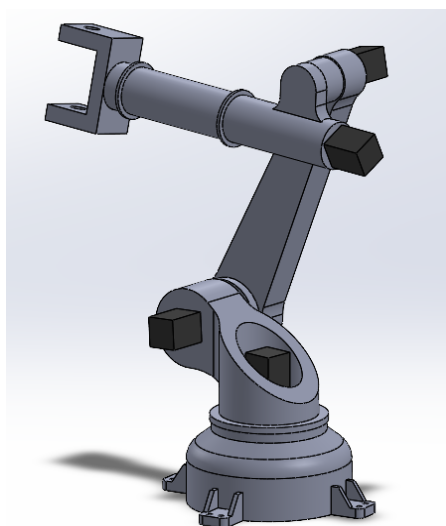


Figura 21. Esbós inicial de l'estructura del robot [Font: Pròpia]

6.1.1. Disseny del braç robòtic

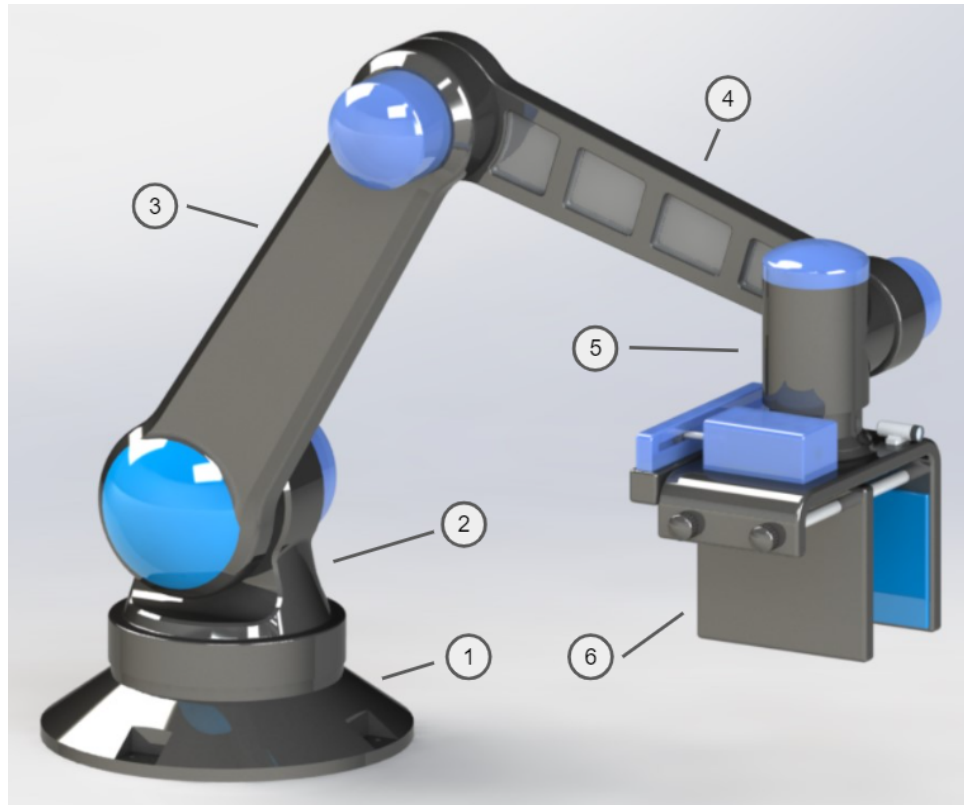


Figura 22. Disseny complet del braç robòtic [Font: Pròpia]

Les parts principals del disseny final del braç robòtic són les següents:

1. Base Fixe
2. Base giratòria
3. Braç
4. Avantbraç
5. Canell
6. Pincers

Per començar, es dissenya la base del braç robòtic. Aquesta és el punt de contacte amb el terra i està composta per dues peces principals, la base fixa i la base giratòria.

La base fixa és la que va collada a terra mitjançant caragols. L'esmentada aporta estabilitat a tot el conjunt, és per aquest motiu que s'ha dissenyat bastant més ampla que la resta de components i amb un disseny cònic per a reduir, en certa manera, el pes. A l'interior d'aquesta peça va col·locat un motor que permet la rotació de la part superior de la base, la part rotatòria.

La part rotatòria de la base podrà girar sobre si mateixa gràcies als engranatges epicicloidals incorporats (aquests engranatges van acoblats a la part interior de la base giratòria, per a veure més informació consultar els plànols). S'ha dissenyat d'aquesta manera perquè el robot pugui realitzar girs de 360° amb plena llibertat, i així poder agafar i dipositar objectes des de qualsevol angle. La part superior d'aquesta base té un disseny cilíndric horitzontal per dotar de moviment al braç del robot. També incorporarà, a un extrem de la part superior, una cavitat on va el motor i una tapa per aïllar de l'exterior i alhora fer-lo més estètic.

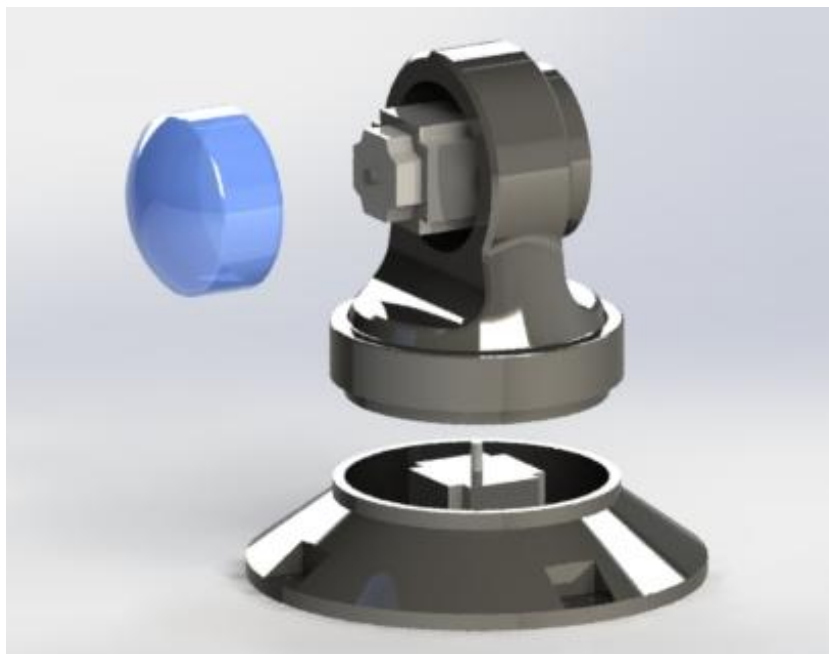


Figura 23. Base fixe i base rotatòria [Font: Pròpia]

Mentre s'ha anat dissenyant les peces, s'ha anat comprovant, mitjançant un estudi estàtic basat en el mètode d'elements finits del Solidworks, els punts més crítics de la peça. D'aquesta manera ha permès obtenir un millor disseny després d'arreglar possibles errors mecànics.

Pel que fa a la base giratòria, en cert moment es va voler incorporar un canal per tal d'intentar reduir el pes de la peça, però en aplicar l'estudi clarament es va veure que aquest canal generava un punt crític de màxima tensió. Per aquest motiu es va decidir excloure'l del disseny final.

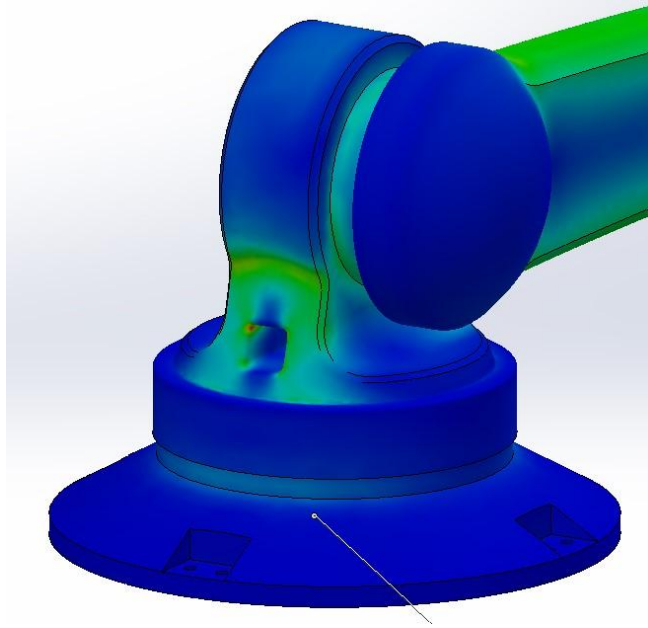


Figura 24. Estudi estàtic per millorar punts crítics [Font: Pròpia]

Quant al disseny del braç i l'avantbraç, com es pot comprovar a la següent figura, ambdós tenen un disseny molt similar. La principal diferència entre ells és la mida dels punts articulars i el gruix de les seves peces. La grandària de les peces ha estat reduïda en funció de la seva distància a la base. El més proper a la base és el que rebrà major moment de força, per tant, requereix més material per a suportar-lo. Alhora el més allunyat de la base és el que genera major moment de força, per aquest motiu convé que tingui menor pes.

En els punts d'articulació s'han triat per a dissenys cilíndrics, per tal de facilitar el moviment i poder incorporar els engranatges que requereixen. Cada articulació consta d'un motor a una de les seves peces, i els engranatges són ancorats a la peça amb la qual s'uneixen. Per tant, el braç robòtic té engranatges a la seva part inferior (punt d'unió amb la base) i un motor a la cavitat que connecta amb l'avantbraç. L'avantbraç alhora, té engranatges en el punt de connexió amb el braç i un motor a l'articulació amb el canell.

En ambos casos s'ha realitzat un estudi de disseny per tal de reduir el pes, i per això, com es pot observar a l'avantbraç, se li ha realitzat un buidat de material, reforçat posteriorment amb nervis per a mantenir la seva resistència mecànica.

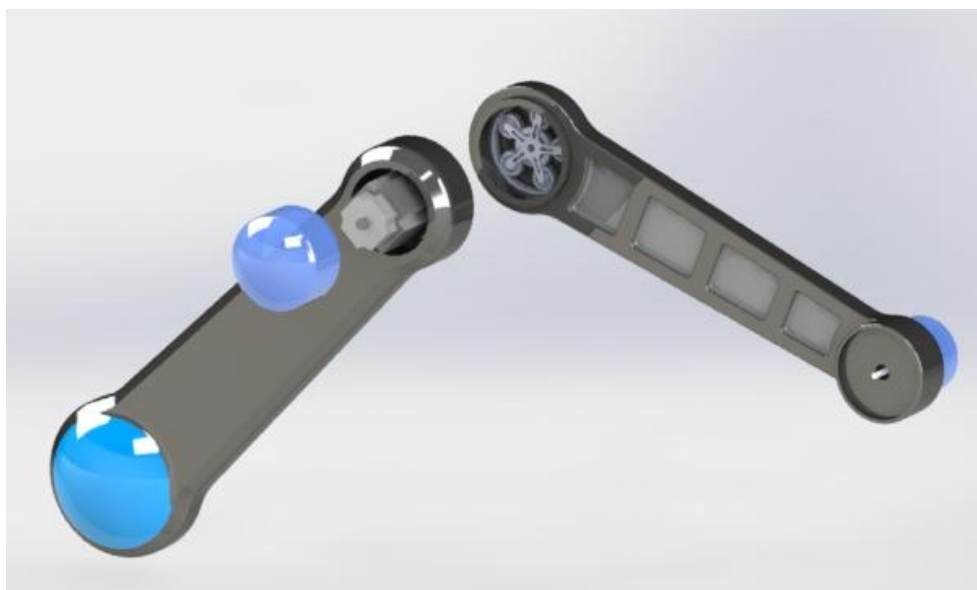


Figura 25. Vista del braç i avantbraç del robot [Font: Pròpia]

Pel que refereix al disseny del canell, s'ha optat per un disseny cilíndric senzill, creuant els eixos dels cilindres de manera que permetin que les pinces rotin en qualsevol direcció. Aquest moviment de rotació és altament important, ja que és el que permet col·locar els paquets en qualsevol angle. A l'hora de posicionar paquets en un palet, si ho observem des del punt central de la base del robot, els paquets queden disposats amb cert angle, per tant, sense aquesta rotació el robot no podria deixar-los correctament allà.

Com la resta de components, el canell té un conjunt d'engranatges epicicloïdals connectats amb el motor de l'avantbraç, a més també disposa d'un motor amb la seva respectiva tapa per transmetre la rotació a les pinces.

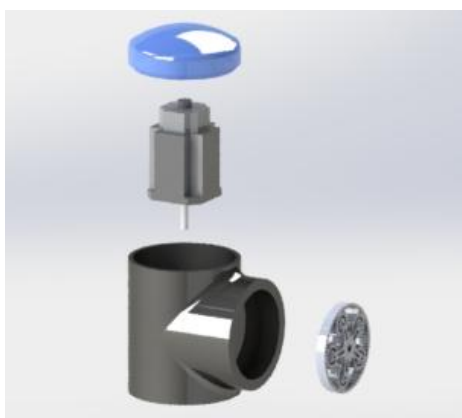


Figura 26. Vista del canell explosionat [Font: Pròpia]

6.1.2. Disseny de les pinces o mà robòtica

Les pinces són una de les parts més importants del disseny, ja que són el que li dona personalitat al robot, i el que determina les funcionalitats que aquest podrà tenir.

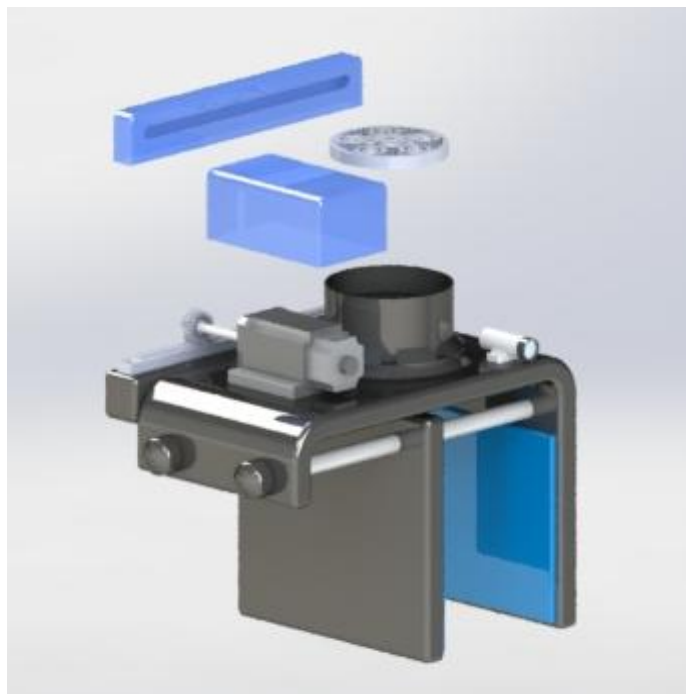


Figura 27. Explosionat de la mà robòtica [Font: Pròpia]

La mà robòtica d'aquest projecte està basada en models de pinces utilitzats comunament per paletitzar, ja que aquest disseny també permet classificar els objectes, paquets o caixes de forma fàcil. Està composta principalment per dues pales que es tanquen o s'obren amb un moviment paral·lel.

Per poder dur a terme aquest moviment, s'han instal·lat dues barres que serveixen de guia per al moviment de les pales, descarregant tensions així de la resta de components. Alhora, per evitar tensions excessives a les barres, el disseny de la part fixa de les pinces permet fixar les barres a la mateixa peça, de tal forma que quedin ben ancorades per la pinça, i només hagin de suportar el pes de les pinces mòbils i del paquet a moure.

A la part interior de les pales, s'ha incorporat uns elements d'alta fricció que podrien ser substituïts per diferents materials en funció del tipus de paquet que es vulgui moure (una opció seria una làmina de silicona que evités fer malbé els paquets i alhora tingués una baixa fricció per a agafar correctament el paquet). El millor d'aquest disseny és que seria fàcilment reemplaçable per un material o disseny diferent al de les cares planes de les pales. Per exemple, es podria

canviar el disseny per un element metàl·lic amb guies per poder aixecar les caixes dels magatzems amb major facilitat.

Per tal de facilitar la feina de mecanitzat de les peces, s'ha optat per separar la pala fixa del cilindre que uneix les pinces amb el canell.

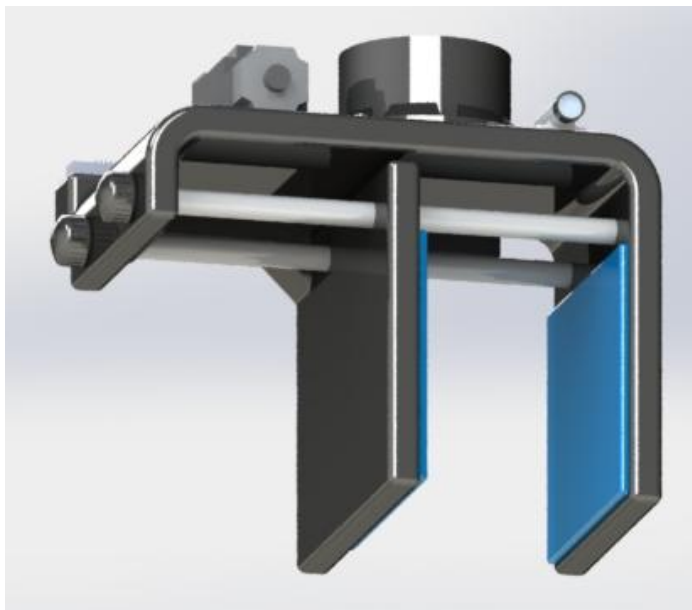


Figura 28. Vista inferior de la mà robòtica [Font: Pròpia]

A la part superior dreta de les pinces hi ha incorporada la càmera que permetrà llegir els codis QR dels paquets.

Per tal que les pinces puguin tancar-se i agafar els objectes, s'ha incorporat un petit motor a la part superior fixe, amb un engranatge de cremallera col·locat a la part mòbil. La part mòbil ha estat dissenyada en forma de "T", com es pot veure als plànols, per tal de poder incorporar un engranatge de cremallera prou llarg perquè les pinces es puguin tancar i obrir del tot.

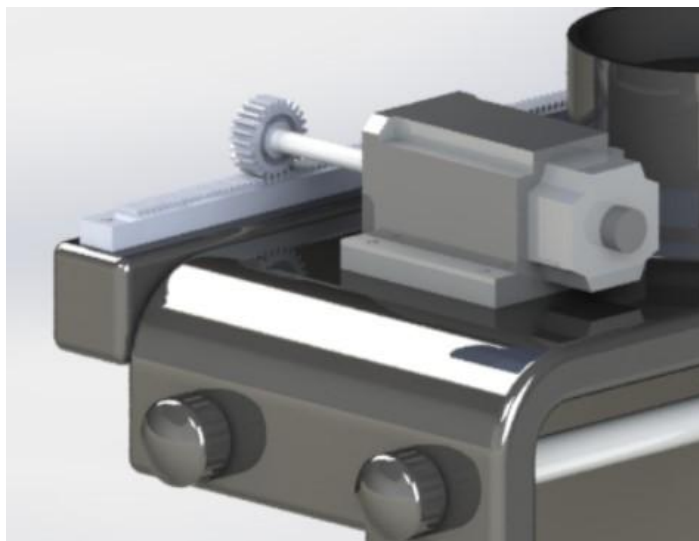


Figura 29. Vista detall engranatges de la mà robòtica [Font: Pròpia]

6.2. Selecció de materials

Per tal d'arribar a la conclusió de quin és el material adient per a cada peça del conjunt, es realitzaran diversos estudis estàtics amb els diferents materials estudiats a la fase de recerca. Aquest estudi estàtic es realitza amb la eina "SolidWorks Simulation", la qual permet fer tota classe d'estudis estàtics mitjançant el mètode d'elements finits. En aquest projecte es realitza un estudi lineal del comportament mecànic dels components del robot, veient així gràfiques de tensions de Von Mises, deformacions unitàries i per últim, el desplaçament que es produiria a la peça.

Es dividirà el conjunt en dues parts. La primera constarà de l'anàlisi i la tria del material adequat per les pinces, ja que per si soles tenen diversos components que han de suportar correctament el pes. A més, és interessant que no pesin gaire per no dificultar el treball al resta del braç robòtic.

Un cop triat el material de la pinça, s'inicia la segona part. Es procedirà a fer un altre estudi estàtic de la resta del braç robòtic. Per fer-ho, se substitueixen les pinces per una força equivalent al pes de les mateixes sumat al pes de l'objecte a moure.

Per dur a terme aquest anàlisi, s'exclouen les peces mòbils com engranatges i motors, ja que els esforços realitzats per aquests mateixos es definiran més endavant. Tampoc s'inclouran les tapes que tanquen les cubetes dels motors, ja que es fabricaran de plàstic i el seu pes serà insignificant en comparació amb la resta de components.

De totes maneres, com aquest és un càlcul aproximat, en el qual s'exclouen certs components de menor pes, es donarà cert marge d'error a l'hora de triar el material adequat, buscant un factor de seguretat una mica més elevat.

6.2.1 Estudi estàtic de les pinces

Per a realitzar l'estudi estàtic de les pinces, com s'ha descrit abans, queden exclosos els motors, els engranatges i els materials de plàstic amb baixa densitat. En el cas de les pinces, també s'ha exclòs la làmina de material d'alta fricció per a no falsejar els resultats.

En l'estudi, les pinces es trobaran tancades a mitja distància. Aquest serà el punt més crític per a les barres que s'utilitzen de guia, ja que aquestes rebran tot l'esforç produït per la paret mòbil de la pinça.

Per a una correcta realització de l'estudi, s'estableix una subjecció fixa de les pinces des de l'interior del cilindre, per on són agafades pel braç robot. Per simular el pes del paquet, per factors de seguretat, es calcula amb un pes de 40kg equivalent a 400N aproximadament. Aquests 400N es dividiran en 200N i seran aplicats a la superfície de contacte d'ambdues pales, de les quals està composta la pinça. També s'aplica una força de 50N a la superfície on aniran col·locats els engranatges de cremallera per a així simular l'esforç aplicat.

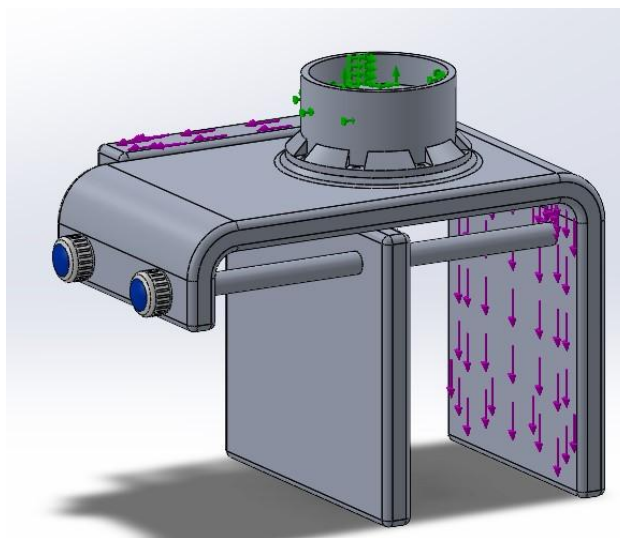


Figura 30. Distribució de forces a la mà robòtica [Font: Pròpia]

ALUMINI

Per començar, s'ha triat l'aliatge d'alumini 1060-H18, el qual té un 0,05% de cobre, i un mòdul i un límit elàstic més elevat que altres aliatges d'alumini similar. Alguns dels avantatges de l'alumini són que és fàcil de conformar i és més barat que altres materials que es tractaran més endavant, tot i que no és el millor pel que fa a les propietats mecàniques. El pes del conjunt, amb una densitat de $2,7 \text{ kg/cm}^3$, és de 75,04 kg.

S'aplica al model una malla fina basada en curvatura per a tenir el màxim de precisió en els càlculs. La malla resultant té un total de 217680 nodes i 136570 elements.

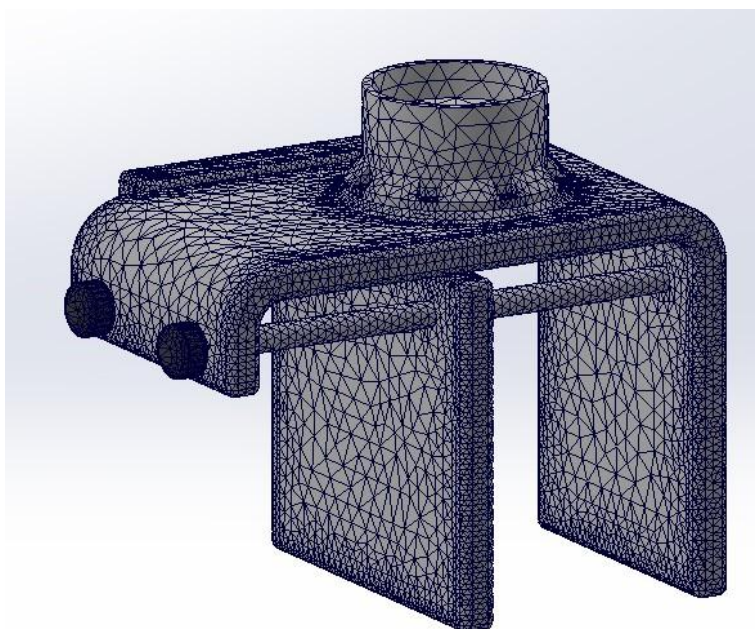


Figura 31. Malla generada de la mà robòtica [Font: Pròpia]

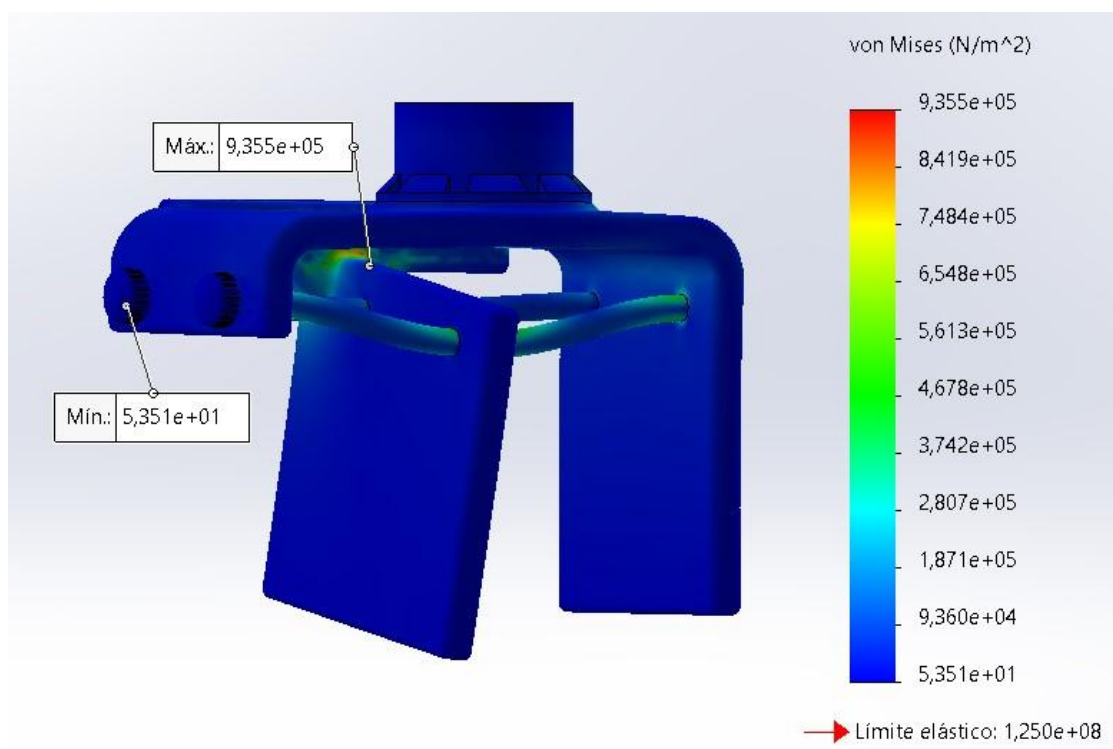


Figura 32. Tensió de Von Mises mà robòtica (Alumini) [Font: Pròpia]

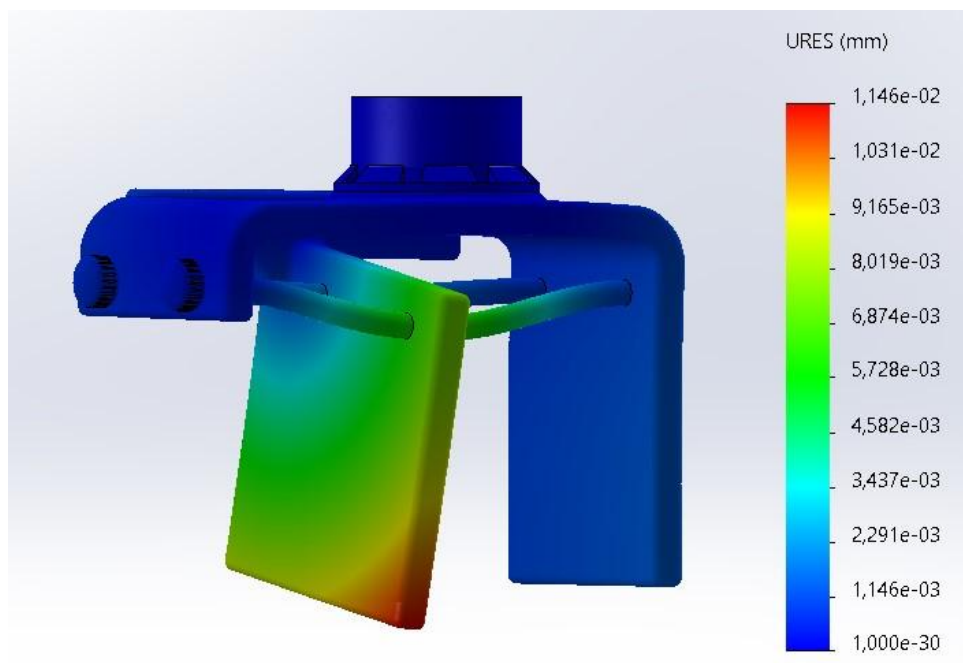


Figura 33. Desplaçament mà robòtica (Alumini) [Font: Pròpia]

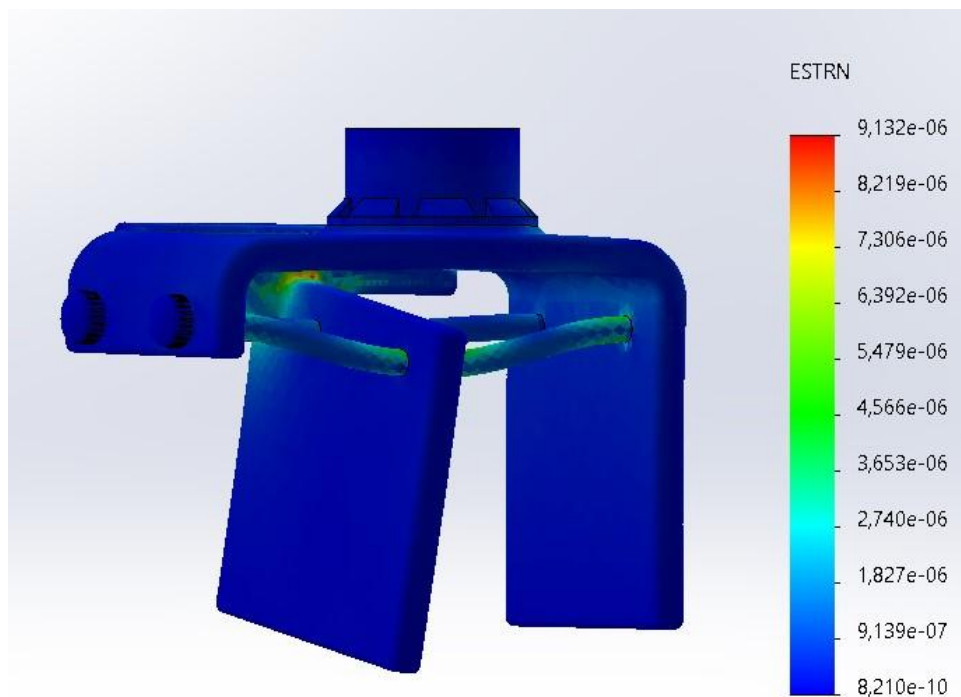


Figura 34. Deformació unitaria mà robòtica (Material: Alumini) [Font: Pròpia]

ACER

Per a l'estudi d'acer s'ha escollit l'acer al carboni no aleat, ja que té bones propietats mecàniques i és molt utilitzat en la indústria. Es caracteritza per tenir les propietats ja mencionades i és relativament econòmic de fabricar, però per contra, és molt pesat. Té una densitat de 7800kg/m^3 i com a resultat té un pes conjunt de 216.39 kg.

La malla té 217680 nodes i 136570 elements.

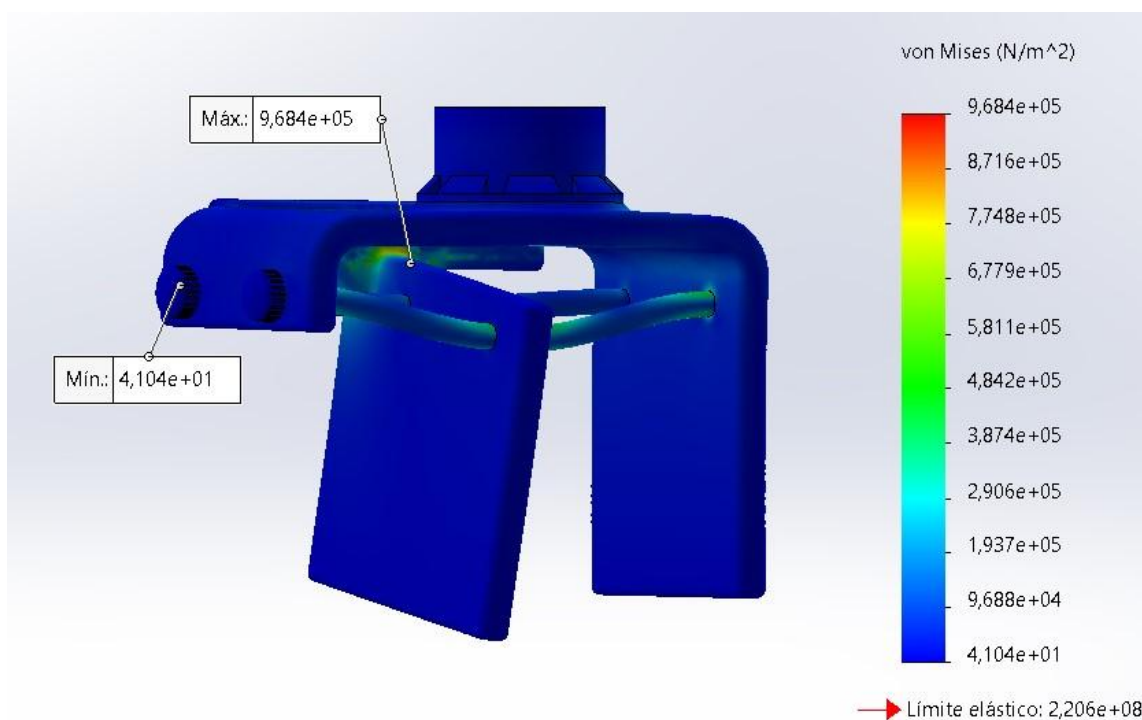


Figura 35. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Acer) [Font: Pròpia]

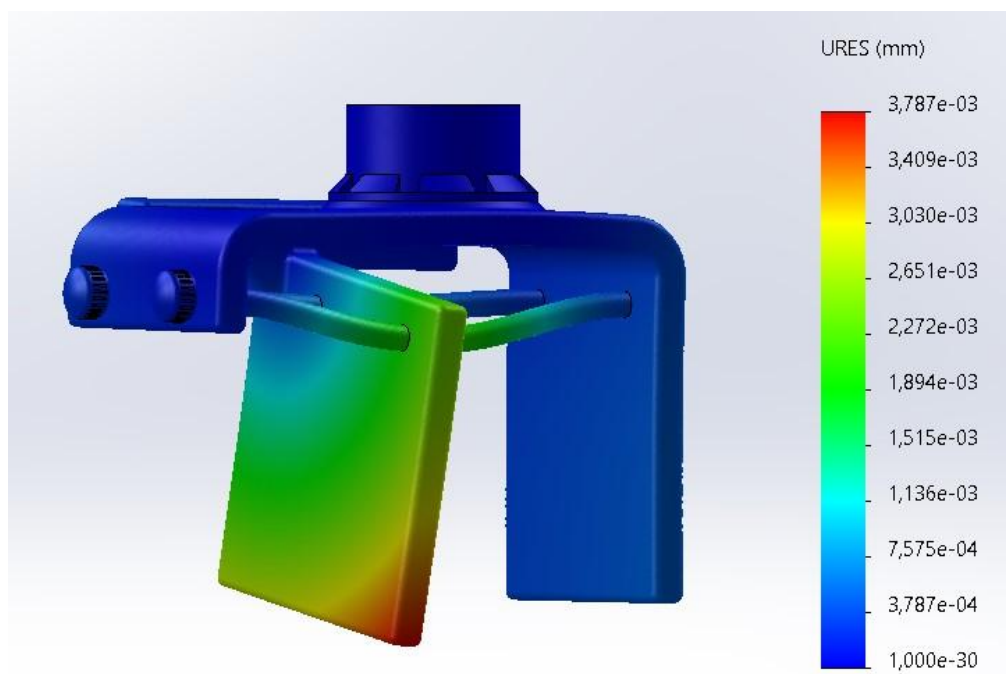


Figura 36. Desplaçaments mà robòtica (Material: Acer) [Font: Pròpia]

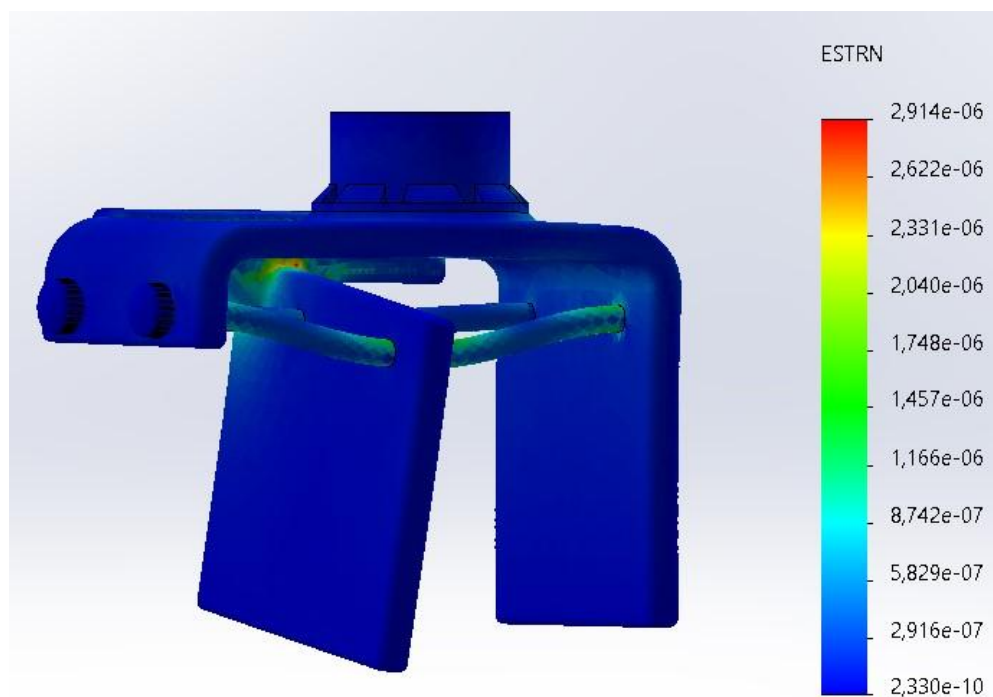


Figura 37. Deformació unitària mà robòtica (Material: Acer) [Font: Pròpia]

FIBRA DE CARBONI

Amb la fibra de carboni el conjunt obté el menor pes possible en comparació amb la resta de materials, per una densitat de 2000 kg/m^3 , el pes del conjunt és de 55,48Kg.

La malla generada té 217680 nodes i 136570 elements.

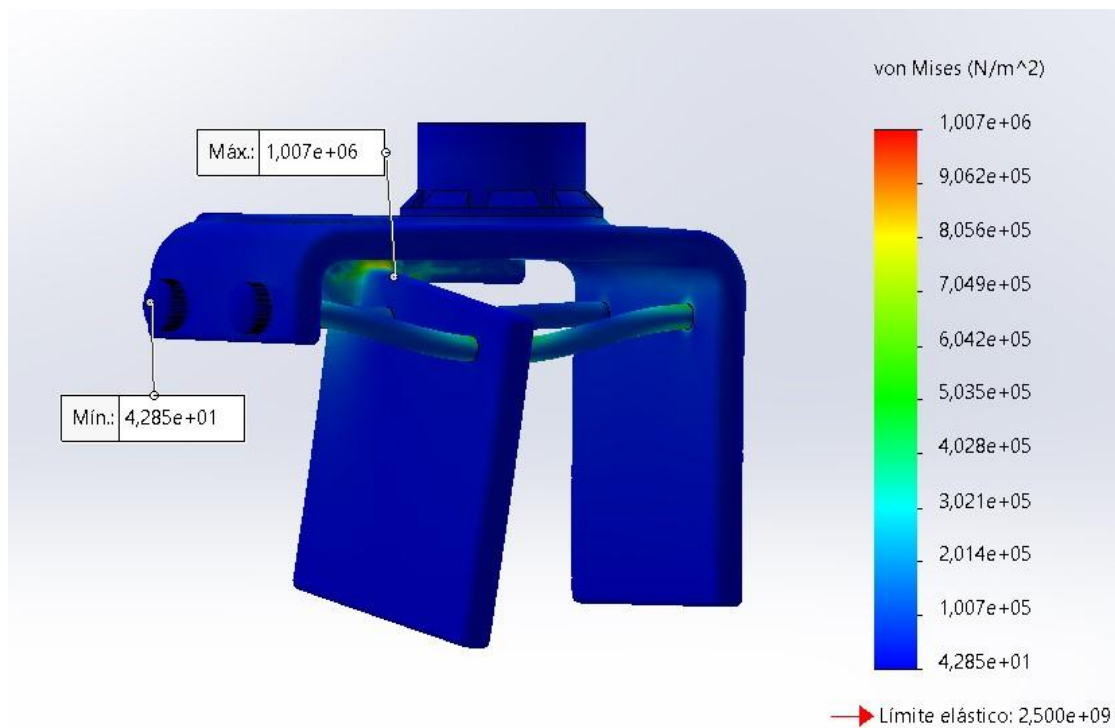


Figura 38. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Fibra) [Font: Pròpia]

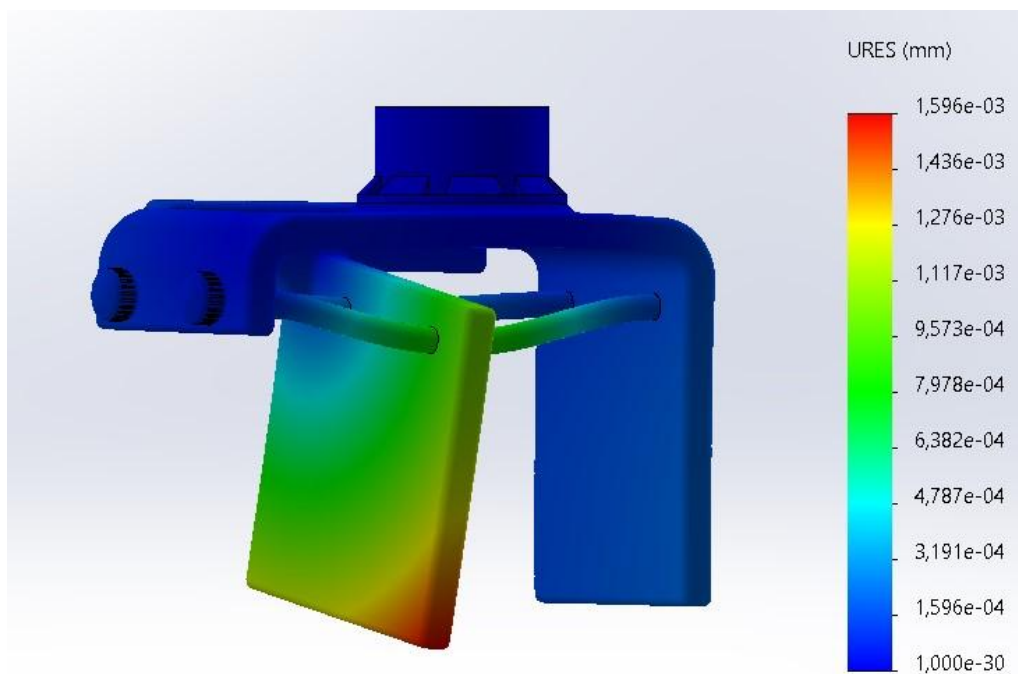


Figura 39. Desplaçaments mà robòtica (Material: Fibra) [Font: Pròpia]

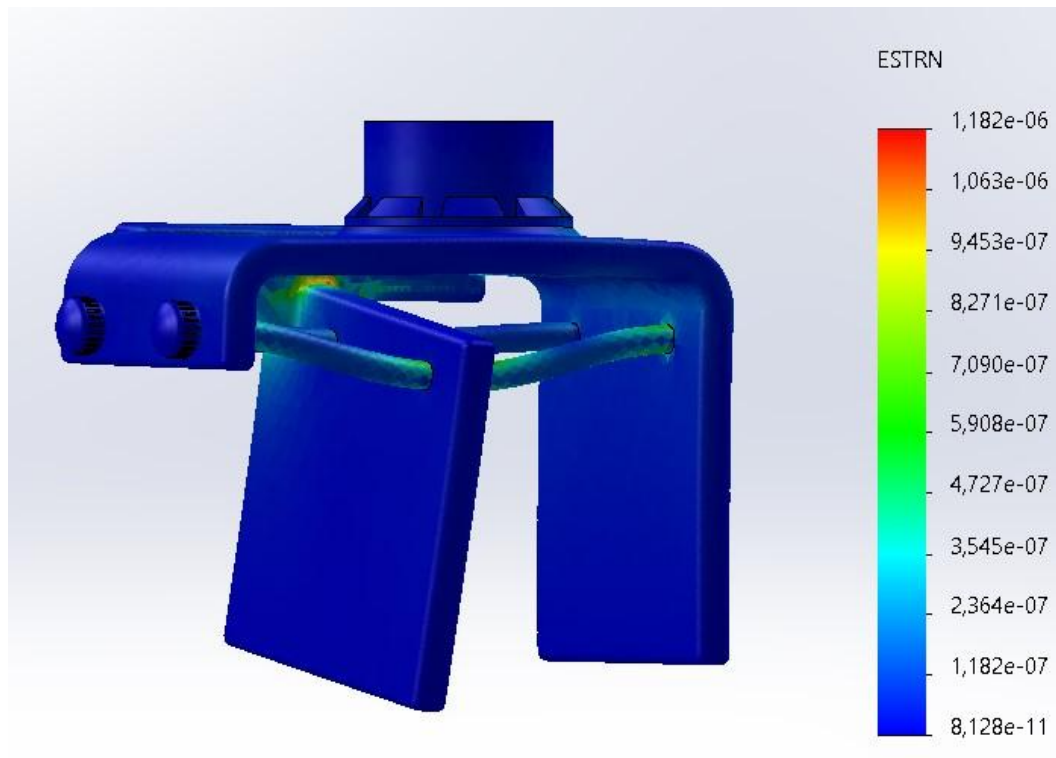


Figura 40. Deformació unitària mà robòtica (Material: Fibra) [Font: Pròpia]

TITANI

Per al titani s'ha escollit l'aliatge TI-5Al-2.5Sn amb una densitat de 4480 kg/m^3 , amb la qual s'obté un pes total del conjunt de 124 kg.

El mallat que es genera és igual que en els anteriors materials.

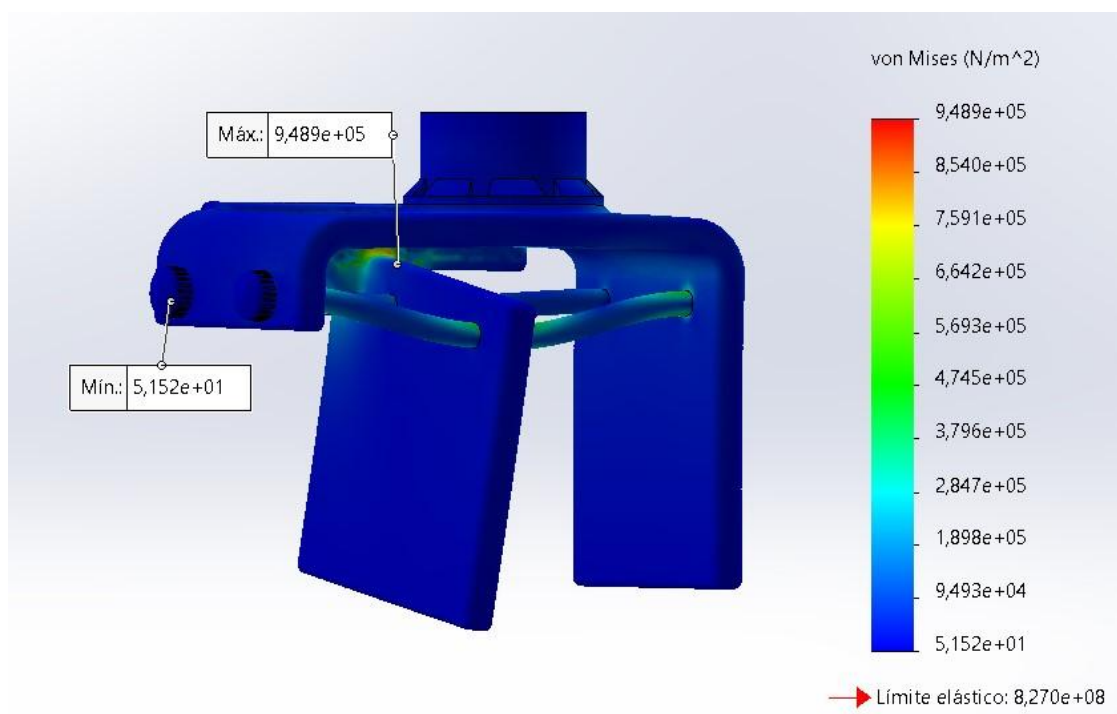


Figura 41. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Titani) [Font: Pròpia]

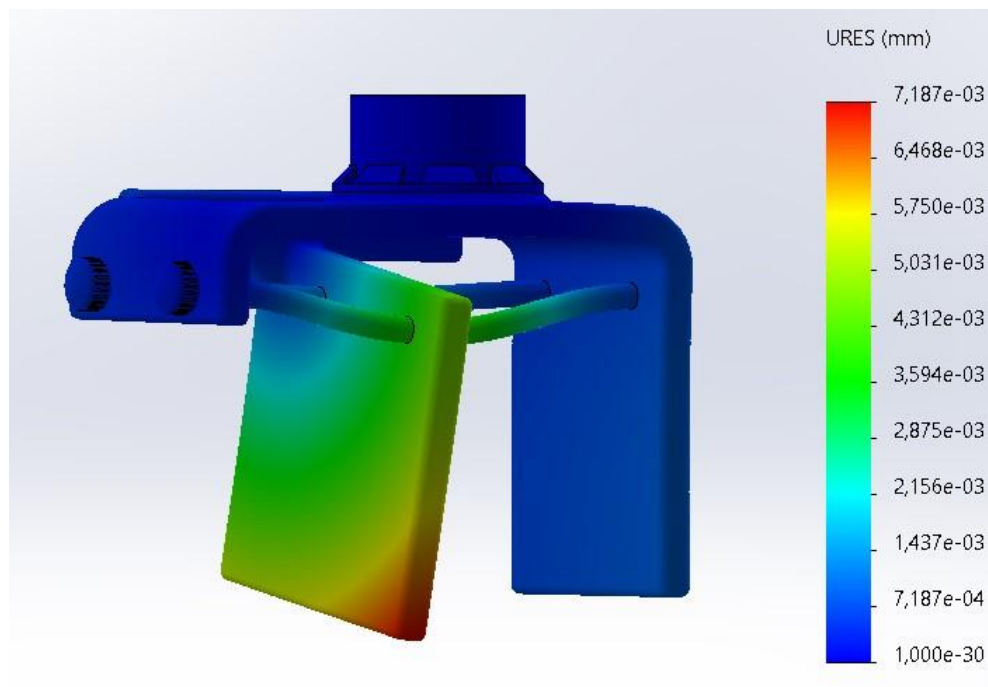


Figura 42. Desplaçaments mà robòtica (Material: Titani) [Font: Pròpia]

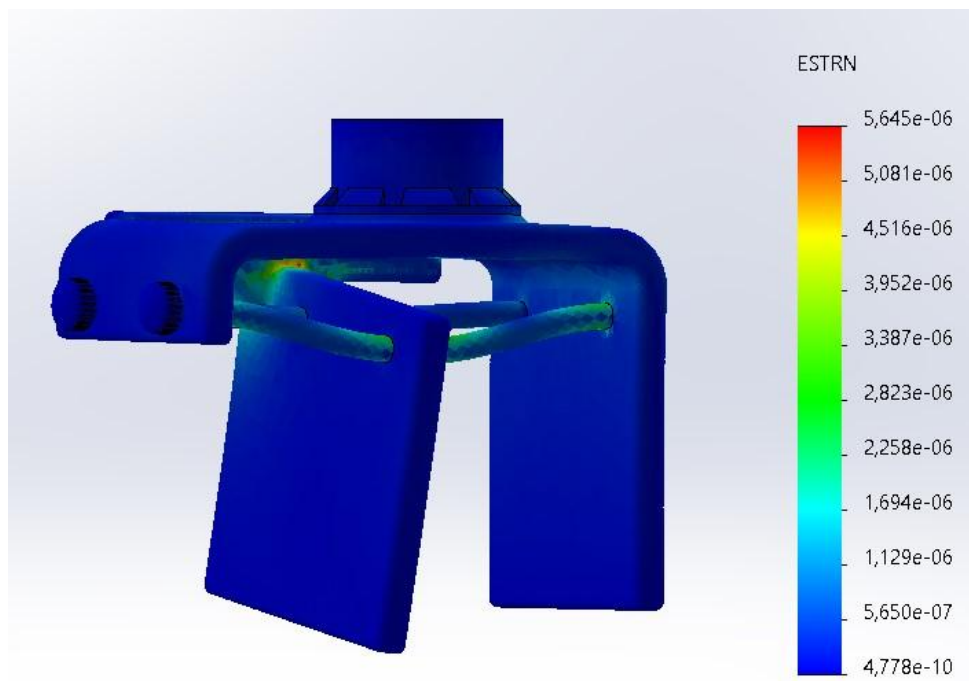


Figura 43. Deformació unitaria mà robòtica (Material: Titani) [Font: Pròpia]

6.2.2 Selecció material pines

Taula 5. Resultats estudi estàtic pines [Font: Pròpia]

Material	Alumini	Acer	Fibra de carboni	Titani
Densitat (kg/m ³)	2705	7800	2000	4480
Mòdul Elàstic (N/m ²)	6,9 x 10 ¹⁰	2,1 x 10 ¹¹	5 x 10 ¹¹	1,1 x 10 ¹¹
Límit Elàstic (N/m ²)	125 x 10 ⁶	220 x 10 ⁶	2500 x 10 ⁶	827 x 10 ⁶
Pes (kg)	75,04	216,39	55,48	124
Tensió de Von Mises (N/m ²)	9,35 x 10 ⁵	9,68 x 10 ⁵	1 x 10 ⁶	9,49 x 10 ⁵
Desplaçament màx. (mm)	0,011	0,004	0,002	0,007
Deformació unitaria màx.	9,13 x 10 ⁻⁶	2,91 x 10 ⁻⁶	1,18 x 10 ⁻⁶	5,64 x 10 ⁻⁶

Per a decidir quin material s'utilitza, cal tenir en compte el pes, ja que un elevat pes de les pinces complicaria els mecanismes i la resistència mecànica de la resta del conjunt. A banda del baix pes, cal que compleixi els requisits de tensions amb suficiència, per així tenir un major factor de seguretat i obtenir un major marge d'error. Un altre factor a tenir en compte és el preu.

Finalment, es decideix que les barres de guia i la pala mòbil siguin de titani, atès que són les peces de la pinça que tenen els punts més crítics tenint en compte tensions i deformacions. El titani té una densitat pràcticament de la meitat, per això s'ha triat per sobre de l'acer, tot i ser considerablement més car.

Per la resta de la pinça es tria l'alumini, ja que redueix considerablement el pes del conjunt i també el seu preu. Com la resta d'elements no tenen tanta deformació ni tensions aplicades, no és necessari treballar amb materials amb millors característiques mecàniques.

El conjunt amb els dos materials tindrà un pes total de 92.09kg. Amb l'objectiu d'assegurar que la tria a estat la correcta, es realitza un últim estudi estàtic, combinant com s'ha esmentat els materials.

Els resultats són favorables, ja que s'obtenen tensions màximes i deformacions més baixes que amb qualsevol dels materials anteriors. Per consegüent, la pinça finalment serà d'alumini i titani.

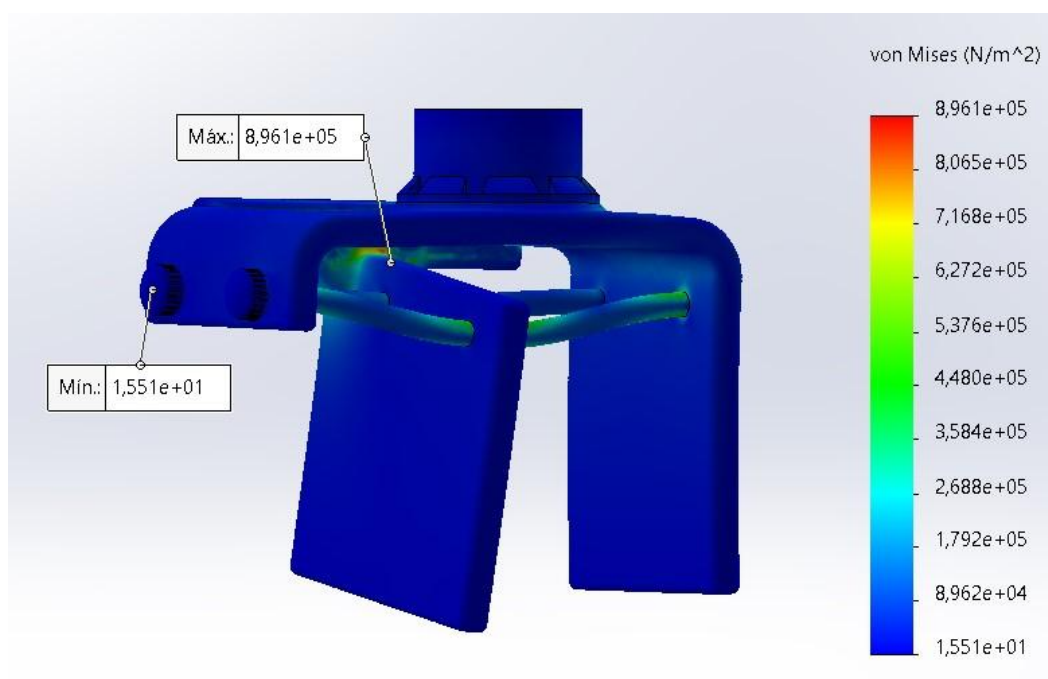


Figura 44. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Alumini i Titani) [Font: Pròpia]

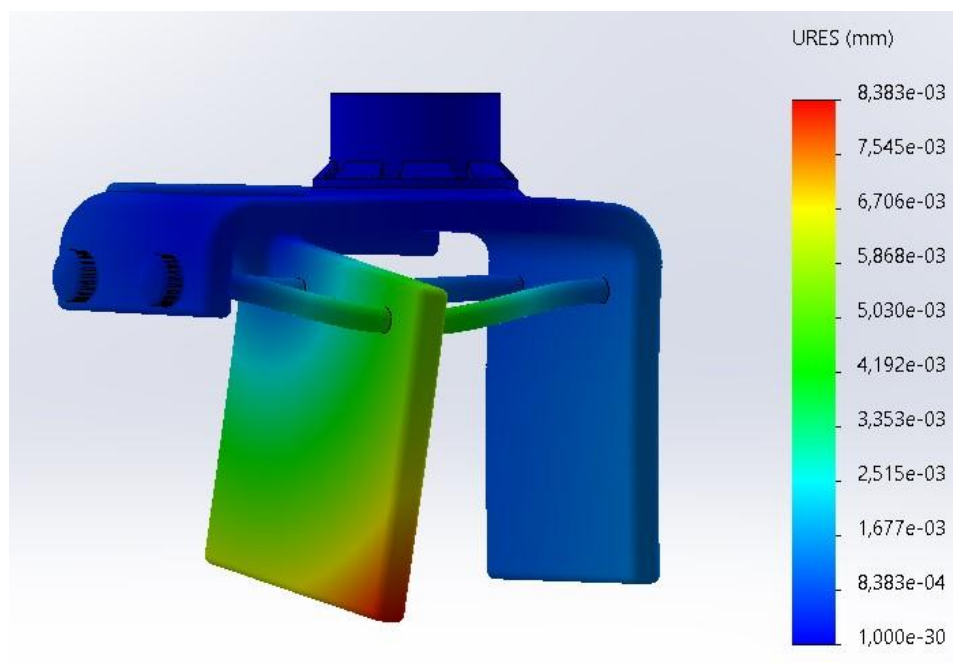


Figura 45. Desplaçaments mà robòtica (Material: Alumini i Titani) [Font: Pròpia]

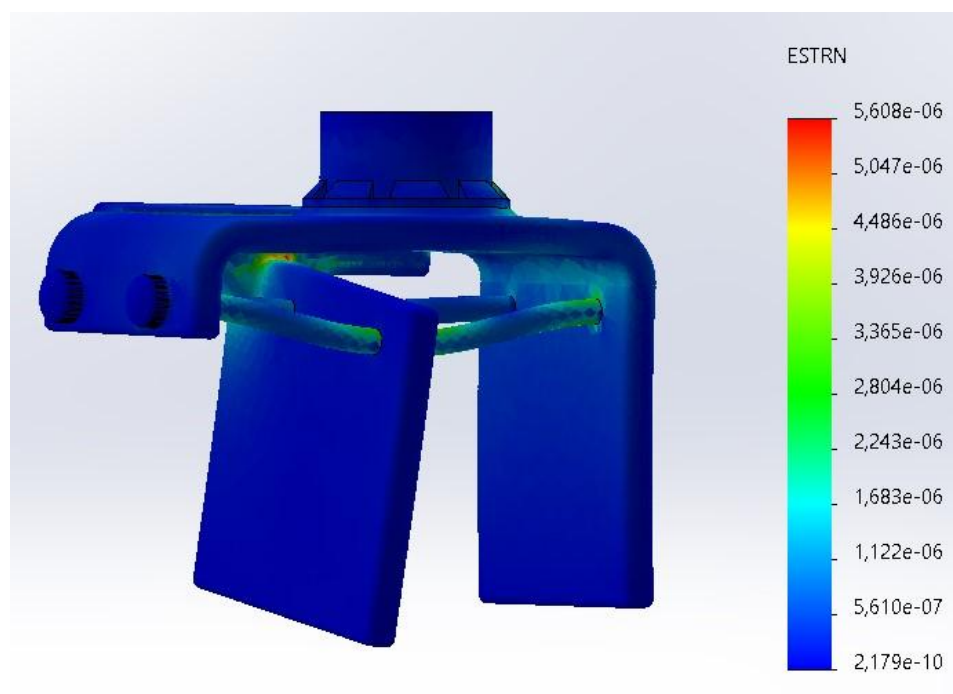


Figura 46. Deformació unitària mà robòtica (Material: Alumini i Titani) [Font: Pròpia]

6.2.3 Estudi estàtic pel braç robòtic

A l'hora de realitzar aquest estudi, s'exclouen les pinces per així poder veure les tensions i deformacions màximes més clarament. Per tal de fer-ho el més acurat possible, on van les pinces s'aplica una força de 1220 N en vertical, equivalent als 30 kg del pes dels paquets, més 92.09 kg del pes del conjunt de la pinça.

Per aquest apartat, com el braç robòtic és el que carrega gran part de l'esforç de tot el conjunt, donat els grans moments de força en treballar allunyat dels punt de contacte, es realitza l'estudi directament en titani i acer, per veure quin dels dos materials és més adient. L'alumini i la fibra de carboni es descarten perquè en aquest cas no és tan important que el conjunt tingui un pes reduït, per això guanya força l'acer, que té molt bones propietats mecàniques i és econòmic, tot i el seu elevat pes. En cas de ser necessari, s'optaria per triar el titani per a tenir millors resultats tot i l'augment de preu considerable.

ACER

Per l'estudi d'acer es torna a triar l'acer al carboni no aleat. El conjunt té un pes de 1066,46 kg.

Es crea una malla de curvatura de 181346 nodes i 113478 elements.

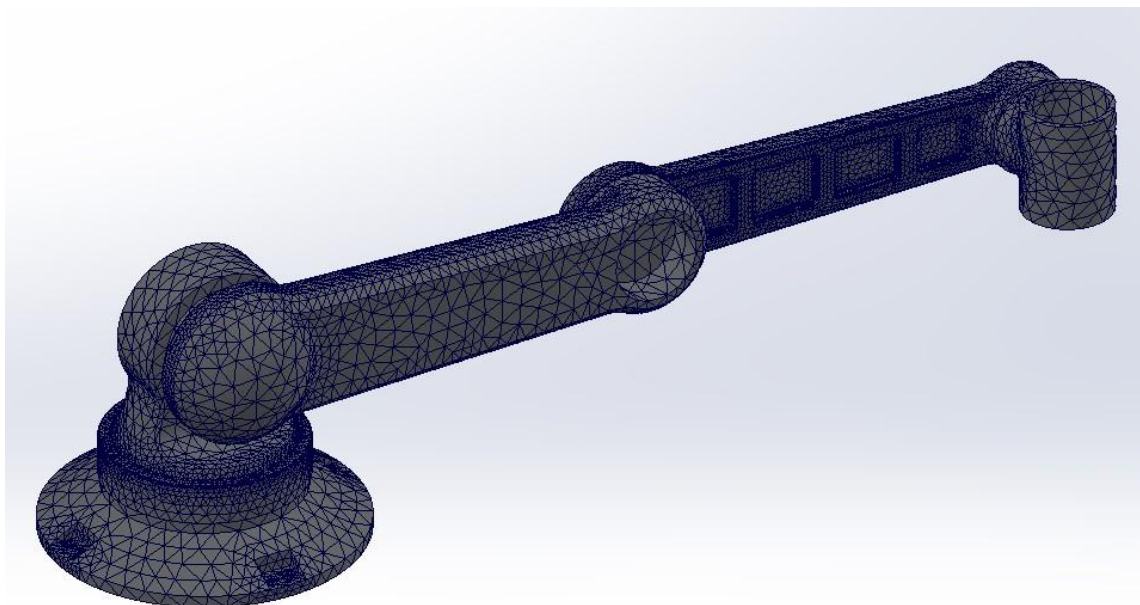


Figura 47. Malla generada del braç robòtic [Font: Pròpia]

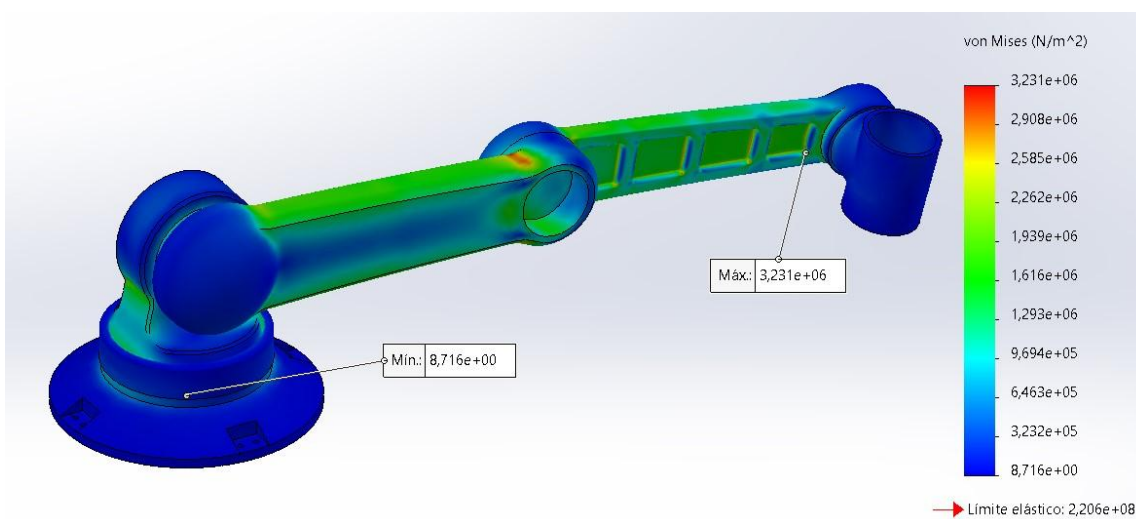


Figura 48. Tensió de Von Mises braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]

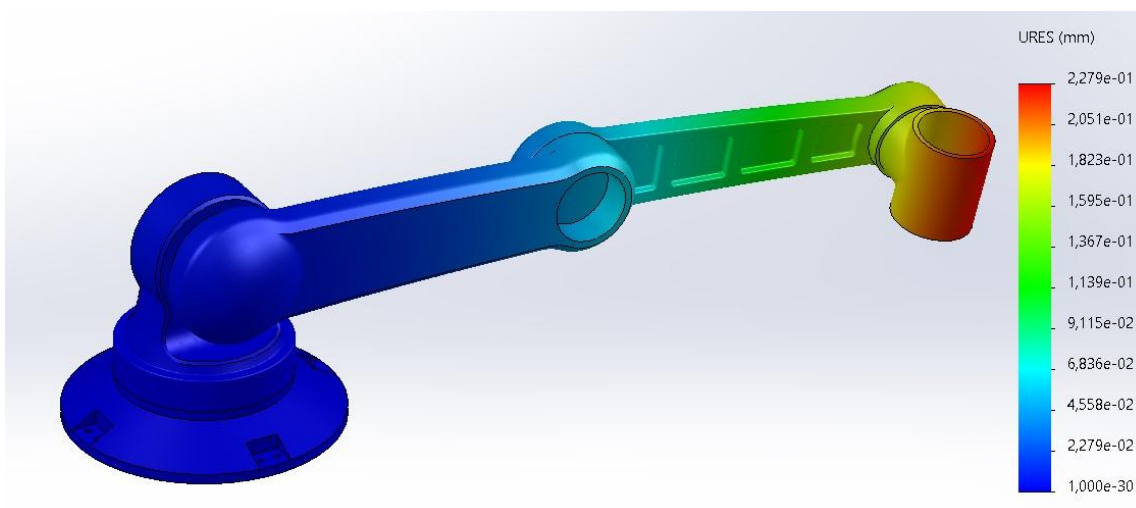


Figura 49. Desplaçament braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]

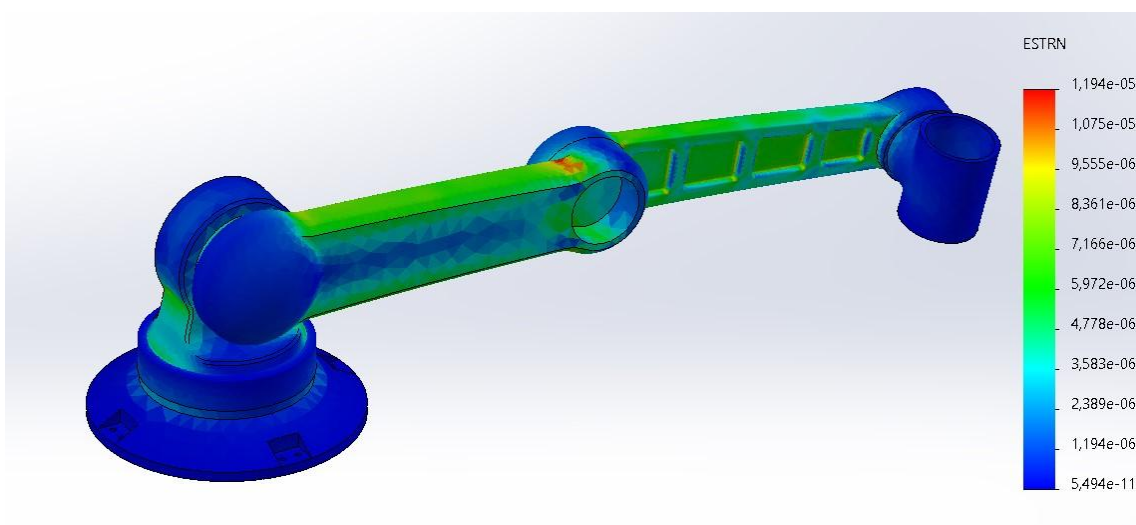


Figura 50. Deformació unitària braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]

TITANI

En el cas del titani també es torna a triar l'aleació de l'estudi anterior, el titani Ti-5Al-2.5Sn. El pes del conjunt és de 612.53 kg.

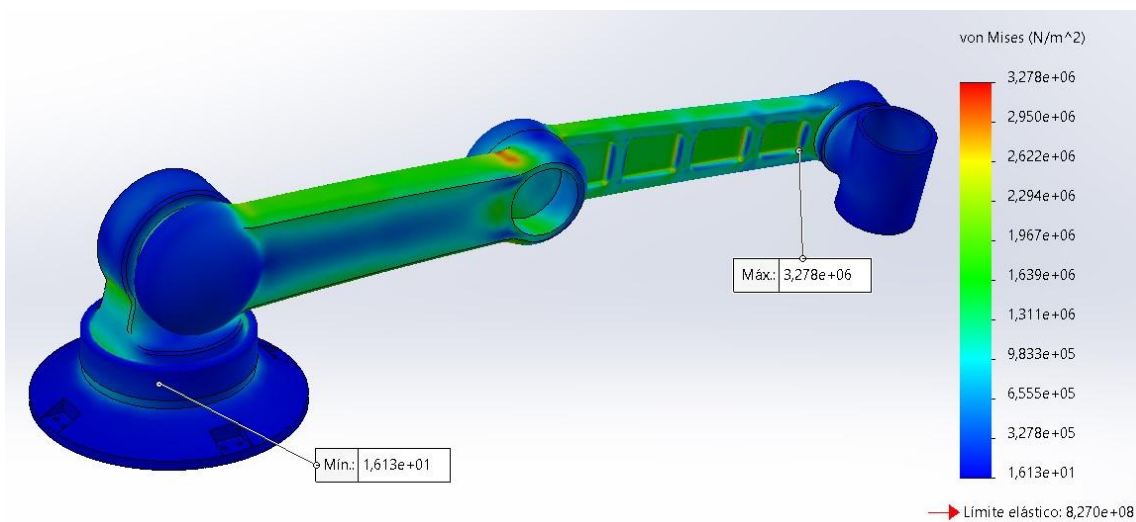


Figura 51. Tensió de Von Mises braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]

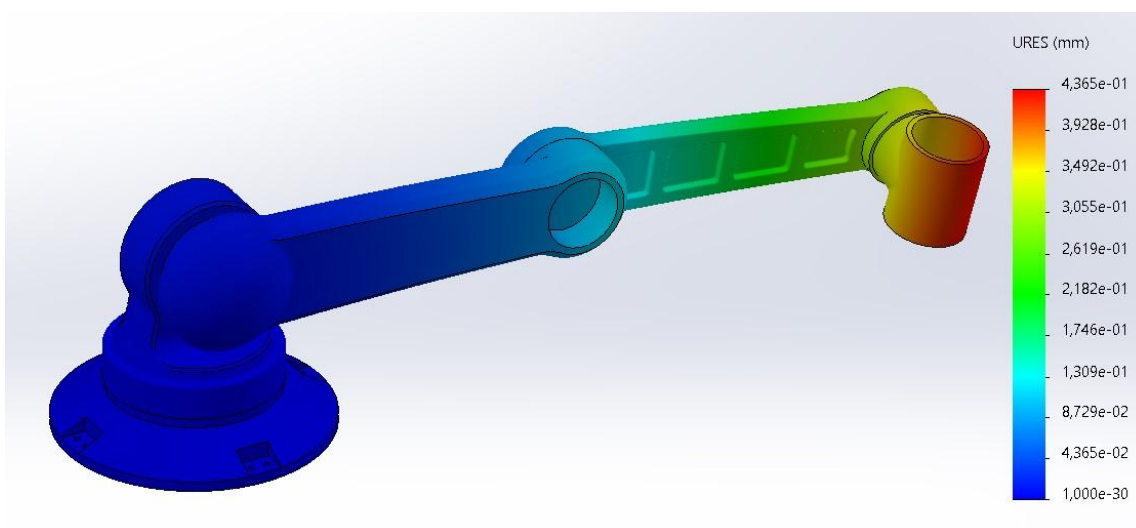


Figura 52. Desplaçament braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]

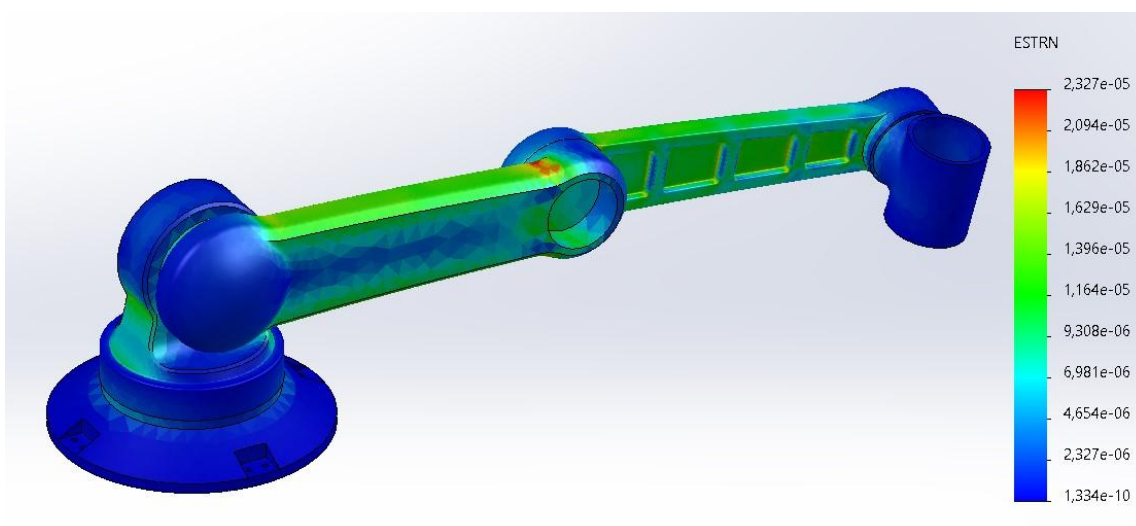


Figura 53. Deformació unitària braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]

6.2.4 Selecció material braç robòtic

Taula 6. Resultats estudi estàtic braç robòtic [Font: Pròpia]

Material	Acer	Titani
Densitat (kg/m ³)	7800	4480
Mòdul Elàstic (N/m ²)	2,1 x 10 ¹¹	1,1 x 10 ¹¹
Límit Elàstic (N/m ²)	220 x 10 ⁶	827 x 10 ⁶
Pes (kg)	1066,46	612,53
Tensió de Von Mises (N/m ²)	3,23 x 10 ⁶	3,28 x 10 ⁶
Desplaçament màx. (mm)	0,23	0,43
Deformació unitària màx.	1,19 x 10 ⁻⁵	2,32 x 10 ⁻⁵

Com es pot observar a l'estudi realitzat amb els materials acer i titani, els dos tenen pràcticament la mateixa tensió de Von Mises, però, pel que fa a deformacions unitàries i desplaçaments, l'acer obté millors resultats. Com que les diferències no son gaire significatives, la decisió dependrà de si es vol aconseguir un preu més baix (en aquest supòsit el material triat seria l'acer) o una reducció del pes del conjunt. Com, en principi, a falta de triar els motors, el pes no resulta un problema, es tria l'acer al carboni no aleat per tal de reduir els costos del braç robot.

Si en un altre projecte es requerís un pes inferior, el titani seria un material totalment viable, tot i que d'aquesta manera el preu del robot augmentaria considerablement.

6.3. Càlculs

6.3.1 Engranatges

Per tal de dotar de moviment les articulacions del braç robòtic i alhora reduir el parell que hauran de realitzar els motors, es tria dissenyar dos engranatges reductors epicicloïdals que van col·locats en cada una de les articulacions del robot.

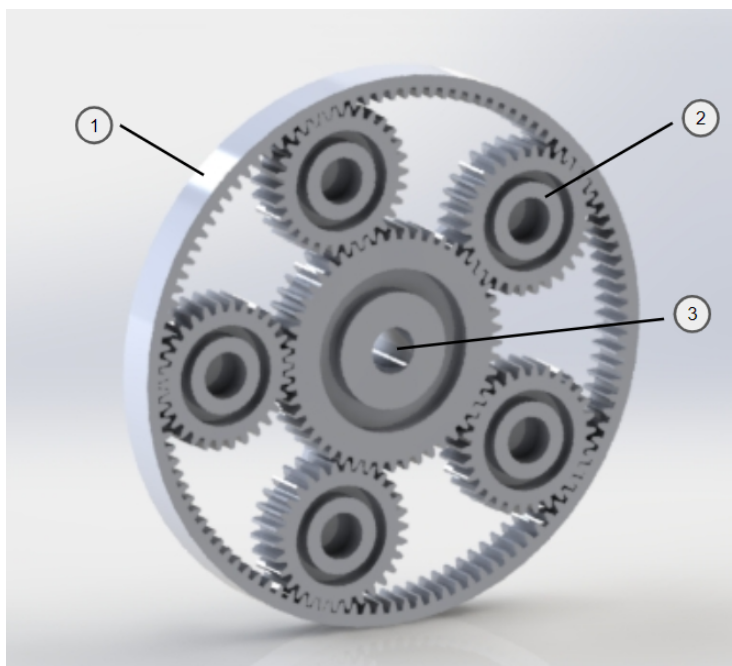


Figura 54. Disseny propi d'engranatge epicicloïdal [Font: Pròpia]

El engranatges epicicloïdals consten de 3 parts principals:

1. Corona
2. Satèl·lits
3. Planeta

Per tal de dissenyar el conjunt d'engranatges epicicloïdals, es definiran i calcularan els paràmetres principals de la corona, el planeta i els satèl·lits: Mòdul (M), pas (P), radi d'entalla (R_{entalla}), nombre de dents (Z), diàmetre primitiu (D_{prim}), diàmetre exterior (D_{ext}), diàmetre interior (D_{int}) i angle per cada dent (β).

Inicialment es defineix el mòdul ($M=2$) i el diàmetre primitiu dels engranatges en funció de les mides on aniran col·locats els engranatges al braç robot. Per a que funcioni correctament l'engranatge epicicloïdal ha de mantenir la següent relació:

$$D_{\text{prim}_{\text{corona}}} = D_{\text{prim}_{\text{planeta}}} + 2 \cdot D_{\text{prim}_{\text{satèl·lits}}} \quad (\text{Eq.1})$$

$$P = M \cdot \pi \quad (\text{Eq.2})$$

$$R_{\text{entalla}} = \pi \cdot M / 12 \quad (\text{Eq.3})$$

$$Z = D_{\text{prim}} / M \quad (\text{Eq.4})$$

$$D_{\text{ext}} = D_{\text{prim}} + (2 \cdot M) \quad (\text{Eq.5})$$

$$D_{\text{int}} = D_{\text{prim}} - (2,5 \cdot M) \quad (\text{Eq.6})$$

$$\beta = 360 / Z \quad (\text{Eq.7})$$

Els engranatges han estat dissenyats per a que ofereixin al motor una reducció del parell de forces que hauran de realitzar. Aquest factor de reducció es calcula de la següent forma:

$$i_r = 1 + Z_c / Z_p \quad (\text{Eq.8})$$

On Z_c i Z_p són el nombre de dents de la corona i del planeta del sistema d'engranatges.

Com que el mòdul és el mateix per tots els engranatges, el radi d'entalla i el pas també seran iguals. Aplicant les equacions 2 i 3 podem extreure els següents resultats:

$$P = 6,28 \text{ mm} \quad R_{\text{entalla}} = 0,52 \text{ mm}$$

Aplicant la resta d'equacions els paràmetres resultants són els següents:

Taula 7. Paràmetres d'engranatges [Font: Pròpia]

		Dprim (mm)	Dext (mm)	Dint (mm)	Z	β	i_r
Engranatge gran	Corona	220	224	215	110	3,3	3,2
	Satèl·lit	60	64	55	30	12	
	Planeta	100	104	95	50	7,2	
Engranatge petit	Corona	170	174	165	85	5,5	2,86
	Satèl·lit	50	54	45	25	14,4	
	Planeta	70	74	65	35	10,3	

6.3.2 Moments de força

Un cop triats el materials dels components i havent obtingut el seu pes, es pot calcular quins són els parells de forces que rebrà cada articulació del conjunt. Això resulta de vital importància per més endavant poder triar quin tipus de motor caldrà perquè pugui oferir suficient parell motor per moure el conjunt.

Taula 8. Pesos dels elements del conjunt [Font: Pròpia]

	Braç	Avantbraç	Canell	Pinces	Paquet
Massa en kg	288	199	56	92	30
Pes en N	2825	1952	549	902	294

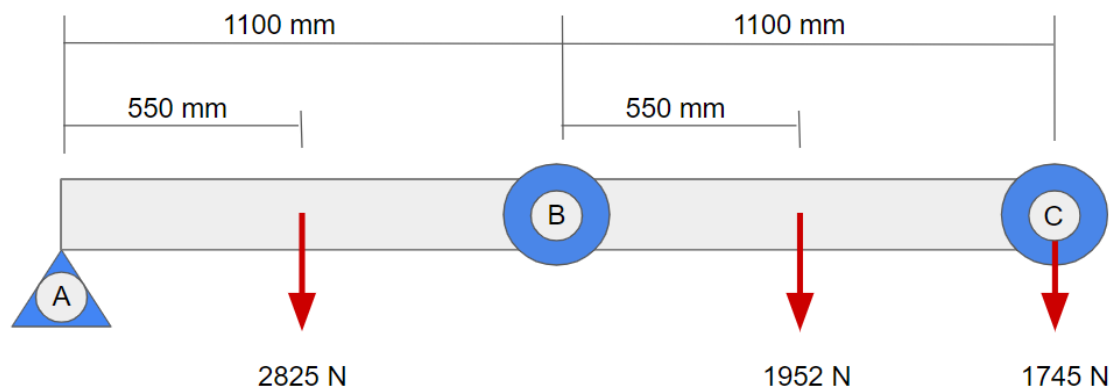


Figura 55. Estudi de moments de força del braç robòtic [Font: Pròpia]

Per calcular els moments de força s'han simplificat les forces per un total de 3 diferents. La força aplicada pel pes del braç (s'aplica a mitja distància del braç), la força aplicada pel pes de l'avantbraç (aplicada a mitja distància de l'avantbraç) i, per últim, la força que s'aplica al final de l'extensió (que és el sumatori del pes del canell, de la mà robòtica i del paquet que haurà d'aixecar el robot).

El punt A representa la unió de la base amb el braç, el punt B la unió del braç amb l'avantbraç i el punt C la unió de l'avantbraç amb el canell.

Per realitzar el càlcul de moments s'aplica la següent fórmula:

$$\sum M_x = 0$$

(Eq.9)

$$M_A = F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + F_3 \cdot d_3 \quad (\text{Eq.10})$$

$$M_A = 2825 \cdot 0,55 + 1952 \cdot 1,65 + 1745 \cdot 2,2 = \mathbf{8613,55 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

El parell de força resultant en l'articulació d'unió entre la base i el braç robòtic (punt A) és de 8613 N·m.

Per calcular els moments de força al punt B es fixa l'articulació per al punt B, deixant exclosa del càlcul la força aplicada pel braç, ja que el motor, per com esta colcat, no haurà de compensar aquella força. A continuació es torna a aplicar la Eq.9 però amb les distàncies corresponents:

$$M_B = F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 \quad (\text{Eq.10})$$

$$M_B = 1952 \cdot 0,55 + 1745 \cdot 1,1 = \mathbf{2993,1 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

El parell de força resultant a l'articulació entre el braç i l'avantbraç del robot (punt B) és de 2993,1 N·m.

Per últim, es calcula el moment de força resultant a la connexió entre l'avantbraç i el canell (punt C). Es tindrà en compte el pes de les pinces i del paquet aplicats a una distància mitja aproximada de 0,41 m. Es torna aplicar la eq.9 :

$$M_C = F_1 \cdot d_1 \quad (\text{Eq.11})$$

$$M_C = (902 + 294) \cdot 0,41 = \mathbf{490,36 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

6.3.3. Motors

Els motors que tindrà el braç robòtic seran elèctrics i hauran de ser capaços d'aplicar el parell motor suficient per vèncer els moments de força resultants de l'estructura. Amb els engranatges i moments de força calculats es pot extreure el valor resultant de parell motor que serà requerit a l'eix dels motors.

El parell que hauran de ser capaços d'oferir els motors s'obté dividint el moment de força a cada articulació on va un motor, entre el factor de reducció que aporten el conjunt d'engranatges d'aquell motor:

$$M_m = M_a / i_r \quad (\text{Eq.x})$$

On M_m i M_a són respectivament els moments de força a l'eix del motor i a les articulacions.

Aplicant l'anterior fórmula s'obtenen els següents resultats dels moments que hauran de realitzar els motors a les articulacions "A", "B" i "C". La resta del conjunt de motors poden ser de la mateixa potència que els de l'articulació "C" ja que requereixen un parell motor inferior (els punts A, B, C, estan determinats a la figura X del apartat 6.3.2).

Taula 9. Resultats de moments motors [Font: Pròpia]

	Motor A	Motor B	Motor C
Factor de reducció	3,2	3,2	2,86
Moment a l'articulació (N·m)	8613,55	2993,1	490,36
Parell motor (N·m)	2691	935,3	171,45

Pels motors del projecte, s'ha decidit no triar cap de concret, donat que la finalitat del projecte és realitzar el disseny mecànic, estudiant la viabilitat del mateix sense entrar en àrees tècniques que no pertanyen a la mecànica pròpiament. Per tant, es considera que el més òptim és oferir els valors de parell motor que hauran de poder oferir el motors, però sense triar-ne cap, ja que per a realitzar tal tasca de manera correcta caldria disposar de més coneixements dels quals no disposa l'autor del projecte.

Per tal de dur a terme el projecte de la manera més acurada possible, els motors que s'han incorporat al disseny 3D han estat basats en els motors que incorpora un dels robots que s'agafen de referència, el KR 40 PA de la marca KUKA. Aquest robot té característiques molt semblants al robot d'aquest projecte, per tant, uns motors similars als seus funcionarien perfectament.

Anàlisi de l'impacte ambiental

L'impacte ambiental és l'efecte generat sobre el medi ambient que pot alterar negativament el seu equilibri com a resultat d'una activitat humana. Els efectes que es poden observar més sovint són: la contaminació d'aire, la contaminació d'aigües, la contaminació del sòl, la generació de residus i la contaminació acústica entre d'altres.

És de vital importància per al futur del planeta mesurar, planificar i minimitzar qualsevol d'aquests efectes, sobretot aquells que poden ser irreversibles.

En el cas d'aquest projecte, el principal problema ambiental que genera és la fabricació de les seves peces. Això és degut al fet que majoria dels materials emprats generen un considerable impacte ambiental per diferents raons. Per sort, alguns d'aquests materials són fàcilment reciclables, alliberant així de residus permanents que a la llarga podrien ser un afer. En aquests casos, queda justificada la tria d'aquests materials per les seves bones propietats mecàniques, ja que són essencials per a la viabilitat del projecte. A més, per compensar els possibles efectes negatius, el robot ha de tenir una llarga vida útil, i així l'impacte és menor en proporció a les seves hores d'ús.

La contaminació que genera l'alumini és preocupant a causa de la seva generació de gasos d'efecte hivernacle al ser fabricat. El titani té una difícil extracció, ja que no es troba de manera natural al medi ambient i el diòxid de titani és altament contaminant. Pel que fa a l'acer, si no es produeix de manera correcta i conscient, pot generar molta degradació del sòl, l'aigua i l'aire. Centrant-se en els plàstics, s'ha vist que l'ús del petroli, necessari per a la seva fabricació, genera gasos d'efecte hivernacle. A més, en cas que els plàstics quedin al medi ambient sense ser reciclats són altament contaminants, ja que triguen molt a degradar-se.

Respecte al reciclatge d'aquests materials, l'alumini, l'acer i els plàstics, són fàcilment reciclables. No obstant això, reciclant-los també es genera contaminació, però val la pena poder donar una segona vida a part dels residus generats en comptes de generar-ne encara més. El titani és el més complicat de reciclar, tot i que a l'hora és dels menys utilitzats en aquest projecte.

Per a la transmissió de moviment s'ha triat motors elèctrics perquè tenen un mínim impacte ambiental. Els motors a evitar serien els que consumeixen combustibles fòssils, ja que aquests contaminen molt, tant en la seva extracció, com en el seu consum, generant gasos d'efecte hivernacle que impulsen el canvi climàtic.

Per evitar un major impacte ambiental és crucial que les empreses realitzin un bon manteniment del robot, allargant així la seva vida útil; d'aquesta manera s'aprofitaria al màxim l'impacte ambiental que ha generat la seva fabricació. També és important que una vegada finalitza la seva vida útil, les peces siguin enviades a reciclar a fi d'aprofitar els materials i evitar generar residus permanents.

Conclusions

Com a conclusió, es pot dir que amb el treball realitzat s'han complert els objectius inicials, s'ha après sobre els braços robòtics i s'ha dissenyat des de zero un braç robòtic amb una metodologia concreta per poder agafar i moure paquets en uns grans magatzems.

Per tal de dissenyar el braç de la manera més rigorosa possible, s'han anat estudiant punt per punt totes les peces per poder tenir un robot viable i útil. El programari de simulació d'estudis estàtics de SolidWorks ha estat molt rellevant per anar comprovant com afectaven les forces aplicades a les diferents peces, evitant així el nombre màxim de punts crítics. Gràcies a aquestes simulacions també s'ha pogut triar el material més adient pel robot, tenint en compte les seves propietats mecàniques, el seu pes i el seu cost. Resulta interessant veure com petits detalls del disseny, com pot ser un forat o una ranura, poden afectar de gran manera a les tensions que es generen dins de les peces.

El que ha resultat molt enriquidor ha estat haver de dissenyar les pinces amb les quals el robot agafa els paquets, ja que es pretenia que fossin diferents de les que es poden trobar al mercat, per així poder marcar una diferència clara amb la competència, tot dotant el robot de personalitat. A partir d'un disseny inicial molt senzill, es van anar trobant punts de disseny a millorar, fins a arribar al disseny final. Amb això, queda clar que per arribar al millor disseny la manera més adequada és analitzar el disseny diversos cops des del principi per anar trobant millores. Amb aquest procés iteratiu es podria continuar optimitzant el model.

En la realització del treball s'ha pogut comprovar que es requereixen molts passos i coneixements per desenvolupar correctament i de manera completa un braç robòtic per a l'àmbit industrial.

Personalment, el treball ha estat tot un repte, donat el baix coneixement dels que disposava sobre l'àmbit de la robòtica. A mesura que he anat avançant, he anat trobant petits inconvenients que m'han anat endarrerint i que m'han fet adonar d'altres aspectes que caldria haver dut a terme en el projecte per a fer-lo més complet.

Per un cantó, hauria estat interessant preparar l'automatització del mateix robot, o poder treballar conjuntament amb alguna empresa per poder veure la seva viabilitat real quant a fabricació de peces o costos. També hauria estat interessant treballar amb algun enginyer elèctric o electrònic per tal de complementar els coneixements de mecànica.

De totes maneres, donada la dificultat per la falta de coneixement i la complexitat de començar un projecte des de 0 sense l'ajuda de cap empresa, m'ha motivat a intentar profunditzar en aspectes més enfocats a la mecànica, buscant un disseny més complex i amb menys punts febles.

Bibliografia

- [1] Marketing. 2021. "Historia y Evolución de la Robótica Industrial". EDS Robotics. El 2 de febrer de 2021. <https://www.edsrobotics.com/blog/evolucion-robotica-industrial/>.
- [2] cyberne. 2013. "1937 - The Robot Gargantua - 'Bill' Griffith P. Taylor - (Australian/Canadian)". Cyberneticzoo.com. El 18 de febrer de 2013. <https://cyberneticzoo.com/robots/1937-the-robot-gargantua-bill-griffith-p-taylor-australiancanadian/>.
- [3] Castro, Ángela Andrea. 2020. "2,7 millones de robots industriales desplegados en fábricas de todo el mundo: IFR". Modern Machine Shop México. El 6 d'octubre de 2020. <https://www.mms-mexico.com/noticias/post/27-millones-de-robots-industriales-desplegados-en-fabricas-de-todo-el-mundo-ifr>.
- [4] "CP700L". 2022. Kawasaki Robotics. "川崎重工業ロボットディビジョン". El 14 de febrer de 2022. <https://kawasakirobotics.com/products-robots/cp700l/>.
- [5] Es, Mecalux. 2020. "El brazo robótico industrial toma impulso en el almacén". Mecalux.es (blog). Mecalux.es. El 3 de juliol de 2020. <https://www.mecalux.es/blog/brazo-robotico-industrial>.
- [6] Wingfield, Nick. 2017. "Amazon encuentra un equilibrio entre robots y empleados". The New York times. El 17 de setembre de 2017. <https://www.nytimes.com/es/2017/09/17/espanol/amazon-encuentra-un-equilibrio-entre-robots-y-empleados.html>.
- [7] Esneca. 2019. "Brazo Robótico: Qué es y en qué Industrias se utiliza?" Esneca. Esneca Business School. El 5 d'abril de 2019. <https://www.esneca.com/blog/brazo-robotico-industrias/>.
- [8] Esneca. 2022. "Brazo robot: tipos y funciones en la industria". Esneca. Esneca Business School. El 15 de febrer de 2022. <https://www.esneca.com/blog/que-es-brazo-robot/>.
- [9] RdR. 2020. "¿Qué es un brazo robótico industrial? Fabricantes y precio". REVISTA DE ROBOTS (blog). El 4 de febrer de 2020. <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/brazo-robotico-mecanico-industrial/>.

- [10] Marketing. 2020. "5 Tipos de Robots Industriales: características, clasificación y usos". EDS Robotics. El 14 de diciembre de 2020. <https://www.edsrobotics.com/blog/tipos-robots-industriales-usos/>.
- [11] "Robot humanoide de doble brazo Yaskawa CSDA10F - Robótica y automática - Robot humanoide de doble brazo". s/f. Interempresas.net. Data de publicació no especificada. <http://www.interempresas.net/Robotica/FeriaVirtual/Producto-Robot-humanoide-de-doble-brazo-Yaskawa-CSDA10F-122049.html>.
- [12] "Morfología". s/f. Mec.es. Data de publicació no especificada. http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/morfologia.htm.
- [13] "2.2. Estructura de los Robots: Robot de Configuración Cartesiana (PPP)". s/f. Udesantigovirtual.cl. Data de publicació no especificada. <http://www.udesantigovirtual.cl/moodle2/mod/book/view.php?id=24911>.
- [14] "5.4 Robots industriales". s/f. Mec.es. Data de publicació no especificada. http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm.
- [15] Salamanca, Ingrid. 2018. "Los 5 tipos de robots industriales más utilizados por las empresas". Bfmx.com. British Federal México. El 10 d'octubre de 2018. <https://bfmx.com/automatizacion/tipos-de-robots-industriales-mas-utilizados/>.
- [16] "Transmisiones de movimiento en el robot". s/f. Mec.es. Data de publicació no especificada. http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/transmisiones.htm.
- [17] "5.3 El sistema robótico". s/f. Mec.es. Data de publicació no especificada. http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.3.htm.
- [18] "Automatización robótica de procesos: ¿Qué es y qué beneficios aporta?" 2019. Up-spain.com. El 13 de juny de 2019. <https://www.up-spain.com/blog/que-es-automatizacion-robotica-procesos-beneficios/>.
- [19] "Medidas de palets: ¿cuáles son los estándares más extendidos?" 2018. Logismarket.es (blog). El 9 de gener de 2018. <https://blog.logismarket.es/medidas-palets-estandares-extendidos/>.
- [20] "Propiedades de aluminio". s/f. Asoc-aluminio.es. Data de publicació no especificada. <https://www.asoc-aluminio.es/el-aluminio/propiedades-del-aluminio>.

- [21] Máxima Uriarte, Julia. "Acero". s/f. Características.Co. Última edició el 6 de setembre. <https://www.caracteristicas.co/acero/>.
- [22] "Titanio". 2019. ConceptoABC (blog). El 5 de novembre de 2019. <https://conceptoabc.com/titanio/>.
- [23] Barta, Carlos. 2017. "Fibra de carbono: Información, estructura y propiedades". CarboSystem. El 15 de juny de 2017. <https://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>.
- [24] "Conoce 7 tipos de plásticos que se usan en la industria". 2021. Rimoplásticas (blog). El 27 de maig de 2021. <https://rimoplasticas.com/blog/tipos-de-plasticos>.
- [25] "Universal Robots UR10e". 2020. Ripipsa Cobots. RIPIPSA. El 27 de febrer de 2020. <https://ripipsacobots.com/universal-robots-ur10e/>.
- [26] "KR 40 PA". 2018. KUKA AG. El 28 de març de 2018. <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/kr-40-pa>.
- [27] Connor, Nick. 2021. "Fibra de Carbono". Material Properties. El 29 de juny de 2021. <https://material-properties.org/es/fibra-de-carbono-densidad-resistencia-punto-de-fusion/>.
- [28] Zarabozo, Víctor. 2022. "Fórmulas Para Fabricar Engranajes". Formacionmecanizado.com. Formación Mecanizado. El 13 de gener de 2022. <https://formacionmecanizado.com/formulas-engranajes/>.
- [29] Wikipedia contributors. s/f. "Engranaje planetario". Wikipedia, The Free Encyclopedia. Editada per última vegada el 11 de maig de 2020. https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje_planetario.
- [30] Movicontrol. 2018. "Pinzas, grippers, manipuladores y robots industriales". Movicontrol. El 29 d'agost de 2018. <https://movicontrol.es/pinzas-y-garras-para-robot/>.
- [31] Tecnología, Innovación y. 2020. "Pinzas y gripper para robots industriales". Innovación y Tecnología. El 17 d'octubre de 2020. <https://www.innovacion-tecnologia.com/robotica/pinzas-y-gripper-para-robots-industriales/>.

Índex de figures

Figura 1. Braç robòtic Gargantua per Bill Taylor, 1937 [Font:2]	3
Figura 2. Robot paletitzador CP700L KAWASAKI [Font: 4]	4
Figura 3. Robot Amazon per moure contenidors [Font: 6]	5
Figura 4. Robot cartesià [Font: 13]	7
Figura 5. Robot cilíndric [Font: 12]	8
Figura 6. Robot esfèric / polar [Font: 12]	8
Figura 7. Robot SCARA [Font: 12]	9
Figura 8. Robot articulat de 6 eixos [Font: 14]	9
Figura 9. Robot industrial cíclic [Font: 15]	10
Figura 10. Robot de doble braç Yaskawa [Font: 11]	10
Figura 11. Sensors Reed de proximitat (esquerra) i tàctils (dreta) [Font: 17]	14
Figura 12. Exemples de pinces per a braços robòtics [Font: 31]	12
Figura 13. Sensors Reed de proximitat (esquerra) i tàctils (dreta) [Font: 25]	20
Figura 14. Robot industrial per a paletitzar KR 40 PA [Font: 26]	20
Figura 15. Primers croquis de disseny [Font: Pròpia]	21
Figura 16. Classificació de paquets en cintes transportadores [Font: Pròpia]	22
Figura 17. Classificació de paquets en cintes transportadores i palets [Font: Pròpia]	22
Figura 18. Classificació amb més d'un braç robòtic [Font: Pròpia]	23
Figura 19. Palet Europeu o Europalet [Font: 19]	24
Figura 20. Abast del braç robòtic [Font: Pròpia]	25
Figura 21. Esbós inicial de l'estructura del robot [Font: Pròpia]	27
Figura 22. Disseny complet del braç robòtic [Font: Pròpia]	28
Figura 23. Base fixe i base rotatòria [Font: Pròpia]	29
Figura 24. Estudi estàtic per millorar punts crítics [Font: Pròpia]	30
Figura 25. Vista del braç i avantbraç del robot [Font: Pròpia]	31
Figura 26. Vista del canell explosionat [Font: Pròpia]	31
Figura 27. Explosionat de la mà robòtica [Font: Pròpia]	32
Figura 28. Vista inferior de la mà robòtica [Font: Pròpia]	33
Figura 29. Vista detall engranatges de la mà robòtica [Font: Pròpia]	34
Figura 30. Distribució de forces a la mà robòtica [Font: Pròpia]	35
Figura 31. Malla generada de la mà robòtica [Font: Pròpia]	36
Figura 32. Tensió de Von Mises mà robòtica (Alumini) [Font: Pròpia]	37
Figura 33. Desplaçament mà robòtica (Alumini) [Font: Pròpia]	37
Figura 34. Deformació unitaria mà robòtica (Material: Alumini) [Font: Pròpia]	38
Figura 35. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Acer) [Font: Pròpia]	39
Figura 36. Desplaçaments mà robòtica (Material: Acer) [Font: Pròpia]	39
Figura 37. Deformació unitaria mà robòtica (Material: Acer) [Font: Pròpia]	40
Figura 38. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Fibra) [Font: Pròpia]	41
Figura 39. Desplaçaments mà robòtica (Material: Fibra) [Font: Pròpia]	41
Figura 40. Deformació unitaria mà robòtica (Material: Fibra) [Font: Pròpia]	42

Figura 41. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Titani) [Font: Pròpia]	43
Figura 42. Desplaçaments mà robòtica (Material: Titani) [Font: Pròpia]	43
Figura 43. Deformació unitària mà robòtica (Material: Titani) [Font: Pròpia]	44
Figura 44. Tensió de Von Mises mà robòtica (Material: Alumini i Titani) [Font: Pròpia]	45
Figura 45. Desplaçaments mà robòtica (Material: Alumini i Titani) [Font: Pròpia]	46
Figura 46. Deformació unitària mà robòtica (Material: Alumini i Titani) [Font: Pròpia]	46
Figura 47. Malla generada del braç robòtic [Font: Pròpia]	47
Figura 48. Tensió de Von Mises braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]	48
Figura 49. Desplaçament braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]	48
Figura 50. Deformació unitària braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]	49
Figura 51. Tensió de Von Mises braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]	49
Figura 52. Desplaçament braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]	50
Figura 53. Deformació unitària braç robòtic (Acer) [Font: Pròpia]	50
Figura 54. Disseny propi d'engranatge epicicloidal [Font: Pròpia]	52
Figura 55. Estudi de moments de força del braç robòtic [Font: Pròpia]	54

Índex de taules

Taula 1. Sistemes de transmissió per a robots [Font: 16]	12
Taula 2. Característiques dels reductors per robòtica [Font: 16]	13
Taula 3. Principals sensors utilitzats en robòtica [Font: 17]	14
Taula 4. Resum comparatiu dels actuadors més utilitzats en robòtica [Font: 17]	16
Taula 5. Resultats estudi estàtic pinces [Font: Pròpia]	44
Taula 6. Resultats estudi estàtic braç robòtic [Font: Pròpia]	51
Taula 7. Paràmetres d'engranatges [Font: Pròpia]	53
Taula 8. Pesos dels elements del conjunt [Font: Pròpia]	54
Taula 9. Resultats de moments motors [Font: Pròpia]	56