



Centros universitarios adscritos a la



Grau en Enginyeria Mecànica

DISSENY D'UN UTILLATGE IOT MITJANÇANT FABRICACIÓ ADDITIVA

Memòria

Adrià Rigola
PONENT: Sergio Morales

CURS 2021 - 2022



Resum

Aquest document és la memòria final del treball de fi de grau (TFG) pel grau d'Enginyeria Mecànica i també pel TFG d'Enginyeria Electrònica, cursat al TecnoCampus de Mataró.

El projecte consisteix en el disseny d'un utillatge IoT, per ser implementat en un braç robòtic amb l'objectiu de manipular peces que surten d'un motlle d'injecció de plàstic. Cal comentar que es tracta d'un projecte que consta de dues parts, una part corresponent al grau Mecànic i un altre al grau Electrònic. D'aquesta manera, com que es tracta d'un mateix projecte separat en dues parts, hi ha parts comunes.

En aquest document primerament es realitzarà una breu introducció, i es contextualitzarà el treball amb el marc teòric, on la Indústria 4.0 predomina. Seguit de l'exposició de la tasca a fer, identificant els requisits funcionals.

A partir d'aquest punt començarà el cos del document on es desenvoluparà el disseny de l'utillatge, passant per les diferents fases de simulacions, correccions i millores, fins a arribar a un model final.

Seguidament, hi haurà una sèrie d'apartats tractant aspectes genèrics del projecte, entre els quals s'inclouen el pressupost i organització del treball.

Per tancar el document, es farà una valoració final de projecte amb les conclusions i es tractaran els aspectes a millorar de cara al futur.

Resumen

Este documento es la memoria intermedia del trabajo de fin de grado (TFG) para el grado de Ingeniería Mecánica y también para el TFG de Ingeniería Electrónica, cursado en el TecnoCampus de Mataró.

El proyecto consiste en el diseño de un utillaje IoT, para su implementación en un brazo robótico, con el objetivo de manipular piezas que salen de un molde de inyección de plástico. Es necesario comentar que se trata de un proyecto que consta de dos partes, una parte correspondiente al grado Mecánico y otro al grado Electrónico. Sin embargo, al tratarse de un mismo proyecto separado en dos partes, hay partes comunes.

En este documento primeramente se realizará una breve introducción, contextualizando el trabajo con el marco teórico, donde la Industria 4.0 es predominante, seguido de la exposición de la tarea a realizar, identificando los requisitos funcionales.

A partir de este punto empezará el cuerpo del documento donde se desarrollará el diseño del utillaje, pasando por las diferentes fases de simulación, corrección i mejoras, hasta llegar a un modelo final.

Seguidamente, habrá una serie de apartados tratando aspectos genéricos del proyecto, entre los que se incluyen el presupuesto y la organización del trabajo.

Para cerrar el documento, se realizará una valoración final de proyecto con las conclusiones y se tratarán los aspectos a mejorar de cara al futuro.

Abstract

This document is the intermediate memory of the Final Degree Project (FDP) for the Mechanical Engineering degree and for the Electronic Engineering FDP, studied at the TecnoCampus University in Mataró.

The project consists in the design of an IoT tool, for its implementation in a robotic arm, with the aim of handling parts that come out of a plastic injection mold. It should be noticed that it is a project that consists of two parts, one part corresponding to the Mechanical degree and the other to the Electronic degree. However, being the same project separated into two parts, some of these will be common.

In this document, a brief introduction will first be made, contextualizing the work with the theoretical framework, where Industry 4.0 plays a key role. Followed by the exposition of the task to be conducted, identifying the functional requirements.

From this point forward, the body of the document will begin. In it, the design of the tooling will be developed, going through different simulation and improvement phases, until reaching a final model.

Next, there will be a series of sections dealing with generic aspects of the project, including the budget and the organization of the work.

Lastly, a final evaluation of the project will be conducted with the conclusions and the aspects to be improved for the future will be discussed.

Índex

1.	INTRODUCCIÓ.....	1
1.1	Motivació.....	1
1.2	Transferència de la tecnologia del TecnoCampus	2
1.3	Objectius	3
1.4	Abast	4
2.	MARC TEÒRIC.....	7
2.1	El context industrial.....	7
2.2	Indústria 4.0	8
2.3	Robòtica.....	9
2.4	IoT.....	11
2.5	Fabricació Additiva.....	12
2.5.1	Introducció a la fabricació Additiva	12
2.5.2	Avantatges clau de la FA.....	13
2.5.3	Comparació de costos de la FA	16
2.5.4	Tecnologies de FA.....	17
3.	TREBALL A REALITZAR.....	21
3.1	Punt de partida	21
3.2	Descripció de la tasca	23
3.3	Requisits funcionals.....	23
3.3.1	Detecció de peces	26
3.3.2	Control de qualitat	28
3.4	Metodologia.....	29
4.	SIMULACIONS I TENSIONS	31
4.1	Simulacions amb MEF.....	31
4.1.1	Mètode dels elements finits	31
4.1.2	MEF aplicat a l'anàlisi estructural.....	32

4.2	Tensió de Von Mises	36
5.	DISSENY DE L'UTILLATGE	37
5.1	Punt de partida	37
5.1.1	Requisits pel disseny	37
5.1.2	Primeres idees.....	39
5.1.3	Primera forma conceptual de l'estructura.....	40
5.2	Primer disseny.....	44
5.3	Segon disseny	47
5.4	Anàlisi estructural i simulacions	49
5.4.1	Primera simulació	50
5.4.2	Influència del gruix dels conductes	56
5.4.3	Segona simulació.....	62
5.4.4	Suport estructural addicional	67
5.5	Sistema de subjecció	73
5.6	Subjecció de la colada.....	78
6.	TECNOLOGIA I MATERIAL D'IMPRESSIÓ	83
6.1	Selecció de la tecnologia d'impressió.....	83
6.2	Selecció del material	86
7.	CANVIS A L'UTILLATGE	89
7.1	Subjecció amb ventoses	89
7.2	Gruix dels conductes.....	91
7.3	Optimització de la massa	92
7.4	Acoblament amb el braç robòtic	94
7.5	Suport pels sensors.....	95
7.6	Sistema de guia per cables	97
7.7	Simulació final.....	98
7.7.1	Forces en Z	100

7.7.2	Forces en Y	101
7.7.3	Forces en X.....	102
7.7.4	Resultats de la simulació final	104
7.8	Estat final de l'assemblatge	105
8.	COSTOS D'IMPRESSIÓ.....	109
9.	SOLUCIÓ ACTUAL.....	113
10.	PRESSUPOST.....	115
10.1	Costos dels materials	116
10.2	Costos de fabricació	117
10.3	Costos de mà d'obra.....	118
10.4	Llicències de software.....	118
10.5	Pressupost total.....	119
11.	INFORMACIÓ	121
11.1	Normatives	121
11.1.1	Seguretat	121
11.1.2	Normatives amb PLC	121
11.1.3	Normatives amb robots.....	121
11.1.4	Elements de fixació	122
11.1.5	Coixinets.....	122
11.1.6	Motlles	122
11.1.7	Materials	122
11.1.8	Fabricació Additiva	123
11.1.9	Comunicacions	123
11.2	Patents	124
12.	Impacte mediambiental.....	125
13.	Perspectiva de gènere	127
14.	ORGANITZACIÓ DEL TREBALL	129

IV

14.1	Planificació.....	129
14.2	Punts de control.....	134
14.3	Gestió d'Incidències i Riscos	136
14.4	Seguiment i control del projecte.....	137
14.4.1	Primer punt 21/02/2022	137
14.4.2	Segon punt 07/03/2022.....	137
14.4.3	Tercer punt 21/03/2022	137
14.4.4	Quart punt 04/04/2022.....	138
14.4.5	Cinquè punt 18/04/2022	138
14.4.6	Sisè punt 02/05/2022	138
14.4.7	Setè punt 16/05/2022	139
14.4.8	Vuitè punt 30/05/2022.....	139
15.	CONCLUSIONS I TREBALL DE FUTUR	141
15.1	Introducció	141
15.2	Conclusions	141
15.3	Treball de futur.....	142
	Bibliografia.....	143

Índex de Figures

Figura 2.1: Nivells d'industrialització. Font: [3].....	7
Figura 2.2: Tecnologies principals de la Indústria 4.0. Font: [9].	9
Figura 2.3: Tecnologies de fabricació. Font: [15].	12
Figura 2.4: Peça complexa envers peça simple. Font: [5].....	14
Figura 2.5: Comparativa de preus entre diferents alineadors dentals. Font: [15].	15
Figura 2.6: Fabricació Additiva aplicada a la cadena de valor d'un producte. Font: [15].	15
Figura 2.7: Cost unitari en funció de unitats produïdes. Font: [15].	16
Figura 2.8: Tecnologies de FA. Font: [17].....	17
Figura 3.1: Conjunt peces, colada, runners, porta. Font: [20].....	21
Figura 3.2: Conjunt tubs-colada a manipular. Font: Pròpia.	22
Figura 3.3: Detall d'un colze. Font: Pròpia.	22
Figura 3.4: Motllo d'injecció de plàstic. Font: Pròpia.	23
Figura 3.5: Bellows gripper. Font: [21]	24
Figura 3.6: Radial gripper. Font: [22]	24
Figura 3.7: Ventosa amb 1.5 convolucions. Font: [23].....	25
Figura 3.8: Tractament del senyal d'un sensor amb major voltatge. Font: Pròpia.	28
Figura 3.9: Diagrama metodologia. Font: Pròpia.....	30
Figura 13.1: Equacions globals de rigidesa. Font: [25]	33
Figura 13.2: Matriu de Rigidesa local amb coordenades locals. Font: [9].....	34
Figura 13.3: Matriu de Rigidesa local en coordenades globals. Font: [25]	34
Figura 13.4: Aplicant condicions de contorn. Font: [25]	35
Figura 13.5: Tensions en una simulació amb SW. Font: [15].....	36
Figura 4.1: Ancoratge pel robot. Font: Pròpia.	38
Figura 4.2: Disseny amb plaques. Font: [15].	39
Figura 4.3: Disseny amb conductes integrats. Font: [27].....	40
Figura 4.4: Bloc Massís per punt de partida, vista superior. Font: Pròpia.	41
Figura 4.5: Bloc Massís per punt de partida, vista inferior. Font: Pròpia.	41
Figura 4.6: Bloc massís, càrregues i subjeccions. Font: Pròpia.	42
Figura 4.7: Resultat simulació de topologia 40% de reducció de massa. Font: Pròpia.	43
Figura 4.8: Resultat simulació de topologia 60% de reducció de massa. Font: Pròpia.	44
Figura 4.9: Primer disseny. Font: Pròpia.....	44

Figura 4.10: Part inferior del primer disseny. Font: Pròpia.	45
Figura 4.11: Croquis guia. Font: Pròpia.	45
Figura 4.12: Primer disseny, comprovació. Font: Pròpia.	46
Figura 4.13: Primer disseny amb colada. Font: Pròpia.	46
Figura 4.14: Segon disseny. Font: Pròpia.	47
Figura 4.15: Segon disseny, segona comprovació. Font: Pròpia.	47
Figura 4.16: Segon disseny, vista inferior. Font: Pròpia.	48
Figura 4.17: Segon disseny amb colada. Font: Pròpia.	48
Figura 4.18: Posició de les càrregues i subjeccions. Font: Pròpia.	49
Figura 4.19: Mallat per les simulacions. Font: Pròpia.	50
Figura 4.20: Primera simulació per eix Z, tensions. Font: Pròpia.	51
Figura 4.21: Primera simulació per eix Z, factor de seguretat. Font: Pròpia.	52
Figura 4.22: Primera simulació per eix Z, deformacions. Font: Pròpia.	52
Figura 4.23: Posició vertical dels colzes i colada. Font: Pròpia.	53
Figura 4.24: Primera simulació, càrregues eix Y. Font: Pròpia.	54
Figura 4.25: Tensions primera simulació, càrregues eix Y. Font: Pròpia.	54
Figura 4.26: Deformacions primera simulació, càrregues eix Y. Font: Pròpia.	55
Figura 4.27: Configuració de forces per l'eix X. Font: Pròpia.	55
Figura 4.28: Tensions i deformacions primera simulació, càrregues eix X. Font: Pròpia.	56
Figura 4.29: Diagrama de tensions amb gruix gran. Font: Pròpia.	57
Figura 4.30: Diagrama de deformacions amb gruix gran. Font: Pròpia.	58
Figura 4.31: Diagrama de tensions amb gruix petit. Font: Pròpia.	59
Figura 4.32: Diagrama de deformacions amb gruix petit. Font: Pròpia.	60
Figura 4.33: Gràfica deformacions en funció del gruix. Font: Pròpia.	61
Figura 4.34: Gràfica tensions en funció del gruix. Font: Pròpia.	61
Figura 4.35: Colada i colzes simplificats. Font: Pròpia.	63
Figura 4.36: Configuració per la segona simulació. Font: Pròpia.	63
Figura 4.37: Tensions força eix Z, segona simulació. Font: Pròpia.	64
Figura 4.38: Deformacions força eix Z, segona simulació. Font: Pròpia.	64
Figura 4.39: Tensions força eix Y, segona simulació. Font: Pròpia.	65
Figura 4.40: Deformacions força eix Y, segona simulació. Font: Pròpia.	65
Figura 4.41: Tensions força eix X, segona simulació. Font: Pròpia.	66

Figura 4.42: Deformacions força eix X, segona simulació. Font: Pròpia	66
Figura 4.43: Punts amb major deformació. Font: Pròpia.	68
Figura 4.44: Suport rectangular central. Font: Pròpia.	68
Figura 4.45: Dos suports rectangulars laterals. Font: Pròpia.	69
Figura 4.46: Dos suports amb patró <i>honeycomb</i> . Font: Pròpia.	69
Figura 4.47: Biga encastada amb càrrega puntual. Font: Pròpia.	70
Figura 4.48: Suport rectangular horitzontal. Font: Pròpia.	71
Figura 4.49: Deformacions suport horitzontal. Font: Pròpia.	71
Figura 4.50: Deformacions suport vertical. Font: Pròpia.	71
Figura 4.51: Posició de subjecció amb pinces. Font: Pròpia.	74
Figura 4.52: Primera opció de ventosa. Font: [23].	75
Figura 4.53: Primera opció de ventosa, comparativa. Font: Pròpia.	75
Figura 4.54: Segona opció de ventosa. Font [23].	76
Figura 4.55: Segona opció de ventosa, comparativa. Font: Pròpia.	76
Figura 4.56: Tercera opció de ventosa. Font: [23].	77
Figura 4.57: Tercera opció de ventosa, comparativa. Font: Pròpia.	77
Figura 4.58: Sortint de la colada. Font: Pròpia.	78
Figura 4.59: Pinça per subjecció de la colada. Font: [28].	79
Figura 4.60: Esquema de la pinça. Font: [28].	79
Figura 4.61: Coixins de goma. Font: Pròpia.	80
Figura 4.62: Zona a l'utilitatge per la pinça. Font: Pròpia.	80
Figura 4.63: Assemblatge pinça. Font: Pròpia.	81
Figura 4.64: Assemblatge pinça, part posterior. Font: Pròpia.	81
Figura 4.65: <i>Push-in fitting</i> . Font: [29].	81
Figura 5.1: Arbre de decisions per tecnologia d'impressió. Font: [30].	83
Figura 5.2: <i>HP Fusion Jet 5200</i> . Font: [31].	85
Figura 6.1: Inscripcions a la zona de subjecció. Font: Pròpia.	89
Figura 6.2: Zones planes de la colada per la subjecció. Font: Pròpia.	90
Figura 6.3: Vista inferior amb els dos conductes addicionals. Font: Pròpia.	90
Figura 6.4: Vista posterior amb connexions per colada i colzes. Font: Pròpia.	91
Figura 6.5: Modificacions part superior de l'estructura. Font: Pròpia.	92
Figura 6.6: Zones per reduir la massa. Font: Pròpia.	93
Figura 6.7: Reducció de massa part inferior. Font: Pròpia.	93
Figura 6.8: Reducció de massa de la placa superior. Font: Pròpia.	94

Figura 6.9: Incisió a la part superior de l'utilatge. Font: Pròpia.....	95
Figura 6.10: Assemblatge de l'ancoratge del robot. Font: Pròpia.	95
Figura 6.11: Suports pels sensors. Font: Pròpia.	96
Figura 6.12: Suports amb els sensors. Font: Pròpia.	96
Figura 6.13: Guies pels cables. Font: Pròpia.....	97
Figura 6.14: Càrregues i subjeccions, simulació final. Font: Pròpia.....	98
Figura 6.15: Mallat fi per la simulació final. Font: Pròpia.....	99
Figura 6.16: Exemple de zones arrodonides (en vermell). Font: Pròpia.....	99
Figura 6.17: Simulació final, tensions força Z. Font: Pròpia.	100
Figura 6.18: Simulació final, deformacions força Z. Font: Pròpia.	100
Figura 6.19: Simulació final, configuració amb forces Y. Font: Pròpia.	101
Figura 6.20: Simulació final, tensions força Y. Font: Pròpia.....	101
Figura 6.21: Simulació final, deformacions força Y. Font: Pròpia.	102
Figura 6.22: Simulació final, configuració amb forces X. Font: Pròpia.	102
Figura 6.23: Simulació final, tensions força X. Font: Pròpia.....	103
Figura 6.24: Simulació final, deformacions força X. Font: Pròpia.	103
Figura 6.25: Render global de l'assemblatge. Font: Pròpia.....	105
Figura 6.26: Render, vista lateral de detall. Font: Pròpia.....	106
Figura 6.27: Render, vista frontal de detall. Font: Pròpia.	106
Figura 6.28: Render, vista posterior de detall. Font: Pròpia.	107
Figura 8.1: Solució actual al sistema de subjecció. Font: Pròpia.	113
Figura 8.2: Pines de subjecció de la colada. Font: Pròpia.	113
Figura 14.1: Diagrama de Gantt activitats principals. Font: Pròpia.....	130
Figura 14.2: Gantt total. Font: Pròpia.	133
Figura 14.3: Calendari amb punts de control. Font: Pròpia.	135

Índex de Taules

Taula 5.1: Resum resultats primera simulació. Font: Pròpia.	56
Taula 5.2: Resum simulacions per gruixos. Font: Pròpia.....	61
Taula 5.3: Resultats, comparació segona simulació i primera. Font: Pròpia.	66
Taula 5.4: Resultats simulacions suports addicionals. Font: Pròpia.	72
Taula 6.1: Propietats PA 12 per SLS o MJF. Font: [32], [33].....	87
Taula 7.1: Resultats simulació final. Font: Pròpia.	104
Taula 8.1: Costos d'impressió. Font: Pròpia.....	110
Taula 8.2: Càlcul de costos. Font: Pròpia.....	111
Taula 10.1: Costos dels materials de la part mecànica. Font: Pròpia.	116
Taula 10.2: Costos materials de la part electrònica. Font: Pròpia.	117
Taula 10.3: Costos de fabricació. Font: Pròpia.	117
Taula 10.4: Costos de mà d'obra. Font: Pròpia.....	118
Taula 10.5: Llicències de software. Font: Pròpia.	118
Taula 10.6: Pressupost total. Font: Pròpia.....	119
Taula 14.1: Durada de les activitats. Font: Pròpia.....	129
Taula 14.2: Sub-activitats. Font: Pròpia.....	131
Taula 14.3: Criteri de freqüència de punts de control. Font: [65].	134
Taula 14.4: Punts de control. Font.: Pròpia.	134
Taula 14.5: Llistat de riscos i retard. Font: Pròpia.	136

Glossari de termes

2D	Dues dimensions
3D	Tres dimensions
ABS	Acrilonitril butadiè estirè
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
BJ	<i>Binder Jetting</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
CPS	<i>Cyber-physical System</i>
CPU	<i>Central processing unit</i>
DED	<i>Direct Energy Deposition</i>
ERP	<i>Enterpris Resource Planning</i>
FA	Fabricació Additiva
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
FDP	<i>Final Degree Project</i>
FDS	Factor de seguretat
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>
FEM	<i>Finite Element Method</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
JIT	<i>Just in time</i>
kg	Quilogram
MEF	Mètode dels Elements Finitis

XII

MJ *Material Jetting*

MJF *Multy Jet Fusion*

MPa Mega pascal

N Newtons

NPD *New Product Development*

PA Poliamida

Pa Pascal

PBF *Powder Bed Fusion*

PJ *Polyjet*

PLC *Programmable logic controller*

RFID *Radio Frequency Identification*

RM *Rapid Manufacturing*

RP *Rapid Prototyping*

RT *Rapid Tooling*

RTLS *Real-time locating System*

SW *Solid Works*

TFG Treball de fi de grau

TIC Tecnologies de la informació i de la comunicació

UV *Llum ultraviolada*

Wifi *Wireless Fidelity*

1. INTRODUCCIÓ

En aquest apartat s'introdueix el context en el que es situa el treball així com la motivació del mateix. Seguidament s'exposaran els objectius que es pretenen assolir ja siguin a nivell de desenvolupament del treball o a funcional de l'objecte a desenvolupar. Finalment s'acotarà el contingut i dimensions del treball definint l'abast d'aquest.

1.1 Motivació

La gran quantitat de desenvolupaments tecnològics succeïts durant els últims anys han impulsat la digitalització de la indústria. Tot això amb l'objectiu d'adaptar-se a les tendències marcades per la societat cap a models basats en la filosofia *Just In Time* (JIT), on la capacitat de generar sota demanda suposa un avantatge competitiu clau.

La Fabricació Additiva (FA), o impressió 3D, gràcies a la seva naturalesa que permet elaborar qualsevol geometria complexa i l'absència d'utilitatge, pot suplir de forma molt satisfactòria les característiques del mercat, on la personalització dels productes i la seva globalització tenen un pes molt significatiu.

És per això que aquest projecte encaixa a la perfecció dintre el marc industrial actual pel que fa a Indústria 4.0 es refereix. Addicionalment, ja que no només es tracta del disseny d'un producte qualsevol, sinó que aquest producte va destinat a ser implementat dintre d'una línia de fabricació, permet integrar una part de connectivitat i sensòria per tal de monitorar el correcte funcionament del component.

Addicionalment, el projecte tractat en aquest treball té com a finalitat, ser incorporat dintre d'un procés productiu real dintre de l'empresa Fluidra.

Fluidra és un grup multinacional, destinat al desenvolupament i fabricació d'aplicacions dintre del camp de la Piscina i *wellness*, d'ús residencial, comercial o públic. Opera a més de 45 països, amb més de 6.000 empleats i unes vendes globals amb valor de 1.488 milions d'euros. L'empresa porta 5 anys dedicats a la implementació de la Fabricació Additiva i dos anys a la Indústria 4.0 [1].

Una de les parts més importants de l'empresa és el I+D i la Innovació. Degut això, implementar les tecnologies més eficients i punteres del moment és una de les prioritats per tal d'oferir una cartera de productes orientada a l'usuari, amb l'objectiu de fomentar el creixement i la cultura de l'empresa [1].

Fluidra consta d'una immensa cartera de productes, concretament, opera amb més de 20.000 codis de referència, de peces fabricades en 35 centres productius al voltant del món. Una de les tecnologies de fabricació més predominants dintre de l'empresa és la d'injecció de plàstic. Aquesta és un dels mètodes més comuns a causa del baix preu que suposa la producció de peces de plàstic en quantitats molt grans. Un dels principals problemes d'aquesta tecnologia és la dificultat que suposa l'automatització del procés complet, ja que en produir les peces finals, normalment en grups de més d'una, aquestes van unides a una colada que s'ha de separar. A causa de la gran varietat de productes, és necessari dissenyar un utilitatge específic a cada tipus de peça, per tal que un braç robòtic sigui capaç d'extreure les peces del motlle i manipular-les [2].

Per aquestes raons es pretén realitzar un disseny i implementació d'un utilitatge perquè compleixi amb unes necessitats i requeriments dintre del procés de producció d'una peça en concret.

1.2 Transferència de la tecnologia del TecnoCampus

A causa d'un dels temes principals que tracta aquest projecte, els coneixements i informació adquirits a l'assignatura de Fabricació additiva jugaran un paper clau a l'hora de fer el treball. S'aplicaran especialment a l'hora de determinar les tecnologies d'impressió 3D més adequades o el material a utilitzar, així com per fer un correcte disseny de l'utilitatge per a ser fabricat mitjançant tècniques de fabricació additiva.

També seran importants els coneixements obtinguts en l'assignatura de Modelització i Simulació, ja que per tal d'optimitzar i determinar l'estructura de l'utilitatge serà necessari realitzar simulacions.

Paral·lelament, l'assignatura de resistència d'Enginyeria de Materials és molt útil a l'hora d'identificar i comprendre els diferents materials a utilitzar per a l'elaboració de l'estructura de l'utilitatge.

Metrologia i Control de qualitat aportarà informació d'importància a l'hora de dissenyar el procés de control de qualitat i com gestionar de la millor forma possible les dades obtingues.

L'assignatura d'Organització de l'Empresa en la Indústria 4.0, permet posar en context el treball dintre del món de la Indústria 4.0 aportant molta informació sobre la matèria i com s'estructuren les empreses de cara al futur.

Tant Màquines i Mecanismes 2 com Disseny de Màquines aportaran informació útil en cas que sigui necessària la implantació de parts mòbils o de motlles, cargols, entre d'altres..

Instrumentació és important, ja que permet identificar i comprendre els diferents sensors que hi ha disponibles, de manera que la tria que es realitzi sigui la més adequada per al cas en concret. Alhora també permet tractar el sensor escollit..

L'assignatura de Microprocessadors serà útil a l'hora de tractar amb la placa que gestionarà el sistema de detecció de peces, facilitant la comprensió i obtenció d'informació per fer que funcioni de forma correcta.

De la mateixa manera, les assignatures d'Electrònica analògica seran importants per tal de poder comprendre i tractar amb els circuits que caldrà dissenyar per realitzar, tant com el sistema de detecció, com, potser, el de control de qualitat.

Les assignatures d'Automatització i de robòtica tindran un pes important a l'hora de comprendre el funcionament dels PLC així com el del robot sobre el qual s'implantarà l'utilatge. Al mateix temps faciliten la comprensió de processos automatitzats.

Finalment, tant Gestió de Projectes 1 com 2 són de vital importància, ja que permeten organitzar i tractar amb projectes com el present, i més endavant el treball complet.

1.3 Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball és el de dissenyar i fabricar un utilatge IoT mitjançant tecnologia de fabricació additiva, amb la intenció de ser aplicat a la indústria d'injecció de plàstic. Aquest utilatge ha de ser capaç d'agafar un conjunt de peces de plàstic així com la seva colada, manipular aquestes peces de forma que les pugui moure amb seguretat, i finalment ser capaç d'identificar i detectar l'absència dels diferents elements manipulats de forma individual. De forma addicional, es pretén realitzar un control de qualitat in situ per tal de descartar, de forma directa, les peces que no compleixen amb uns requeriments determinats.

L'utilatge que es dissenya en aquest treball s'orientarà a ser fabricat mitjançant tècniques de fabricació additiva. És per això que s'ha de realitzar una anàlisi de l'estat de l'art per tal de determinar les tècniques de fabricació additiva que s'adaptin millor a aquest tipus de component i a la seva aplicació, així com l'estudi dels diferents materials a utilitzar per a la seva construcció.

Aleshores els objectius d'aquest treball van dirigits en la direcció del desenvolupament de l'esmentat utilitatge, és per això que hi ha un objectiu principal que seria el desenvolupament de l'utilitatge en sí, que per tal d'assolir-lo serà necessari complir un seguit d'objectius secundaris.

Aleshores els objectius es llisten a continuació:

- Dissenyar un utilitatge per la manipulació de peces de plàstic.
- Facilitar l'extracció de les peces tractades en aquest treball d'un motlle de plàstic.
- Agilitzar la manipulació de peces, concretament, les tractades en aquest treball.
- Determinar el material més adequat perquè l'utilitatge sigui fabricat mitjançant fabricació additiva.
- Determinar la tecnologia additiva més adequada per fabricar l'utilitatge mitjançant fabricació additiva.
- Optimitzar l'estructura mitjançant simulacions.

1.4 Abast

Aquest projecte, com ja s'ha comentat té com a objectiu principal el disseny d'un utilitatge amb capacitat de detecció de peces. Per això es dissenyarà, prototiparà i, posteriorment, implementarà el disseny desenvolupat en aquest treball.

Aleshores serà necessari realitzar el disseny de l'utilitatge segons els requeriments especificats per l'aplicació a la que es veurà sotmès. Simulació i anàlisi estructural seran necessaris per garantir el correcte funcionament. Determinar el material més adequat per un correcte desenvolupament, així com la tècnica de fabricació més adient.

Pel que a la part electrònica es refereix, es determinaran els sensors que compleixin millor amb la funció requerida pel component, un microcontrolador que sigui adequat en quant a connectivitat i capacitat per treballar en un entorn industrial, i també la programació i configuració dels esmentats components perquè desenvolupin la tasca de forma correcte.

Addicionalment, es tractarà la possibilitat d'implementar un sistema de control de qualitat per tal de determinar el correcte funcionament de la línia de producció. D'aquesta manera es realitza una detecció d'errors de forma automatitzada i instantània, cosa que pot suposar un gran estalvi de temps i reducció de costos.

El control de qualitat s'enfocarà en el desenvolupament d'un sistema per la verificació de mida, però no s'entrarà en cap aspecte probabilístic o estadístic amb les dades obtingudes.

En el treball en cap cas es tractarà el disseny del braç robòtic sobre el qual s'implementa l'utilatge, ni tampoc la programació o aspectes relacionats amb la funcionalitat del mateix.

2. MARC TEÒRIC

En aquest apartat es realitzarà una revisió dels antecedents teòrics que tenen rellevància dintre de l'objecte tractat en aquest treball. Es començarà amb una breu introducció sobre les diferents etapes d'industrialització. Seguirà una explicació sobre l'etapa actual, la Indústria 4.0 i la robòtica. Finalment, s'acaba tractant la part més rellevant per la part mecànica aquest projecte, la Fabricació Additiva, on es comentarà la importància que té en el món actual de la indústria, així com el canvi de paradigma que suposa respecte als mètodes de fabricació convencionals. Paral·lelament, s'estudiarà de forma breu la part més rellevant dintre de la modalitat d'electrònica, l'Internet de les coses o IoT (*Internet of Things*).

2.1 El context industrial

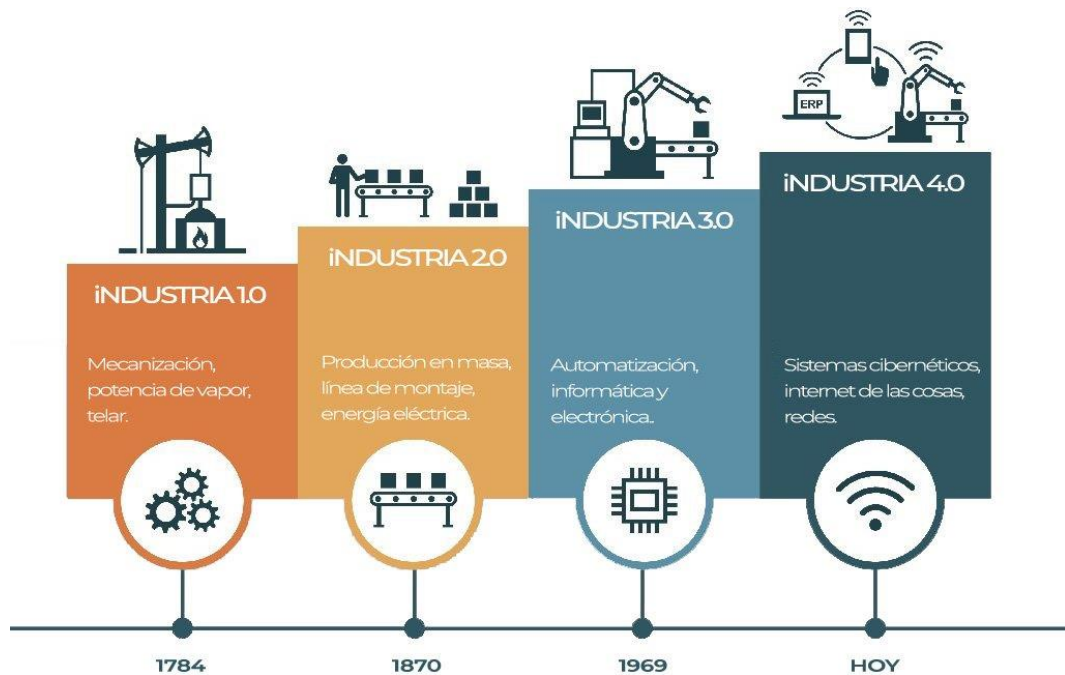


Figura 2.1: Nivells d'industrialització. Font: [3].

Al llarg de tota la història, l'ésser humà ha adquirit els recursos naturals i, mitjançant enginy i energia els ha transformat en béns amb una utilitat i propòsit determinats. Ara bé, aquests béns estaven només a disposició d'aquelles persones més adinerades, a causa de la gran quantitat de temps i elevat cost que suposava crear un producte personalitzat, es tractaven de productes confeccionats artesanalment [4].

Més endavant, a mesura que es desenvolupa la tecnologia apareixien noves tècniques de confecció de productes. La màquina de vapor va suposar un canvi de paradigma, de producció artesana i costosa, a producció en massa amb preu reduït. És aleshores quan es produeix la industrialització, jugant un paper clau en l'economia per a la majoria de països. Més endavant, als Estats Units d'Amèrica, apareix l'energia elèctrica i la producció en sèrie cosa que la va situar com a primera potència mundial [5], i al Japó el mètode d'organització de la producció conegut com a *Lean Manufacturing* situant al país com a un dels líders mundials [6].

Actualment, a causa dels grans avenços tecnològics que s'han donat en els últims anys, la digitalització s'està començant a estendre al llarg d'una gran varietat d'àmbits, sigui la vida quotidiana, o un medi més industrial o professional. És a partir d'aquí on comença a implementar-se el terme d'Indústria 4.0 fent referència a fàbriques intel·ligents, on s'intenten implementar diverses tecnologies avançades, com potser el *Big Data* per analitzar volums massius de dades amb l'objectiu d'optimitzar processos, *Cloud Computing*, facilitant la gestió de dades de forma remota. O també més enfocats directament a la indústria com, sistemes de disseny assistit per ordinador o CAD (*Computer Aided Design*) o fabricació assistida per ordinador o CAM (*Computer Aided Manufacturing*), i també sistemes per l'automatització i administració de processos com l'ERP (*Enterprise Resource Planning*) [7].

2.2 Indústria 4.0

La Indústria 4.0 és un moviment tecnològic que es basa en l'automatització intel·ligent, enfocat principalment, com el seu nom indica, a la indústria. Aleshores el que es busca és una cooperació intel·ligent i controlada entre sistemes cibernètics i sistemes físics, donant nom als sistemes ciber-físics (CPS, *cyber-physical System*) o *Embedded Systems*, amb l'objectiu de transformar i crear les conegudes *smart factories*. Aquests CPS tenen dos requisits funcionals essencials, el primer és ser capaç de proporcionar processament de dades en temps real per part de la infraestructura física i a la vegada una resposta adequada per part de la infraestructura digital. El segon consisteix en el processament intel·ligent, correcta presa de decisions i capacitat computacional per suportar el sistema físic. D'aquesta manera els CPS mitjançant tecnologies de Localització en Temps Real (RTLS, *Real Time Location System*), sensors, actuadors,

controladors, i una elevada connectivitat són capaços de complir amb els requeriments per a realitzar la hibridació dels mons físic i digital [8].

Aquesta quarta revolució industrial no es queda només en el procés mecànic de la manufactura de productes, sinó que va més enllà i abasta tota la producció i la cadena de subministrament o *supply chain* [9]. És per això que el desenvolupament de la Indústria 4.0 proposa focalitzar la innovació industrial seguint la fabricació sostenible, fabricació intel·ligent mitjançant el suport d'eines TIC, fabricació d'alt rendiment i explotació de nous materials [10].

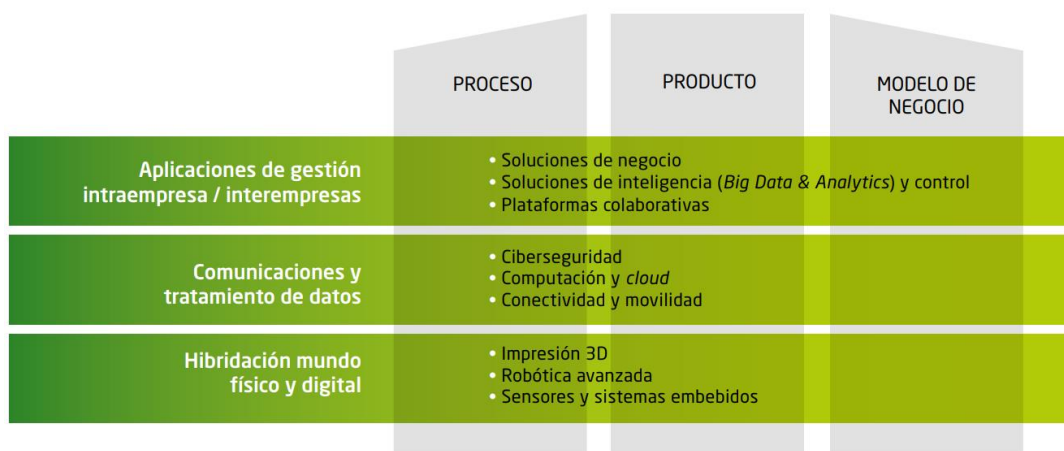


Figura 2.2: Tecnologies principals de la Indústria 4.0. Font: [9].

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, la integració de tecnologies com el *Big Data*, *Cloud Computing*, i també, de forma molt important, l'IoT formen part de la base en la qual se sustenta la Indústria 4.0, encara que totes aquestes tecnologies formen part del món cibernètic. D'aquesta manera, la indústria requereix una part física per tal de poder fer front a la seva funció principal, la fabricació de productes. Per tant, el món físic dintre la Indústria 4.0 estaria principalment format per Robots Autònoms, i sistemes de Fabricació Additiva [11].

2.3 Robòtica

La fabricació de béns ha arribat a tal punt on la implementació d'una planta de producció automatitzada suposa una gran quantitat de beneficis respecte a un sistema de producció basat en mà d'obra humana. Aleshores es pot determinar que els treballadors humans han arribat a un punt on, per si sols, es poden considerar obsolets i inefectius, ja sigui degut a les capacitats físiques a l'hora de desenvolupar tasques repetitives i de precisió, velocitat o costos, entre d'altres.

Al realitzar la automatització d'una fàbrica la robotització d'aquesta juga un paper principal. Els robots permeten obtenir una producció molt més precisa i ràpida, sense tenir que preocupar-se de elements com la fatiga o lesions dintre del lloc de treball. No obstant això, un robot és una màquina que manca d'intel·ligència i necessita ser regulada per humans, així que la forma més eficient amb que es pot desenvolupar la manufactura és mitjançant la col·laboració entre humans i robots [12].

Fins a l'actualitat, la robòtica no involucrava predictibilitat del resultat de la tasca que desenvolupa un robot en temps real i tampoc controla, de manera autònoma, l'optimització del cost del procés. De la mateixa manera tampoc té en compte l'estat en què es troba la màquina com a part de manteniment autònom, i al mateix temps es tracta de màquines molt poc flexibles, capaces d'acomplir únicament la tasca per la qual han estat designades i programades. Molts d'aquests inconvenients van directament lligats amb la manca de coneixement i experiència amb el camp de la robòtica, ja que reprogramar un robot perquè compleixi una tasca diferent de la que va ser dissenyat suposa un repte, o fins i tot el perill que representa la interacció directa entre robot i humà [8].

Amb la Indústria 4.0 es pretén donar pas a la solució a gran part d'aquests problemes mitjançant la connexió entre els robots, el sistema físic, i el món cibernètic, gràcies a l'aparició d'*Embedded Systems* [8]. Amb l'addició de tecnologies per l'adquisició de dades com l'IoT, i pel tractament de dades com el *Big Data*, entre altres, s'obre la possibilitat que els robots, per si mateixos, puguin ser conscients de l'entorn que els envolta en temps real, i d'aquesta manera siguin capaços d'obtenir el punt de màxima eficiència mitjançant la col·laboració directa entre humans i robots, aquests s'han anomenat robots col·laboratius o cobots [12].

Addicionalment, mitjançant tècniques de fabricació com la Fabricació Additiva, es pot afegir un grau de flexibilitat als robots, que fins ara no ha estat a l'abast de la indústria. Una de les parts més essencials d'un braç robòtic, és l'utilitatge, ja que sense ell el robot no pot desenvolupar cap tasca. Normalment, un braç robòtic té la funció de moure, o transportar elements d'una cadena de producció o muntatge, i els utilitatges s'han de dissenyar específicament per ser capaços de manipular, de forma específica, el component sobre el qual actuen, cosa que limita molt la flexibilitat de la cadena de producció en la que es trobi. És per això que mitjançant la FA es pot arribar a

desenvolupar i fabricar de forma molt més ràpida i amb un preu molt més econòmic, una gran varietat d'utilitatges que permeten al braç robòtic ser utilitzat per a desenvolupar un gran nombre de tasques al llarg de la seva vida útil.

2.4 IoT

El canvi d'enfocament de tecnologies analògiques a digitals va suposar un canvi de paradigma de les comunicacions que va impulsar la tercera revolució industrial i la introducció d'aquesta revolució a un entorn més quotidià [13].

Paral·lelament, el desenvolupament en el camp de la sensòria, especialment amb tecnologies d'identificació per Radiofreqüència (RFID), es va facilitar l'obtenció de dades en temps real entre màquines. Gràcies a aquesta comunicació entre els dispositius, és possible obtenir grans quantitats d'informació per a ser analitzada, aquí és on va aparèixer l'Internet de les Coses (*Internet of Things* o IoT) [13].

Ara bé, això només va suposar l'inici de l'IoT, però a mesura que es desenvolupaven noves tecnologies, i la indústria seguia la tendència de la digitalització, van significar un canvi en mercat i van transformar les cadenes de subministrament donant nom a les conegudes *Supply chains*. Amb tot això, les indústries es van transformar, redissenyant els models de negoci, adaptant-se a la tendència dinàmica del mercat [8].

Però realment, com es podria definir un terme tan subjectiu com Internet de les coses, bé la Wikipedia defineix l'IoT com “The Internet of things (IoT) describes physical objects (or groups of such objects) that are embedded with sensors, processing ability, software, and other technologies that connect and exchange data with other devices and systems over the Internet or other communications networks [14]”. Aleshores es pot entendre que l'IoT consisteix en una interfície connectada entre ella mitjançant internet, en la qual, tota mena de dispositius, ja siguin ordinadors, cotxes, sensors, etc., són capaços d'intercanviar informació entre ells, tot això amb l'objectiu d'aportar valor a l'usuari i la companyia distribuïdora d'aquests productes.

Però realment, el que dona sentit a aquest intercanvi d'informació, és la possibilitat de recollir-la. És per això que els sensors juguen un paper essencial dintre de l'IoT. Són aquests el que realment s'encarreguen de crear el món digital i possibiliten l'obtenció automatitzada de dades, transformant el món físic en digital.

2.5 Fabricació Additiva

A continuació es realitzarà una breu introducció al concepte de la Fabricació Additiva i com encaixa dintre del marc industrial actual. El valor afegit que aporta a la cadena de valor d'un producte. La comparació de costos de tecnologies de fabricació tradicionals i finalment una descripció de les principals tecnologies i impressores presents al mercat.

2.5.1 Introducció a la fabricació Additiva

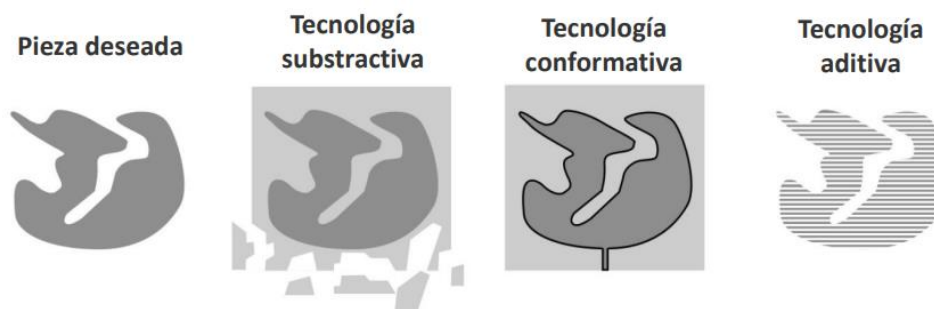


Figura 2.3: Tecnologies de fabricació. Font: [15].

La Fabricació Additiva (FA) o *Additive Manufacturing* (AM) és una tècnica de manufactura que consisteix en la construcció d'un producte mitjançant l'addició de capes sobre capes de matèria primera. Això es possible mitjançant una disposició molt precisa d'aquesta matèria [8].

Fins ara, les tècniques de conformat de materials més predominants a la indústria consistien en tècniques substractives, on se sostreu matèria d'un bloc d'un material determinat fins a formar la peça final, el fresat, tornejat, perforat, etc.; tècniques de conformat, on es deforma la matèria per donar-li una forma desitjada, laminació, extrusió, doblegat, etc.; o tècniques d'emmotllament, on mitjançant un motlle, s'injecta material fos i es deixa assecat formant l'element desitjat, injecció, cera perduda, sinteritzat, etc [16].

El principal inconvenient d'aquestes tècniques és que estan enfocades a una producció en massa, on el cost per unitat en la fabricació d'alts volums és extremadament baix. Addicionalment, per poder portar a terme aquestes tècniques de fabricació es necessita una gran quantitat d'eines i materials.

2.5.2 Avantatges clau de la FA

D'altra banda, la FA té un enfocament totalment diferent, on els utilitatges són inexistents i la possibilitat d'elaborar formes geomètriques molt complexes afavoreixen a la tendència actual del mercat, on la velocitat de resposta als canvis en la demanda, i la personalització, afegeixen un valor afegit suposant avantatges competitiu clau. Aleshores s'obre la possibilitat de crear sèries petites de prototips o d'elements personalitzats i complexos sense que suposi un increment en els costos [16]. De fet, en molts casos fins i tot pot suposar una reducció dels costos, per exemple, a la **Figura 2.4**, fabricar la torre buida és menys costosa que fabricar una forma senzilla però massissa com la moneda. Addicionalment, també possibilita materialitzar execucions tècnicament impossibles mitjançant qualsevol altra tecnologia de fabricació [5].

Les principals avantatges a l'hora de fabricar que diferencien a la FA són [5]:

- Productes més lleugers: gràcies a complexos geometries internes es possibilita realitzar una reducció de pes a peces típicament massisses.
- Productes multi material: Algunes tècniques de FA permeten aportar dos materials a la vegada de forma que es pot jugar amb les limitacions típiques de relació pes – resistència.
- Productes ergonòmics: Gràcies a la capacitat d'elaborar formes geomètriques complexes, els productes confeccionats es poden adaptar a qualsevol forma biomecànica, i gràcies a la flexibilitat que ofereix la FA es pot adaptar individualment.
- Mecanismes integrats en una peça: Gràcies a la possibilitat d'integrar dos materials simultàniament, es pot arribar a fabricar un mecanisme totalment adherit a la peça en la que ha de treballar. Per exemple fabricar un eix amb el seu coixinet.
- Nous nínxols de mercat: Aparició de nous models de negoci basats en aquestes tecnologies.



Figura 2.4: Peça complexa envers peça simple. Font: [5].

A la **Figura 2.5**, es pot observar una comparativa entre diferents alineadors dentals. Els primers dos són creats per la empresa *Smile Direct* mitjançant tècniques de fabricació additiva, i es comparen amb ferros tradicionals. Es pot observar com, tot i que es tracta d'un producte totalment personalitzat per a cada individu, la producció a gran escala d'aquests elements mitjançant FA suposa un estalvi econòmic considerable respecte el mètode d'alineació dental més tradicional i comú.

Aleshores les principals avantatges que ofereix la FA són [15]:

- *Time to Market* reduït.
- Elasticitat en la cadena de valor.
- Oportunitat de nous negocis.
- Juga a favor de la filosofia *Just in Time*.
- Disseny com a valor afegit.
- Sostenibilitat mediambiental.

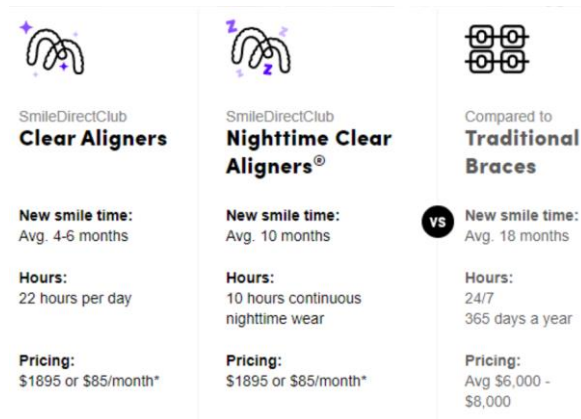


Figura 2.5: Comparativa de preus entre diferents alineadors dentals. Font: [15].

Paral·lelament, un dels punts on destaca més la FA, és que està present al llarg de la cadena de valor del producte. A la **Figura 2.6**, es mostren les diferents funcions que pot desenvolupar aquesta tecnologia començant per la conceptualització del producte, gràcies a la possibilitat de modelitzar els conceptes, fins a l'etapa d'*after sales*, on ofereix la possibilitat de fabricar recanvis i passar d'estocs físics a estocs virtuals.

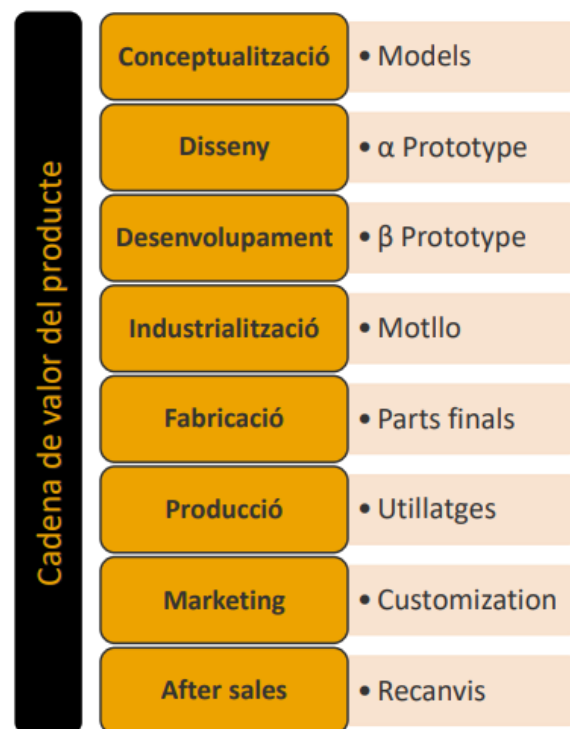


Figura 2.6: Fabricació Additiva aplicada a la cadena de valor d'un producte. Font: [15].

En funció de l'aplicació final que es destini el component fabricat amb FA es classifiquen en tres grups [15]:

- *Rapid Prototyping (RP)*: fabricació destinada al prototipatge, ja sigui destinada a la fase de disseny o desenvolupament del producte, amb l'objectiu de validar cada fase.
- *Rapid Manufacturing (RM)*: fabricació d'una part o peça final amb us funcional, generalment destinada a la comercialització, ha de acomplir les funcions per les quals va ser dissenyada i desenvolupada.
- *Rapid Tooling (RT)*: fabricació destinada a la creació d'utillatges, ja siguin motlles o utillatges per el posicionament.

Cal destacar que quan es parla de ràpid, és respecte el temps de fabricació, ja sigui d'una peça o un utillatge, d'una tècnica convencional [15].

2.5.3 Comparació de costos de la FA

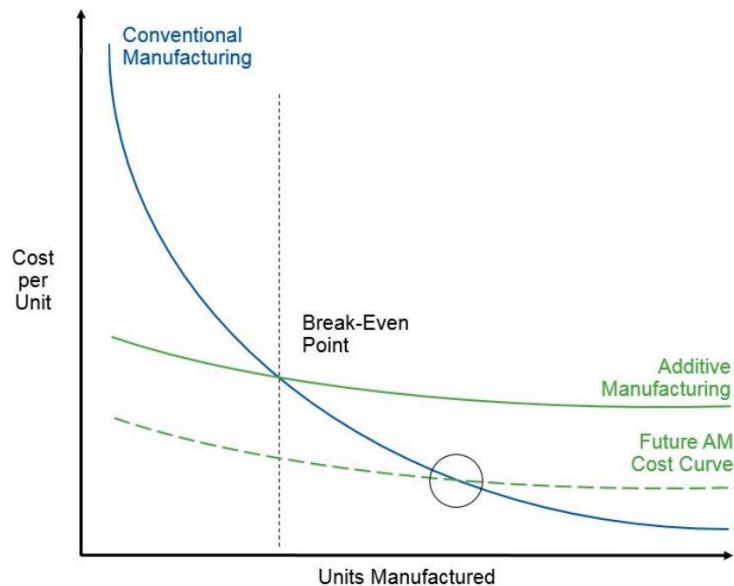


Figura 2.7: Cost unitari en funció de unitats produïdes. Font: [15].

Si es compara el cost de producció unitari en funció de la quantitat d'unitats produïdes, es pot observar a la **Figura 2.7**, com el cost per un volum baix d'unitats per les tecnologies convencionals és molt major que utilitzant FA. Principalment degut als costos de posada en marxa com pot ser la fabricació del motlle, o l'adquisició dels diferents utillatges necessaris per a realitzar la manufactura.

Aquesta diferència entre les corbes de costos de les tècniques convencionals en comparació amb la FA són principalment causades per [15]:

- Inversió inicial molt menor: no requereix motllos o programació de la CNC.

- Procés de desenvolupament de nous productes (NPD) molt més ràpid.
- Disseny iteratiu.

Aleshores es comprova com les tecnologies de manufactura convencionals estan clarament enfocades a la producció en massa d'un mateix component, i no és fins a un nombre determinat d'unitats produïdes o *Break-Even Point*, on aquestes tècniques convencionals són més cost eficient que la FA. Cal destacar que aquest punt, a mesura que es desenvolupa i perfecciona la tècnica, juga a favor de la FA, ja que es redueix el cost en general, cosa que el pot arribar a fer competitiu fins i tot amb volums elevats de peces.

Així i tot, no s'aplica a tots els tipus de peça per igual, i és necessari realitzar una correcta identificació de les peces més susceptibles a ser fabricades mitjançant tècniques additives. Les principals característiques a considerar són [15]:

- Peces de volum petit.
- Peces complexes.
- Peces amb nivell de demanda reduït.
- Peces personalitzades.
- Utilitatges.
- Peces de metall molt costoses.
- Productes amb incertesa en les vendes.

2.5.4 Tecnologies de FA

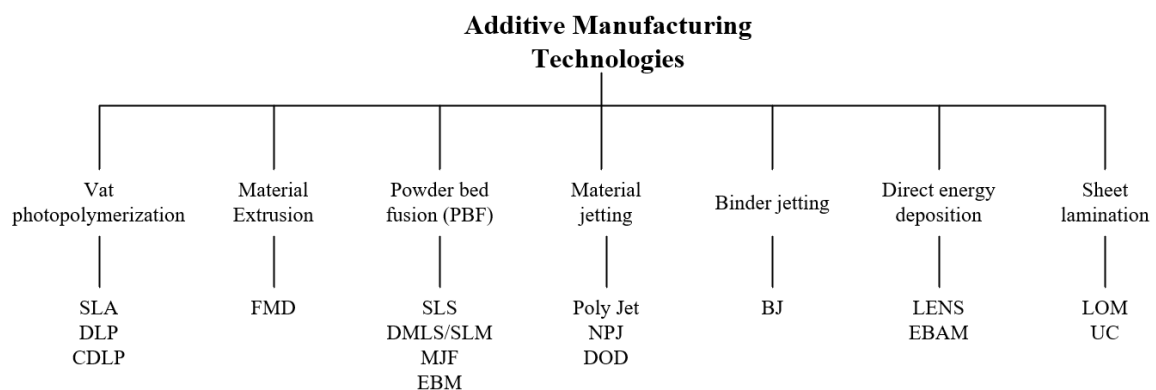


Figura 2.8: Tecnologies de FA. Font: [17].

Existeixen una gran varietat de tecnologies que apliquen el concepte de la FA i s'agrupen dintre d'un mateix grup de tecnologies de fabricació additiva. L'any 2015 es

va crear l'estàndard ISO/ASTM 52900:2015 [18], i actualment el ISO/ASTM 52900:2021 [19], que classifica els diferents mètodes d'impressió 3D mostrats a la **Figura 2.8.**

A continuació es realitza una breu descripció de cada tècnica [17]:

- 1 La tècnica de **fotopolimerització** (*vat photopolymerization*) consisteix en produir parts de la peça mitjançant una curació selectiva de resines fotopolimeritzables líquides amb llum, normalment ultraviolada (UV).
- 2 Amb l'**extrusió de material** (*Material Extrusion*) es produeixen parts mitjançant extrusions d'un filament termoplàstic fos. Aquest filament es va dipositant de forma contínua a ubicacions determinades on es refreda i solidifica, format l'element final.
- 3 La **fusió de llits en pols** (PBF de l'Anglès, *Powder bed fusion*) utilitza una font d'energia per fondre o sinteritzar partícules de pols i formar un objecte complet. Normalment, aquesta font d'energia es tracta d'un làser que es dirigeix a través de la superfície de pols, unint les partícules.
- 4 **Material Jetting** (MJ) actua d'una forma semblant a les impressores 2D, on, un capçal d'impressió dispensa gotes d'un material fotosensible. Aquest material se solidifica mitjançant llum UV, construint la peça capa per capa. Els materials utilitzats són foto polímers termoestables.
- 5 La tècnica del **Binder Jetting** (BJ) consisteix en un llit de pols el qual, mitjançant una deposició selectiva d'un aglomerant, s'uneixen les determinades àrees per formar una capa sòlida. Els materials més comuns són metalls, sorra i ceràmica, en forma granular.
- 6 **Deposició d'energia directa** (DED, *direct energy deposition*), és una tecnologia molt semblant a la d'extrusió de materials, però per metalls. El material metàl·lic, a mesura que s'alimenta, es va fonent mitjançant un làser o un feix d'electrons, i es va dipositant sobre un punt determinat on es deixa reposar fins que es refreda i solidifica.
- 7 **Sheet lamination** és un procés el qual, mitjançant fulles d'un material de construcció, s'apilen i s'uneixen mitjançant soldadura o adhesiu. Normalment, les fulles s'uneixen i després es tallen per donar la forma desitjada, encara que també es poden tallar i anar unint a mesura que s'apilen.

Com es pot observar, les diferents tecnologies difereixen segons com sigui l'aportació de material, ja sigui sòlid (pols, fil, laminat o en petites varetes) o líquid, i segons l'aportació d'energia [15].

Aleshores depenent de com sigui l'addició del material hi ha tres tipus [15]:

- **Punt:** el material es dosifica de forma puntual, per exemple en el *Fused Deposition Modelling* (FDM).
- **Línia:** el material es dosifica en tires lineals, per exemple en el *Polyjet* (PJ).
- **Llit:** el material es troba en un tanc i només les parts en què s'aporta energia van fusionant i formant el producte final, per exemple en el *Multy Jet Fusion* (MJF).

3. TREBALL A REALITZAR

En aquest treball es proposa el disseny d'un utilatge per la manipulació de peces. Aquest és un utilatge destinat a ser implantat en un braç robòtic automatitzat. Addicionalment, es proposa realitzar el disseny mitjançant tècniques de fabricació additiva, degut al valor afegit que aporta la fabricació d'aquest tipus de components mitjançant aquesta tècnica. Finalment, s'implementarà un sistema per controlar si s'han agafat totes les peces mitjançant un sistema de control de presència.

3.1 Punt de partida

El punt d'inici d'aquest projecte ve determinat per l'objecte o conjunts d'objectes a moure. Aquests són un conjunt de peces de plàstic, concretament 12 colzes de tubs, fabricades mitjançant injecció de plàstic en un motlle. A causa de la naturalesa d'aquest procés de fabricació, les peces inclouen el que s'anomena colada, encara que en realitat també hi ha els *runners* i la porta.

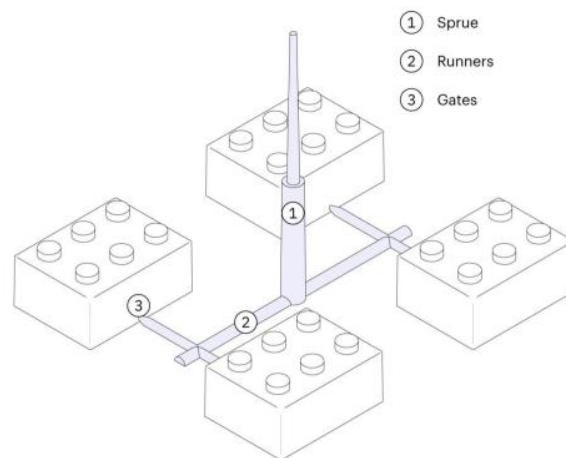


Figura 3.1: Conjunt peces, colada, runners, porta. Font: [20].

La colada bàsicament és el camí que recorre el plàstic fos per tal d'entrar en el motlle i omplir les cavitats per formar les peces. Aleshores, un cop s'ha deixat reposar el plàstic, i aquest ha solidificat, també ho fan les petites cavitats per les quals entra el material, deixant una part no desitjada pel producte final, que posteriorment s'ha de separar, sigui tallant-la, o mitjançant altres tècniques. Normalment, el plàstic de la colada es pot tornar a reutilitzar.

Concretament, el conjunt que s'ha de manipular es mostra en la **Figura 3.2**: Conjunt tubs-colada a manipular. Font: Pròpia., a partir d'aquí serà necessari dissenyar un utilatge que compleixi els requeriments per acomplir de forma òptima amb la tasca. Més endavant, en el document, es mostraran els plànols on es mostren les dimensions de les peces amb més detall.

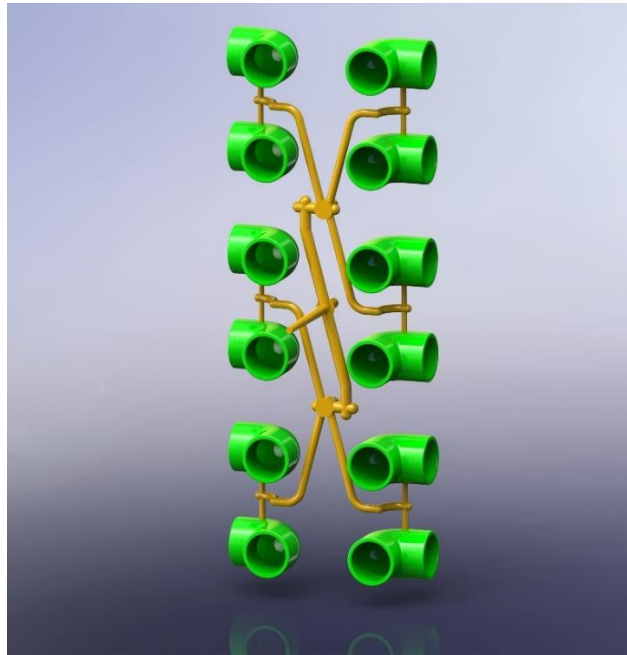


Figura 3.2: Conjunt tubs-colada a manipular. Font: Pròpia.

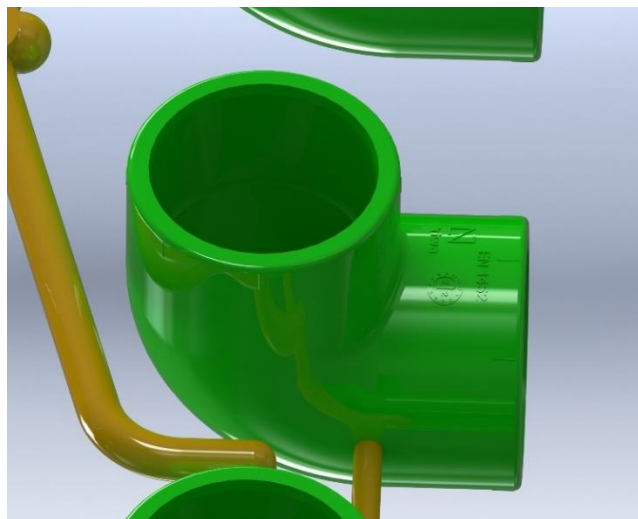


Figura 3.3: Detall d'un colze. Font: Pròpia.

3.2 Descripció de la tasca

Com ja s'ha comentat, l'utilitatge a dissenyar en aquest projecte s'implementarà en un braç robòtic que ha de desenvolupar una funció determinada, aleshores és necessari que l'eina compleixi satisfactòriament amb les necessitats del procés. A continuació es realitzarà una breu descripció d'aquest.

Primerament, el braç robòtic s'aproximarà lentament cap al conjunt de peces. Tot seguit les subjectarà, i les haurà de transportar cap a una zona on es verificarà la qualitat de cadascuna d'elles. Un cop realitzat el control de qualitat, se separarà la colada dels colzes. Aquest procés es farà mitjançant el tall de cada punt de colada que uneix els tubs, on un cop separades les peces, es dipositarà la colada per ser reciclada. Finalment, els tubs es transportaran a una zona on s'emmagatzemen i tornarà a començar el procés.

Tenint aquests detalls en compte es pot començar a idear una solució.



Figura 3.4: Motllo d'injecció de plàstic. Font: Pròpia.

3.3 Requisits funcionals

A l'hora d'identificar la geometria del conjunt, es pot observar que té una estructura simètrica, on els colzes van units en sis grups de dos en dos, tres d'aquests grups per costat. Com ja s'ha comentat, els colzes van units mitjançant la colada (també *runners* i portes), i un dels factors més determinants a l'hora de dissenyar la geometria de l'utilitatge, és el sortint de la colada, que sobresurt verticalment respecte al pla en què es troben tots els colzes, amb una forma cilíndrica o cònica. Per tant, això suposarà una restricció respecte al disseny estructural de l'assemblatge, ja que s'ha de tenir en compte

el sortint a l'hora de subjectar les diferents peces, especialment durant el procés d'aproximació del robot cap al motlle.

També serà necessari estudiar els mètodes més efectius per subjectar unes peces amb unes qualitats tan específiques. Com que no es tracta d'una superfície llisa, una de les tècniques més convencionals per aquest tipus d'aplicacions, la subjecció mitjançant ventoses convencionals de buit, no és viable. Al mateix temps, com que, al tractar-se d'elements amb secció de tub, es dificulta la subjecció mitjançant pinces, ja que no es disposa de superfícies paral·leles. Tot i així hi ha altres opcions que poden donar solució a aquest problema com per exemple *Bellows grippers*, o *Radial grippers*, entre d'altres.



Figura 3.5: Bellows gripper. Font: [21]



Figura 3.6: Radial gripper. Font: [22]

Aquestes dues possibilitats comentades poden suposar una solució viable, però si es considera que serà necessari realitzar un control de qualitat, verificant el diàmetre de les dues boques de cada colze, l'operació es dificulta en gran manera si l'element de subjecció tapa una d'elles. Aleshores caldrà explorar tot el ventall de possibilitats, per exemple, tornant a les ventoses, agafant la superfície arrodonida dels colzes mitjançant una ventosa amb diverses convolucions, **Figura 3.7**, que ofereixen la possibilitat d'adaptar-se millor a superfícies irregulars, que les ventoses convencionals. Gràcies a això, les dues boques dels colzes quedarien lliures, i d'aquesta manera es podria fer el control de qualitat. També caldrà considerar la viabilitat de fer la tasca mitjançant únicament la subjecció de la colada. Per això caldria utilitzar diverses estacions de tall de la colada. Una estació estaria encarregada de separar les peces que no compleixen

l'estàndard del control de qualitat, i un altre per les peces que sí que el compleixen. Amb això es podria estalviar pes, ja que no seria necessari subjectar cada colze de forma individual.



Figura 3.7: Ventosa amb 1.5 convolucions. Font: [23]

En la mateixa línia, per tal de realitzar el control de qualitat existeixen diverses possibilitats. La primera, sent la més rudimentària, seria mitjançant galgues passa no passa. Amb aquestes, introduint la galga en el colze es pot verificar si la peça compleix amb uns estàndards de qualitat. Com s'ha comentat, es tracta d'un mètode més rudimentari que, tot i ser efectiu, dificulta la possibilitat d'automatitzar de forma completa el procés. També hi ha la possibilitat de fer la mesura dels diàmetres de les peces mitjançant làser, de manera que es poden obtenir mesures molt més precises, fent un control més exhaustiu. Finalment, s'haurà de considerar implementar el control de qualitat mitjançant visió artificial. Aquesta és una tècnica que en els últims anys s'està implementant per fer una gran varietat de tasques, que permet automatitzar de forma senzilla i ràpida un procés com el que es requereix en aquest cas.

Com ja s'ha comentat, el conjunt de peces va unit a colada, on posteriorment se separarà aquesta dels colzes. Aleshores serà necessari mantenir subjectada la colada de forma independent als colzes. Per això es farà ús d'una pinça auxiliar, que se situarà en el centre de l'utilatge, agafant el sortint de la colada, minimitzant els moviments inesperats i augmentant la qualitat del producte final.

A l'hora de dissenyar l'utilatge per un braç robòtic, una de les principals limitacions és el pes que pot moure el mecanisme. Per aquest cas, ja que es dissenya l'eina, serà necessari treballar dintre dels límits que s'especifica en el *payload* del braç robòtic. Com que el conjunt de peces a manipular inclou una quantitat considerablement gran (12 colzes), per fet que cada colze s'ha de subjectar individualment, es requereix un gran nombre de pinces, cosa que pot suposar un augment en la massa de l'utilatge notable.

Per tal de poder monitorar el comportament i com es desenvolupa l'utilitatge, incorporar un sistema de detecció de les peces, aporta molts beneficis al procés i afegeix una flexibilitat addicional al robot. A l'hora de dissenyar un sistema de detecció, el primer que s'ha d'identificar és la naturalesa del material de la peça a tractar. Amb això és possible determinar el sensor que s'ajusta més a les necessitats del procés, ja sigui un sensor inductiu, d'infrarojos, capacitiu, etc.

Paral·lelament, serà necessari realitzar un tractament del senyal rebut per part del sensor utilitzat. Normalment, això es fa mitjançant la connexió d'aquest sensor a un microcontrolador o un PLC. A partir d'aquí, fent un muntatge, generalment usant transistors o optoacobladors, s'interpreta el senyal i es programa la lògica al dispositiu de control. En aquest cas, és necessari determinar com es transmetrà la informació del microcontrolador o PLC al receptor, que pot ser un mòbil, o una pantalla de control situada en la mateixa zona de fabricació. Aleshores la informació es pot transmetre amb cable o sense fils (wifi, *Bluetooth*, etc.).

Finalment, caldrà realitzar un estudi de la resistència i rigidesa de l'estructura final, per garantir que podrà suportar els esforços als quals es veurà sotmesa. De la mateixa manera, la tècnica d'impressió 3D i el material emprat juguen un rol prioritari de cara a la resistència mecànica de l'utilitatge. Amb tot això, serà també realitzar un anàlisi de les inèrcies de l'utilitatge final.

3.3.1 Detecció de peces

A l'hora d'implementar algun sistema amb l'objectiu d'automatitzar un procés industrial, utilitzar un PLC (*Programmable Logic Controller*) és el mètode més comú i, generalment, efectiu. Un PLC actua com a unitat central del control del procés a automatitzar, el qual mitjançant programació és capaç de desenvolupar una multitud de tasques [24].

Bàsicament, un PLC està format per la CPU (unitat central de processament), que incorpora un microprocessador, memòria, etc.; mòduls d'entrada, que bàsicament reben el senyal i les transformen perquè la CPU les pugui interpretar; i les sortides, que proporcionen el senyal al dispositiu que s'està controlant. També incorporen altres components addicionals com podria ser una pantalla per facilitar el control i monitoratge del PLC. De forma addicional, aquests dispositius estan dissenyats per

treballar en condicions extremes, amb multitud de vibracions, temperatures variants, sotmesos a camps electromagnètics, entre d'altres [24].

Amb tot això, els PLC són una eina ideal per treballar en un entorn industrial, ara bé, generalment tenen un preu elevat. Per aquest projecte, ja que es treballarà amb condicions ideals de laboratori, no caldrà utilitzar directament un PLC, cosa que augmentaria molt el cost del projecte. En el seu lloc, s'utilitzarà una placa amb microcontrolador, com pot ser una Arduino, la qual, a l'hora de realitzar un prototipat, pot complir perfectament amb la tasca requerida per a desenvolupar aquest projecte.

Les plaques tenen un preu molt baix si es compara amb el preu d'un PLC, ideals per treballar en una fase de prototipat, encara que com ja s'ha comentat, aquestes estan descobertes i no són bones per treballar en condicions industrials.

També, com que en aquest cas es realitzarà una detecció de les peces a manipular, serà necessari adquirir el senyal d'un sensor, i tractar aquest senyal en la placa.

Normalment, els sensors industrials treballen a major voltatge que una placa de tipus Arduino. Una de les opcions que hi ha és realitzar un divisor de tensió del senyal que surt del sensor i introduir-la al voltatge correcte per a l'Arduino. Aquest mètode té una sèrie d'inconvenients, el primer és que en cas que és curtcircuïtes el divisor de tensió, la targeta es trencaria, ja que estaria entrant un senyal amb un voltatge més elevat del permès, i l'altre és que s'ha d'anar amb compte amb el corrent generat pel sensor, perquè normalment aquests poden treballar amb un valor determinat, que en cas de ser superior el trencarien.

Les altres formes serien mitjançant un transistor que actuï com a interruptor, o en cas que es vulgui realitzar de manera totalment aïllada es podria utilitzar un optoacoblador. Aleshores el muntatge, de forma esquemàtica seria com es mostra a la **Figura 3.8**.

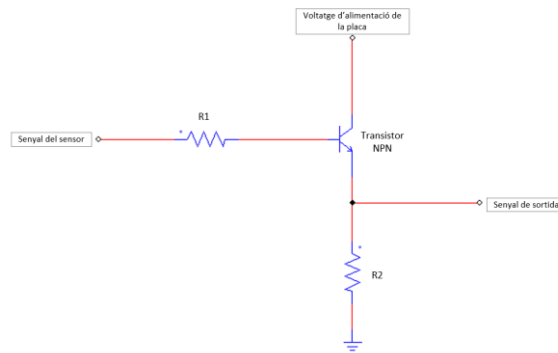


Figura 3.8: Tractament del senyal d'un sensor amb major voltatge. Font: Pròpia.

3.3.2 Control de qualitat

Tal i com s'ha comentat anteriorment, es realitzarà un control de qualitat a les peces extretes del motlle. Aquest control de qualitat serà in situ, aleshores es realitzarà en el mateix lloc d'on s'extreuen els colzes i es separen de la colada.

Per fer això existeixen diverses possibilitats, la primera és mitjançant galgues, passa, no passa, les quals s'introduïrien a l'interior de les boques dels colzes i en funció de si entren o no, es comprovarien si les peces compleixen uns estàndards dimensionals, i, per tant, es consideren bones.

Una altre possibilitat és, amb l'ajuda d'un mesurador làser, obtenir la mesura de la boca dels colzes. Això permetria obtenir una mesura molt més precisa i aleshores realitzar un control de qualitat molt més rigorós.

També apareix la possibilitat de realitzar el control de qualitat mitjançant visió artificial. La visió artificial és una tècnica que es basa en l'adquisició d'imatges, processat i posterior anàlisi amb l'objectiu de produir informació que pugui ser interpretada per una màquina, o ordinador. Aquest mètode permetria realitzar un control de qualitat molt rigorós, que al mateix temps permetria elevar el nivell d'automatització del procés en conjunt.

Aleshores en funció del mètode que s'adapti millor als requeriments del procés, així com ser capaç de desenvolupar la tasca de la millor forma possible, sense que suposi un factor determinant respecte al cost del projecte, serà la tècnica més adequada.

3.4 Metodologia

Per tal d'assolir els objectius proposats, en aquest apartat es definiran el conjunt de processos que es seguiran al llarg del treball, per tal de desenvolupar de la forma més eficient possible el treball, així com per arribar a trobar una solució viable.

El primer que cal fer és tenir clar el que es vol arribar a aconseguir, aleshores, cal identificar el problema i definir-lo.

A partir d'aquest problema, s'han de definir uns objectius mitjançant els quals se li pot donar solució. Aquests objectius han de ser factibles, i s'han de poder arribar a assolir amb els recursos i temps disponibles.

Un cop s'han identificat els objectius, serà necessari identificar els diferents camins que poden arribar a donar solució a cadascun d'aquests objectius. Normalment, un problema consta de molts tipus diferents de solucions, les quals es poden assolir mitjançant camins o mètodes totalment diferents.

Aleshores, un cop identificats els diferents camins, caldrà fer una anàlisi per descartar els que no són viables, sigui econòmicament, funcionalment, o per falta de temps. Per fer això s'identificaran els requeriments de manera individual que té el problema, dividint el problema en petites parts, i a partir d'aquí, analitzar les diferents solucions que hi ha. Un cop s'han identificat aquestes solucions per separat, caldrà determinar quines d'aquestes són compatibles entre si, per donar una solució final del problema.

Seguidament, un cop determinada la solució global del problema, s'intentarà portar a terme aquesta solució amb una primera fase de disseny, seguit del modelatge i simulacions. En cas que la solució no doni els resultats esperats, caldrà tornar a la fase anterior.

Finalment, en cas que la modelització i disseny de la solució hagi estat un èxit, caldrà incorporar-la al sistema real, normalment, mitjançant un prototip. Si aquest prototip es comporta de la forma desitjada i esperada, la solució es pot donar per bona. En cas que no es comporti de la forma esperada o desitjada, caldrà identificar la causa del problema, i tornar a l'etapa necessària per a solucionar-lo. Aleshores, si es tracta d'un problema de disseny perquè una estructura no suporta uns esforços, caldrà tornar a la fase de disseny, però també pot ser que s'hagi identificat de forma errònia el problema, i cal tornar a la primera etapa.

A partir d'aquí es podria començar a comercialitzar, o aplicar amb un model final.

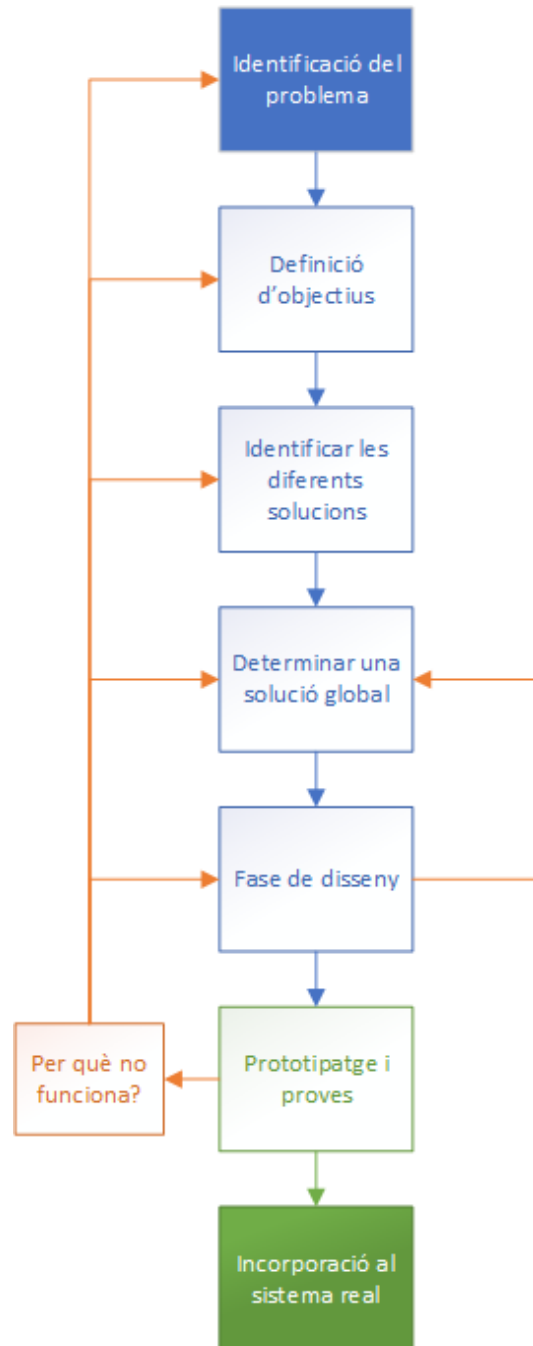


Figura 3.9: Diagrama metodològic. Font: Pròpia.

4. SIMULACIONS I TENSIONS

4.1 Simulacions amb MEF

A l'hora de realitzar verificacions de l'estructura sotmesa a esforços mecànics, avui dia hi ha la possibilitat d'utilitzar programes que faciliten l'anàlisi mitjançant simulacions. Per tant el que s'intenta és estudiar un sistema real per intentar predir el seu comportament en un entorn determinat.

Fins fa poc, una de les opcions principals a la que es recorria era a l'experimentació sobre un prototipus. Els principals inconvenients d'aquest mètode són que pot resultar molt car i lent. Per exemple si es vol experimentar la ruptura d'una biga, amb un prototipus s'haurà de trencar per cada iteració, o si es vol estudiar una línia de fabricació, aquesta pot trigar molt temps (anys) en mostrar els resultats [25].

En canvi, el que es pot fer és crear un model i experimentar sobre aquest. La modelització és el fet de construir un model, és a dir, representar d'una forma simplificada el sistema real amb una relació directa amb el prototipus [25].

La modelització, per tant, permet simular i representar d'una manera menys costosa un escenari real per tal d'estudiar la influència d'unes condicions. Avui dia, a causa de la gran accessibilitat a ordinadors potents, la modelització utilitzant programes computacionals per realitzar simulacions s'està imposant per sobre dels models físics, principalment degut a l'encara major reducció de costos i major personalització de les condicions de simulació [25].

4.1.1 Mètode dels elements finits

Actualment mètode dels elements finits (MEF), forma part de la base de l'enginyeria assistida per computadora (CAE, *computer aided engineering*), especialment utilitzat per resoldre equacions diferencials relacionades amb problemes de modelització.

El MEF és un dels mètodes numèrics més estesos a l'hora de realitzar simulacions o resoldre problemes d'enginyeria i física, basat en la resolució d'equacions diferencials.

Per resoldre aquests problemes aquest mètode divideix un sistema complet (o una part d'un sistema) en petites parts de naturalesa molt més senzilla anomenades elements finits. Aquests elements estan formats per la connexió de punts, anomenats nodes, aleshores cada element està associat amb una sèrie de nodes, i el comportament de l'element bé

dictat pel comportament dels seus nodes. La forma més comuna per resoldre elements tridimensionals són els tetraedres, ja que, per exemple, en comparació amb un quadrat, permeten compondre, d'una forma més homogènia, la totalitat de l'element.

En realitzar la divisió de l'element a tractar es crea el que s'anomena malla, o mallat. El mallat és el conjunt d'elements finits que componen la totalitat del sistema estudiat, d'aquesta manera es poden tractar models molt més senzills i fàcils d'analitzar. Aquesta malla pot ser diferent per un mateix sistema principalment a causa de la mida dels elements, encara que també es poden triar distribucions diferents. Aquestes diferències es poden donar en funció de la precisió que es vulgui obtenir, com més elements, més fina serà la malla, i més precisos seran els resultats [26].

Una de les característiques que destaca més sobre MEF és que es pot aplicar per un gran nombre d'aplicacions. L'aplicació més comuna és la d'anàlisi estructural. Aquest tipus d'anàlisi es realitza amb l'objectiu de determinar les deformacions i tensions que pateix una estructura sota unes condicions determinades. Ja sigui el material, les càrregues, el suport, etc. [26].

4.1.2 MEF aplicat a l'anàlisi estructural

El MEF es va desenvolupar el 1943 per Richard Courant a causa de la necessitat de resoldre problemes complexos. De totes maneres, fins que no es va desenvolupar la potència computacional dels ordinadors, no es va poder aprofitar tot el potencial del mètode [15].

És un mètode que es basa en el càlcul matricial d'estructures, on es modelitza el sistema com un conjunt d'elements més simples idealitzats i interconnectats en nodes, aleshores, una estructura es discretitzaria en elements lineals de tipus barra sobre els quals es coneix la seva rigidesa en funció dels desplaçaments en els seus nodes. A partir d'aquí es planteja un sistema d'equacions que vindria d'aplicar les equacions d'equilibri als nodes de l'estructura [25].

$$f = K \cdot u \quad [4.1]$$

Una estructura es defineix per les forces i les condicions de contorn. Aleshores la part clau són les forces i els desplaçaments als nodes, aquestes s'anomenen camp de forces nodals (f) i camp de desplaçaments nodals (u) [25].

El camp de desplaçaments nodals u , correspon als graus de llibertat o variables d'estat. Aquestes variables d'estat venen fixades per les condicions de contorn i les forces aplicades. El camp de forces nodals f , correspon a les forces externes i la seva transmissió a traves del sistema. Finalment, la matriu de rigidesa global K , és simètrica i està formada pels coeficients de rigidesa [25].

$$\begin{matrix}
 \begin{bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{x3} \\ f_{y3} \end{bmatrix} \\
 \text{Nodal} \\
 \text{forces}
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 \begin{bmatrix} K_{x1x1} & K_{x1y1} & K_{x1x2} & K_{x1y2} & K_{x1x3} & K_{x1y3} \\
 K_{y1x1} & K_{y1y1} & K_{y1x2} & K_{y1y2} & K_{y1x3} & K_{y1y3} \\
 K_{x2x1} & K_{x2y1} & K_{x2x2} & K_{x2y2} & K_{x2x3} & K_{x2y3} \\
 K_{y2x1} & K_{y2y1} & K_{y2x2} & K_{y2y2} & K_{y2x3} & K_{y2y3} \\
 K_{x3x1} & K_{x3y1} & K_{x3x2} & K_{x3y2} & K_{x3x3} & K_{x3y3} \\
 K_{y3x1} & K_{y3y1} & K_{y3x2} & K_{y3y2} & K_{y3x3} & K_{y3y3} \end{bmatrix} \\
 \text{Master stiffness matrix}
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \\ u_{x3} \\ u_{y3} \end{bmatrix} \\
 \text{Nodal} \\
 \text{displacements}
 \end{matrix}$$

Figura 4.1: Equacions globals de rigidesa. Font: [25]

Aleshores el que caldrà fer és obtenir les equacions locals de rigidesa de cada element, separant els elements individuals alliberant-los de les forces i condicions de contorn.

$$\bar{f} = \bar{K} \cdot \bar{u} \tag{4.2}$$

I els coeficients de rigidesa locals de la matriu \bar{K} s'obtenen a partir de les equacions de la Mecànica de Materials.

$$K_s = \frac{EA}{L} \tag{4.3}$$

On L és la longitud de l'element, A l'àrea, i E el mòdul d'elasticitat.

Amb tot això, l'equació de la força en funció dels desplaçaments quedarà de la següent manera:

$$F = K_s \cdot d = \frac{EA}{L} \cdot d \tag{4.4}$$

On F és la força interna axial i d el desplaçament axial relatiu.

La matriu de rigidesa local serà:

$$\bar{\mathbf{K}} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 4.2: Matriu de Rigidesa local amb coordenades locals. Font: [9]

A partir d'aquest punt s'han obtingut les equacions amb locals, amb sistema local, aleshores caldrà globalitzar-les mitjançant el pas de coordenades local a coordenades globals. La matriu de rigidesa global en coordenades globals seria la següent:

$$\mathbf{K}^e = \frac{E^e A^e}{L^e} \begin{bmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & -s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{bmatrix}$$

Figura 4.3: Matriu de Rigidesa local en coordenades globals. Font: [25]

Un cop obtingudes les matrius de rigidesa local per cada element i s'han passa a coordenades globals, caldrà ajuntar-les en la matriu de Rigidesa Global (*Master Stiffness Matrix*). Per realitzar l'assemblatge de la matriu s'han de seguir dues regles.

- **Compatibilitat:** els desplaçaments a tots els elements d'un node han de ser iguals. Per exemple, els desplaçaments en x_3 de l'element 2 han de ser els mateixos desplaçaments en x_3 per l'element 3, el mateix s'ha de complir per y .

$$u_{x3}^{(2)} = u_{x3}^{(3)}; \quad u_{y3}^{(2)} = u_{y3}^{(3)} \quad [4.5]$$

- **Equilibri:** La suma de forces exercides per tots els elements en un node, han d'estar en equilibri amb les forces externes aplicades en aquell node.

$$f_{x3} = f_{x3}^{(1)} + f_{x3}^{(2)} + f_{x3}^{(3)} = f_{x3}^{(2)} + f_{x3}^{(3)} \quad [4.6]$$

$$f_{y3} = f_{y3}^{(1)} + f_{y3}^{(2)} + f_{y3}^{(3)} = f_{y3}^{(2)} + f_{y3}^{(3)} \quad [4.7]$$

Generalment, primer s'obtenen les matrius ampliades de la força, desplaçaments i rigidesa per a cada element, i després s'ajunten mitjançant la regla de l'equilibri, formant la *Master Stiffness Matrix*.

A partir d'aquí, aplicant les condicions de contorn, es limiten els moviments de rotació o translació. D'aquesta manera es transforma el sistema d'equacions de rigidesa, a un sistema reduït, on trobar la solució és molt senzill. Per exemple:

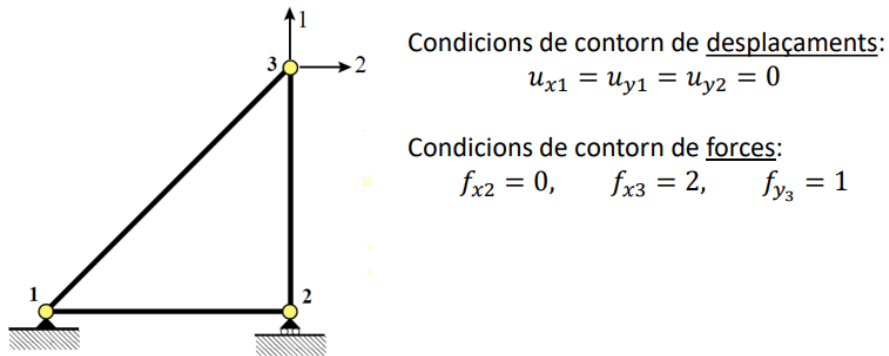


Figura 4.4: Aplicant condicions de contorn. Font: [25]

Per trobar la solució només caldrà:

$$u = f \cdot K^{-1} \quad [4.8]$$

Finalment es poden obtenir les tensions internes.

$$\sigma^e = \frac{F^e}{A^e} \quad [4.9]$$

$$\sigma^e = E^e \cdot \varepsilon^e \quad [4.10]$$

La informació d'aquest apartat s'ha extret de [25].

4.2 Tensió de Von Mises

La tensió de Von Mises combina totes les tensions en l'espai tridimensional (x, y, z) que s'expressa de la següent manera:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - (\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx}) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad [4.11]$$

A l'hora de realitzar una simulació, un dels factors més importats a l'hora de determinar si una peça trenca, és mitjançant la tensió de Von Mises. El que es fa és comparar aquesta tensió amb la tensió màxima admissible del material del qual està fet el component simulat [15].

Aleshores a partir d'aquí es pot determinar el factor de seguretat, per exemple, si en realitzar la simulació obtinc una tensió de Von Mises de 100 MPa i el límit elàstic o de fluència del material és de 150 MPa, es pot concloure que el material no trenca. I el factor de seguretat és de:

$$F_s = \frac{\sigma_m}{\sigma_{VM}} = \frac{150}{100} = 1.5 \quad [4.12]$$

On F_s és el factor de seguretat, σ_{VM} és la tensió de Von Mises, i σ_m és el límit elàstic del material.

Amb programes com *Solid Works* (SW), permeten realitzar simulacions on els valors de la tensió de Von Mises la calcula de forma automàtica, i en funció del material, es compara amb el límit elàstic, i es determina si trenca o no.

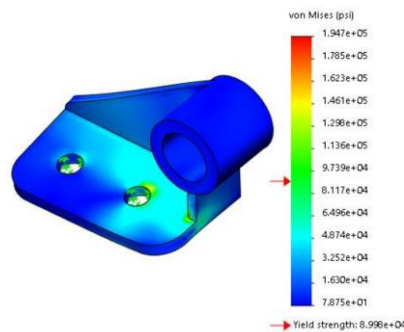


Figura 4.5: Tensions en una simulació amb SW. Font: [15]

5. DISSENY DE L'UTILLATGE

En aquest apartat es tractarà el procés que s'ha seguit al llarg del disseny de l'utilatge seguint les pautes descrites en el disseny de la metodologia.

Primerament es descriurà el punt de partida, identificant les necessitats i com complir-les. Seguidament es començarà a realitzar els primers dissenys, realitzant les rectificacions pertinents per tal de que compleixin amb els requeriments identificats. Es realitzaran un seguit de simulacions per trobar la forma òptima de l'estructura. I es tractaran tots els elements addicionals com els sistemes de subjecció, canvis finals realitzats, i l'estat al que s'ha arribat del disseny de l'utilatge.

5.1 Punt de partida

Com ja s'ha comentat, l'objectiu de l'utilatge és la manipulació d'un conjunt de peces determinat acompanyat d'unes restriccions específiques. A partir d'aquí es desenvoluparà un disseny que té com a objectiu satisfer aquests requeriments. Aleshores, abans de començar a realitzar un disseny preliminar és molt important tenir en compte tots els requeriments o aspectes tècnics que caldrà aplicar a l'utilatge perquè desenvolupi la seva tasca de forma correcta.

5.1.1 Requisits pel disseny

Prèviament, durant la presentació de la proposta s'ha fet un anàlisi sobre els diferents aspectes a tenir en compte. Més endavant, després d'analitzar les diferents solucions i determinar la que pot donar una resposta més òptima, es tornarà a llistar de forma breu els principals aspectes a tenir en compte de cara al disseny de l'estructura de l'utilatge.

Per començar, caldrà tenir una part robusta per tal de situar l'ancoratge del robot. Aquest ancoratge té una forma circular amb 89.5 *mm* de diàmetre.

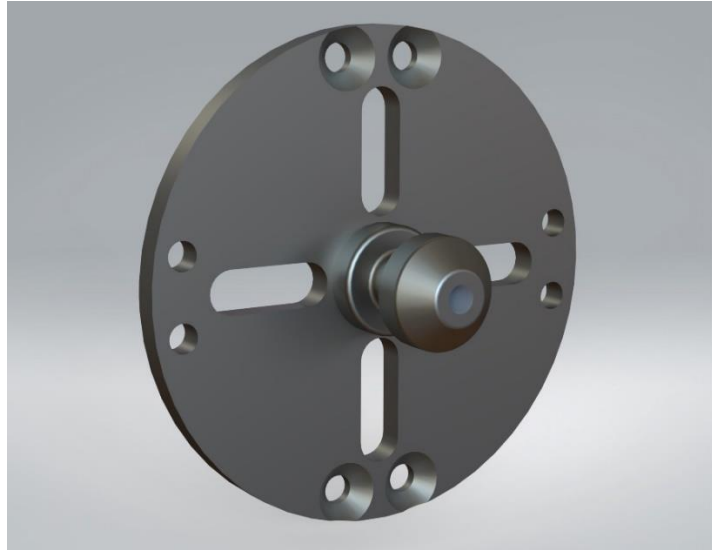


Figura 5.1: Ancoratge pel robot. Font: Pròpia.

També és important que, ja que es vol adaptar la forma de l'utillatge a la del conjunt a subjectar, els tubs d'aire comprimit que actuaran sobre les ventoses, aniran integrats dintre de l'estructura.

De la mateixa manera, perquè es vol realitzar un control de qualitat mitjançant càmeres i visió artificial, caldrà tenir a la vista les boques dels colzes durant la subjecció i manipulació del conjunt.

La subjecció de la colada, principalment es vol fer mitjançant una pinça, aleshores serà necessari tenir un espai per situar aquesta pinça i que tingui la colada al seu abast.

També caldrà reservar un espai pel microcontrolador que s'encarregui de tractar el senyal dels sensors, i també per la seva bateria.

Finalment, seria convenient afegir unes subjeccions per facilitar la conducció i guia dels cables dels sensors cap al microcontrolador.

5.1.2 Primeres idees

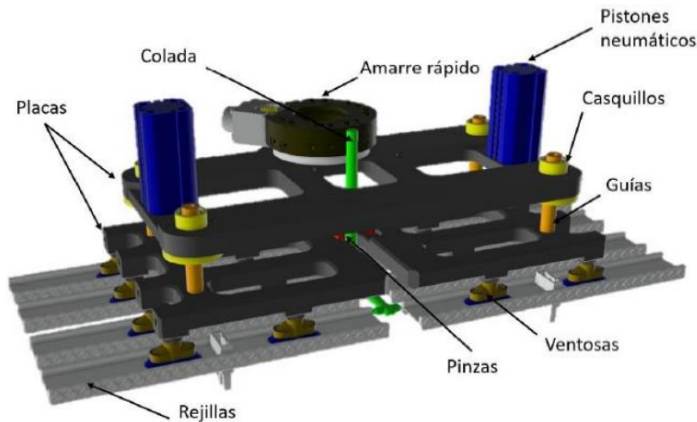


Figura 5.2: Disseny amb plaques. Font: [15].

A l'hora de realitzar el disseny d'un utilatge com el que es tracta en aquest cas, una solució molt comuna és la de realitzar un disseny mitjançant plaques. Com es mostra en la **Figura 5.2**, aquest consisteix en una estructura amb dues plaques, on una té la funció de connexió amb el braç robòtic, i l'altre de connexió amb les peces a manipular. L'objectiu de fer el disseny amb dues plaques és el de facilitar o assegurar un millor acoblament entre les peces i els elements de subjecció. Es tracta d'una solució molt interessant quan els requeriments no són molt restrictius, ja que la complexitat geomètrica és molt més baixa que amb un disseny totalment adaptat a la forma de l'objecte a manipular. Ara bé, aquest disseny també incorpora alguns inconvenients. Per exemple, l'assemblatge incorpora parts mòbils que són susceptibles a patir fallades, i en cas que això succeís, la seva reparació seria bastant costosa, ja que suposaria desmuntar i tornar a muntar tot l'utilatge. De la mateixa manera, també incorpora una major quantitat de peces fent l'assemblatge més costós i complex. També cal destacar que en utilitzar un disseny d'aquest tipus, tots els conductes com poden ser els d'aire comprimit, queden al descobert, fent l'utilatge més susceptible a patir fallades a causa de la disposició d'aquests tubs.



Figura 5.3: Disseny amb conductes integrats. Font: [27].

A partir d'aquí, a causa de la complexitat de la forma de les peces a manipular, la quantitat d'aquestes, i els requeriments tan restrictius, com poden ser el control de qualitat al mateix lloc, s'ha optat per enfocar el projecte de cara a un disseny més adaptat directament a la forma de la colada. Això, tot i suposar una major complexitat a l'hora de dissenyar l'utilitatge, ja que les formes seran molt més complexes que unes plaques, ofereix una solució viable i molt més robusta. D'aquesta manera, serà possible dissenyar un utilitatge amb la menor quantitat de peces possible i també s'integraran tots els conductes d'aire, que alimenten les ventoses de succió, dintre l'estructura.

Gràcies a les tecnologies de fabricació additiva, és possible crear formes molt complexes, oferint una solució viable, sense importar el nivell de complexitat del problema.

5.1.3 Primera forma conceptual de l'estructura

Primerament és necessari determinar de forma acurada les mides de l'element a subjectar. Ja que es disposa d'un model 3D de les peces, mitjançant el programa *SolidWorks*, s'han realitzat les mesures pertinents per tal de definir de forma correcta l'objecte. Tot i així, les mesures més importants a conèixer són les dels punts per els quals es vol realitzar la subjecció, les boques dels colzes, que han de quedar a la vista, i el sortint vertical de la colada, el qual es subjectarà mitjançant una pinça.

Com que l'utilitatge principalment serà construït mitjançant tècniques de fabricació additiva, les limitacions en quant a forma de l'eina són molt menys restrictives, cosa que obre un ventall de solucions diferents molt extens.

Amb l'objectiu de definir una pauta amb la qual orientar-se a l'hora de començar a dissenyar l'estructura de l'utillatge es realitzarà una simulació de topologia d'un bloc sòlid, sobre el qual s'apliquen esforços equivalents als que patiria l'utillatge durant la manipulació del conjunt.

Per poder realitzar aquesta simulació de forma mes o menys acurada, serà necessari determinar les dimensions principals de tot el conjunt. Les mides del bloc sòlid són de $677.4\text{ mm} \times 253.08\text{ mm}$, amb un gruix de 80 mm .

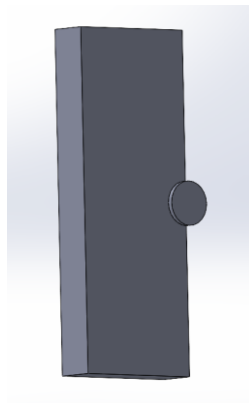


Figura 5.4: Bloc Massís per punt de partida, vista superior. Font: Pròpia.

Amb això, com es pot observar a la **Figura 5.4**, es tracta essencialment d'un bloc massís acompanyat d'un element cilíndric situat a un dels extrems, el qual té la funció de subjectar tot el bloc. Aleshores representa que és el punt per el qual el robot subjectarà l'utillatge. Cal notar que aquesta subjecció es troba en un dels extrems del bloc amb la finalitat de no taponar o impedir la vista a les boques dels tubs, aleshores l'utillatge estarà desplaçat cap a un dels extrems del conjunt a manipular.

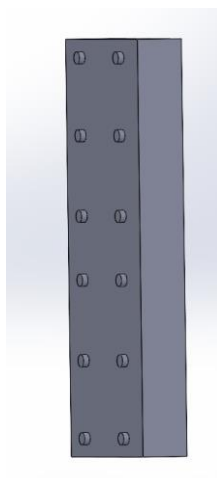


Figura 5.5: Bloc Massís per punt de partida, vista inferior. Font: Pròpia.

La part inferior del bloc (**Figura 5.5**), consta de dotze petits sortints cilíndrics que seran els punts en els quals s'aplicaran les càrregues, fent la funció dels elements de subjecció de l'utillatge.

La configuració de les càrregues i subjeccions es mostra a continuació:

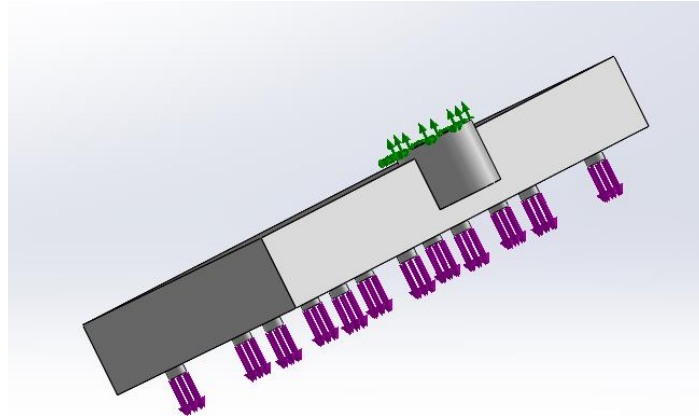


Figura 5.6: Bloc massís, càrregues i subjeccions. Font: Pròpia.

Com que en aquest cas no es vol realitzar cap comprovació de la resistència de l'estructura, el valor de les càrregues no és molt important, així i tot, com és un requeriment per realitzar la simulació, s'ha suposat que cada punt de subjecció es veu sotmès a una càrrega de 2 N . Aquest valor s'ha determinat en base al pes del conjunt a manipular. El conjunt de colada-colzes està fet de PVC i mitjançant *SolidWorks*, es pot determinar de forma precisa el pes. Amb això s'obté un valor de $1934,24\text{ g}$.

$$1934,24\text{ g} \approx 2\text{ kg}$$

Aleshores, amb la segona llei de Newton,

$$F = m \cdot a \equiv m \cdot g \quad (5.1)$$

On F és força en N , m és massa en kg , a és acceleració en m/s^2 i g és la força de la gravetat en m/s^2 .

Si considerem que $g \approx 10\text{ m/s}^2$ (podem arrodonir d'aquesta forma ja que afegeix un extra de seguretat a la simulació).

Aplicant els valors a l'equació (5.1):

$$F = 2 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 20 \text{ N}$$

Aleshores podem considerar que aproximadament són 20 N en total, ara bé, per tenir un marge, per tenir en compte el pes de les subjeccions o altres elements, es considerarà una força total de 24 N. Que dividida entre 12 punts de subjecció dona els 2 N per element que s'ha considerat.

Pel material del sòlid passaria el mateix, aleshores, com que un dels materials més emprats en la impressió 3 D és l'ABS, aquest s'ha designat com al material per a aquesta simulació, més endavant, es determinarà i justificarà el material final per obtenir uns resultats òptims.

Amb això, ja que el que es vol determinar és quina forma optimitzaria la resistència als esforços minimitzant la quantitat de material utilitzat, es treballarà amb l'objectiu de reduir la massa, de forma que també es redueix la quantitat de material. Concretament, s'ha especificat reduir la massa en un 40%, però de totes maneres la finalitat d'aquesta simulació és només orientativa.

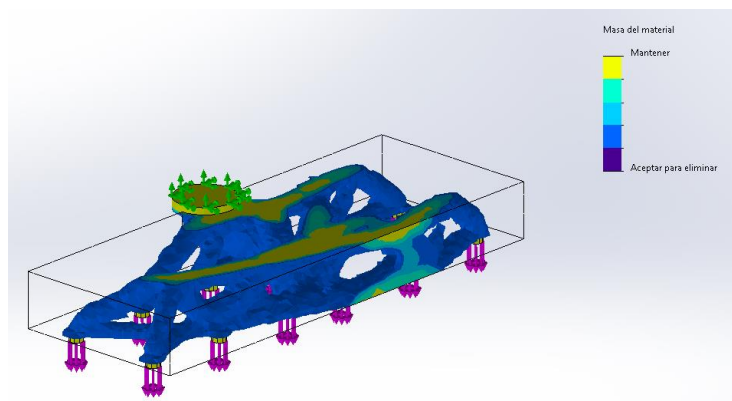


Figura 5.7: Resultat simulació de topologia 40% de reducció de massa. Font: Pròpia.

Com es pot observar a la **Figura 5.7**, els resultats obtinguts corresponen a una forma ramificada on els punts en els quals s'apliquen els esforços, es connecten fins a l'estructura principal de subjecció mitjançant uns elements estrets amb una forma gairebé cilíndrica. Amb aquests resultats es pot determinar com existeix la possibilitat d'utilitzar aquestes mateixes ramificacions com a conductes per alimentar les ventoses de buit.

Després d'obtenir aquests resultats també es realitza la mateixa simulació però amb una reducció de massa major per observar la tendència de l'estructura, un 60%.

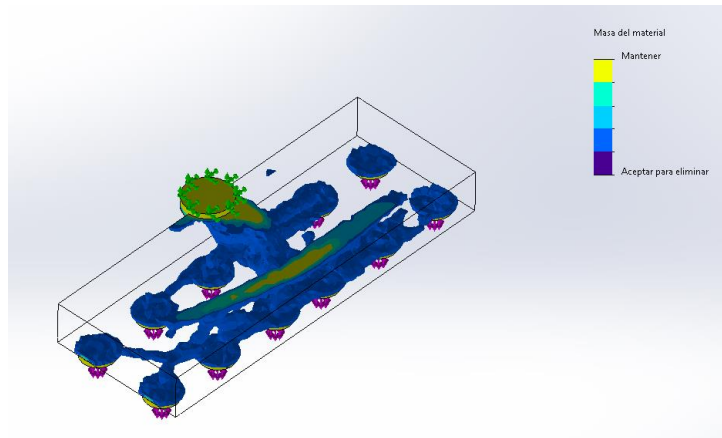


Figura 5.8: Resultat simulació de topologia 60% de reducció de massa. Font: Pròpia.

En aquest cas, amb una reducció de massa tan elevada els resultats obtinguts no són bons del tot, ja que es pot observar com alguns punts on s'apliquen esforços estan en l'aire. De totes maneres es comprova com el punt més important és el de subjecció, que és en el qual es requereix la major part de massa. Pel que fa als punts que serien la unió de l'utillatge amb el conjunt de peces a subjectar, es comprova com no suposen una part essencial a l'hora de resistir esforços.

5.2 Primer disseny

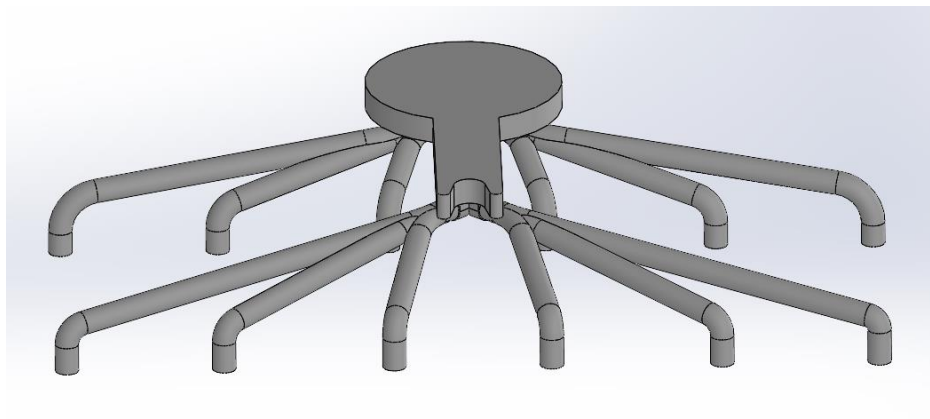


Figura 5.9: Primer disseny. Font: Pròpia.

A l'hora de realitzar el primer disseny s'ha centrat el sòlid en una placa fonamental que actua com a punt d'unió de tots els elements. Com es pot observar aquesta placa té una forma específicament dissenyada per poder incorporar la subjecció del robot així com la resta dels elements, i a la vegada, actuar com a element estructural principal. També la punta té una forma específica per deixar lloc a la colada, i que una pinça situada a la part superior sigui capaç de subjectar-la.

A partir d'aquí, apareixen les dotze ramificacions, que parteixen de dos punts principals, un que estaria situat a la part posterior de l'utilatge, i l'altre a la part davantera. Aquestes van cap a cadascun dels colzes a subjectar, amb la finalitat d'alimentar les diferents ventoses de succió. Aquestes ramificacions estan buides i actuen com a conductes de manera que s'integra tota la connexió d'aquests dintre de l'utilatge, minimitzant els inconvenients que pot suposar tenir tubs al descobert. Tots aquests conductes s'acaben trobant en un de sol que desemboca a la part posterior de l'utilatge, facilitant la connexió directa amb el braç robòtic.

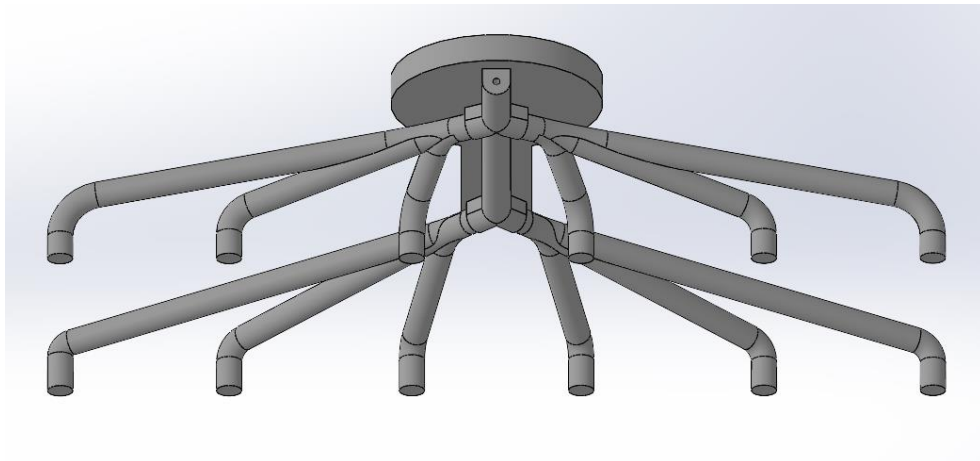


Figura 5.10: Part inferior del primer disseny. Font: Pròpia.

Tot i a priori semblar una solució que assoleix la majoria de requeriments principals, cal assegurar que és viable realitzar el control de qualitat, i, per tant, que les boques dels colzes queden a la vista durant la manipulació. Per fer aquesta comprovació es fa un croquis dels colzes sobre el pla de l'alçat, tal com es mostra a la **Figura 5.11**.

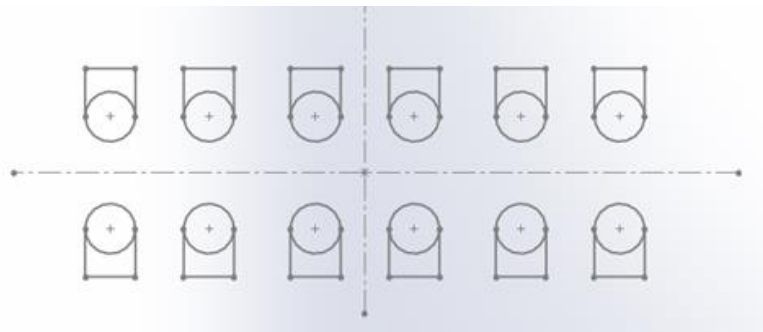


Figura 5.11: Croquis guia. Font: Pròpia.

A partir d'aquí, si es visualitza l'utilatge a sobre d'aquest croquis és possible realitzar la comprovació directament.

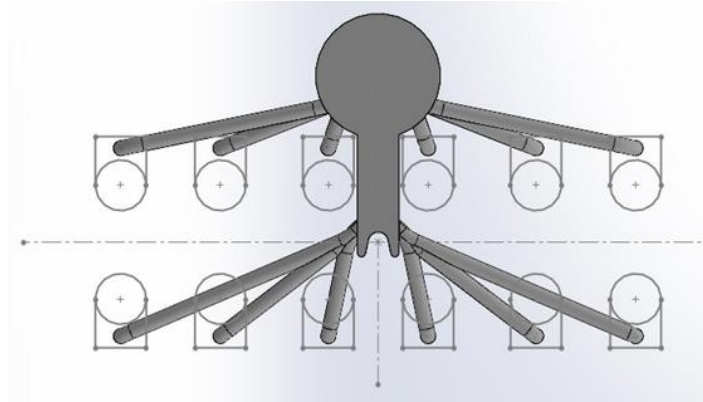


Figura 5.12: Primer disseny, comprovació. Font: Pròpia.

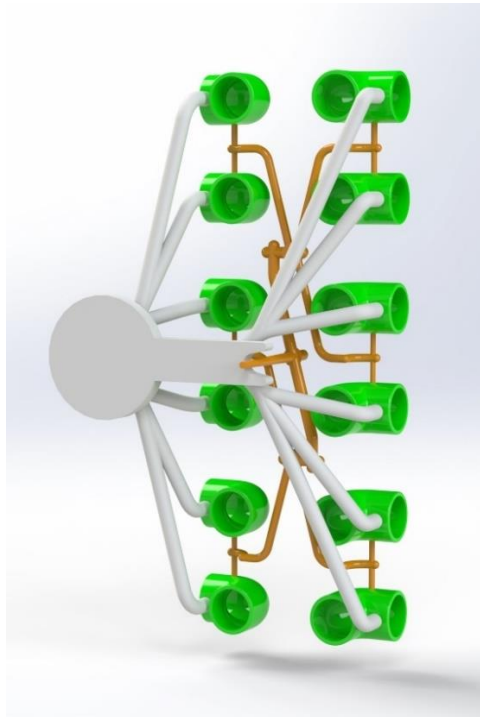


Figura 5.13: Primer disseny amb colada. Font: Pròpia.

Com es pot veure, tots els conductes de la part superior de l'utilatge (esquerra segons la **Figura 5.12**), no passen per sobre de les entrades superiors dels colzes (zona rodona del croquis), en canvi, pels conductes inferiors, aquests no permetrien realitzar el control de qualitat de forma correcta, ja que tapen les entrades dels colzes.

A partir d'aquí, treballant sobre aquesta base, es fan una sèrie de variacions per acomplir amb aquest requeriment.

5.3 Segon disseny

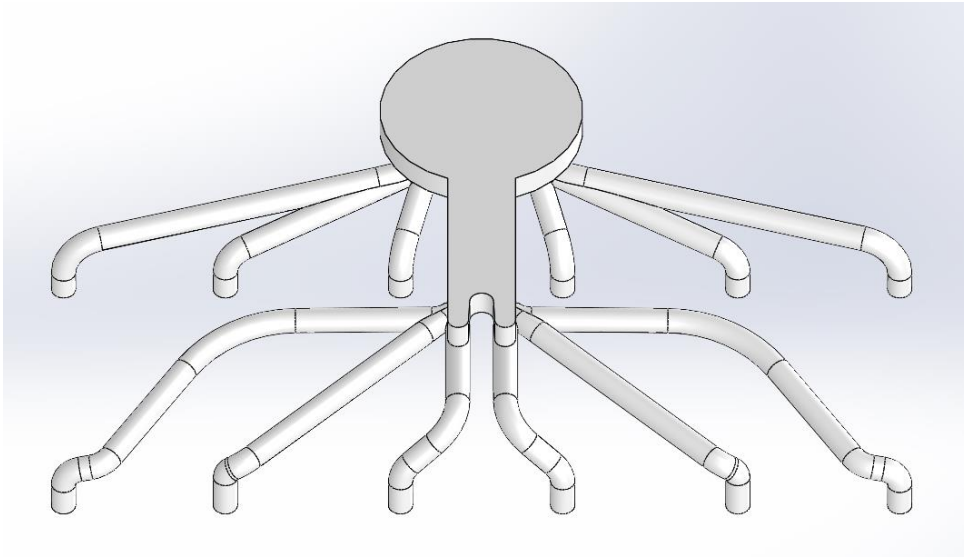


Figura 5.14: Segon disseny. Font: Pròpia.

Com s'ha comentat a partir d'ara es treballa sobre la base creada en el primer disseny. Aleshores, després de fer un anàlisi senzill, s'ha vist com un dels requeriments no es compleix. Aquest segon disseny va enfocat a solucionar aquest problema i a realitzar un anàlisi amb un grau de profunditat major.

Com es pot observar en la **Figura 5.14**, essencialment es tracta d'una estructura molt similar amb la majoria dels canvis situats a la part inferior (segons la figura anterior). Aquests canvis van destinats a destapar l'entrada superior dels colzes per tal de poder realitzar el control de qualitat mitjançant visió artificial.

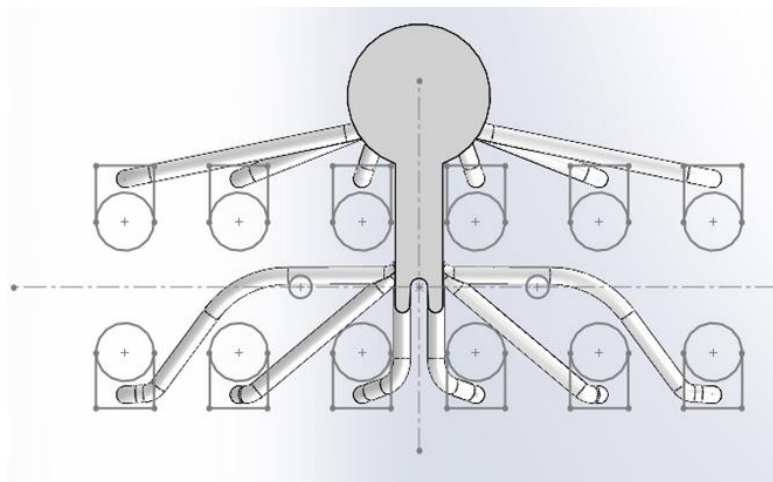


Figura 5.15: Segon disseny, segona comprovació. Font: Pròpia.

Després de realitzar aquests canvis es comprova (**Figura 5.15**) com es permet veure la boca dels colzes i realitzar de forma correcta el control de qualitat per totes les peces.

Per la vista inferior amb els canvis es pot veure a continuació.

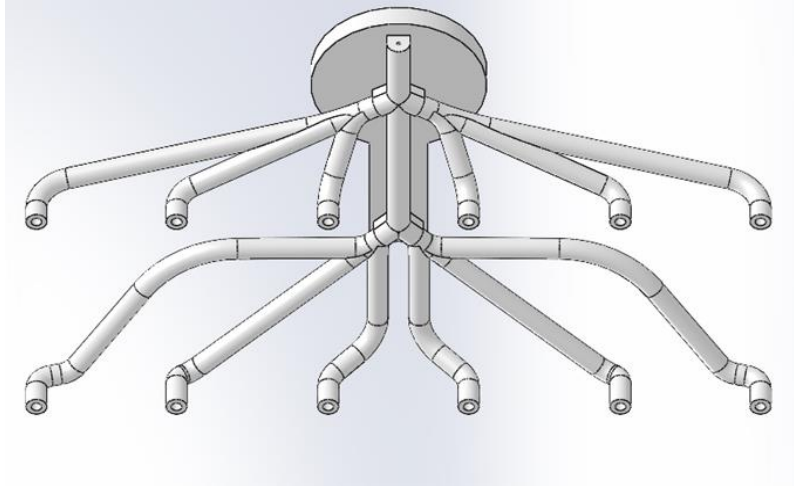


Figura 5.16: Segon disseny, vista inferior. Font: Pròpia.

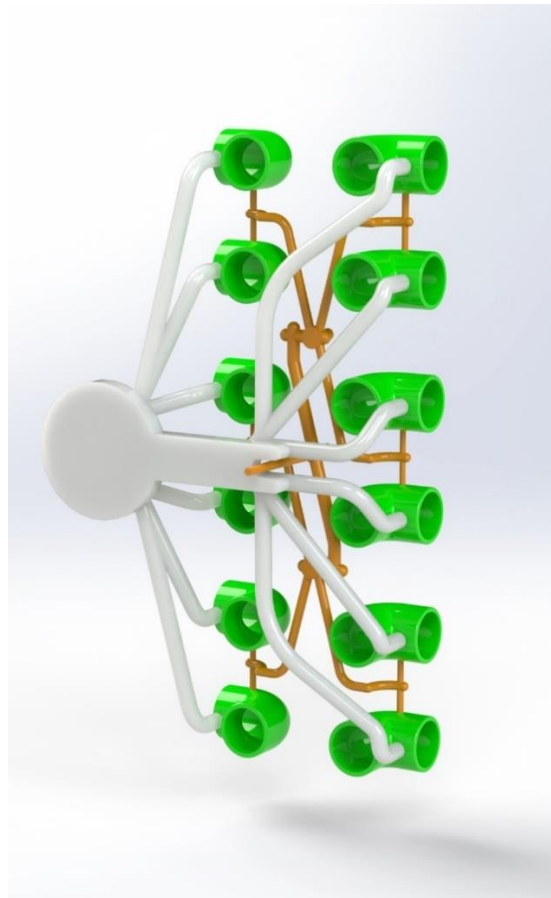


Figura 5.17: Segon disseny amb colada. Font: Pròpia.

A partir d'ara el que caldria seria realitzar una verificació estructural respecte a les càrregues a les que es veurà sotmès l'utilatge.

No obstant això, ja que les connexions que van cap a les diferents peces actuen com a tubs d'alimentació per a les ventoses, aquests aniran buits, aleshores caldrà determinar quin serà el diàmetre intern d'aquests conductes. Això anirà directament relacionat amb el sistema de subjecció específic a utilitzar.

5.4 Anàlisi estructural i simulacions

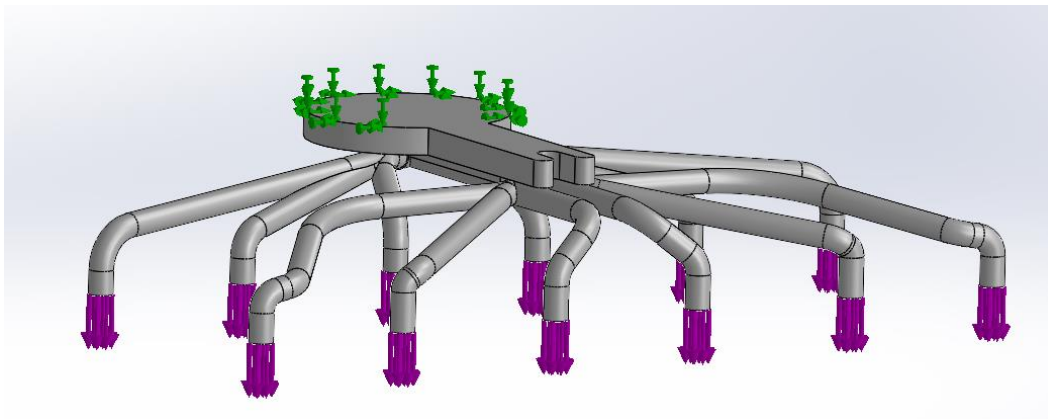


Figura 5.18: Posició de les càrregues i subjeccions. Font: Pròpia.

Un cop tenim una forma base sobre la qual treballar, caldrà identificar i realitzar els canvis corresponents perquè sigui capaç de resistir els esforços als quals es veurà sotmès l'utilatge i que les deformacions del mateix no impedeixin el desenvolupament de la tasca.

Abans de començar amb qualsevol simulació cal comentar que el material utilitzat per les simulacions és l'Acrilonitril Butadiè Estirè (ABS). De manera similar al que ja s'ha comentat anteriorment, aquest és un dels materials més utilitzats dintre del món de la impressió 3D, i la majoria d'impressores són compatibles. No obstant això, cal remarcar que aquest no té perquè ser el material final. Més endavant es tractarà amb més precisió les diferents opcions i quines poden ser més convenientes en funció de diferents paràmetres com poden ser la resistència, flexibilitat, resistència a la calor, entre d'altres. Al mateix temps, aquesta tria al final es pot veure limitada en funció del material que hi hagi a disposició per a portar a terme al prototipat de l'utilatge.

Finalment, afegir que per realitzar les simulacions s'ha considerat que sobre els dotze punts de connexió dels elements de subjecció (**Figura 5.18**) actua una força de 2 N per

cadascun ($24 N$ en total), indicat amb fletxes de color lila. Aquesta força es pot presentar en diverses direccions en funció de la posició del braç robòtic. Al mateix temps, la subjecció del l'utilatge es realitza des de la part rodona de l'estructura central, indicat amb fletxes de color verd.

També cal comentar que tots els resultats de les simulacions, s'han obtingut mitjançant un mallat fi de l'estructura. Com més fina sigui la malla més acurats seran els resultats, encara que el temps de simulació serà major. De totes maneres, com que l'estructura té parts molt petites, en cas de no realitzar un mallat amb elements petits, no es podia completar el mallat.

La mida dels elements del mallat és de $4 mm$.

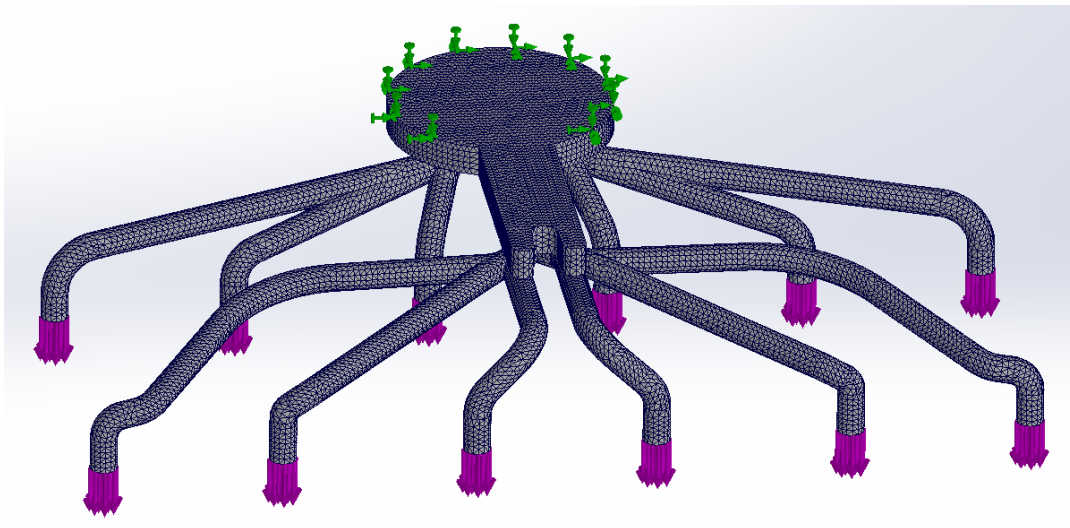


Figura 5.19: Mallat per les simulacions. Font: Pròpia.

5.4.1 Primera simulació

La primera simulació es realitzarà amb el mateix model creat en el segon disseny. Els tubs d'aquest són de $15 mm$ de diàmetre, i els conductes interns són de $3 mm$ de diàmetre. Aquests són dos dels factors principals en quant a la deformació de l'estructura.

Amb aquestes dimensions de l'estructura es faran tres configuracions diferents, on es variarà la direcció de la força per tenir en compte les diferents situacions a les quals es pot veure sotmès l'utilatge.

En la primera configuració la força serà normal a la superfície de l'utilatge, força en l'eix Z. Per la segona configuració la força serà horitzontal o paral·lela a la superfície de l'utilatge, per sobre de l'eix Y. L'última simulació també tindrà la força horitzontal, però anirà per sobre l'eix X. Per cada simulació s'ensenyarà una representació gràfica per aclarir cada situació.

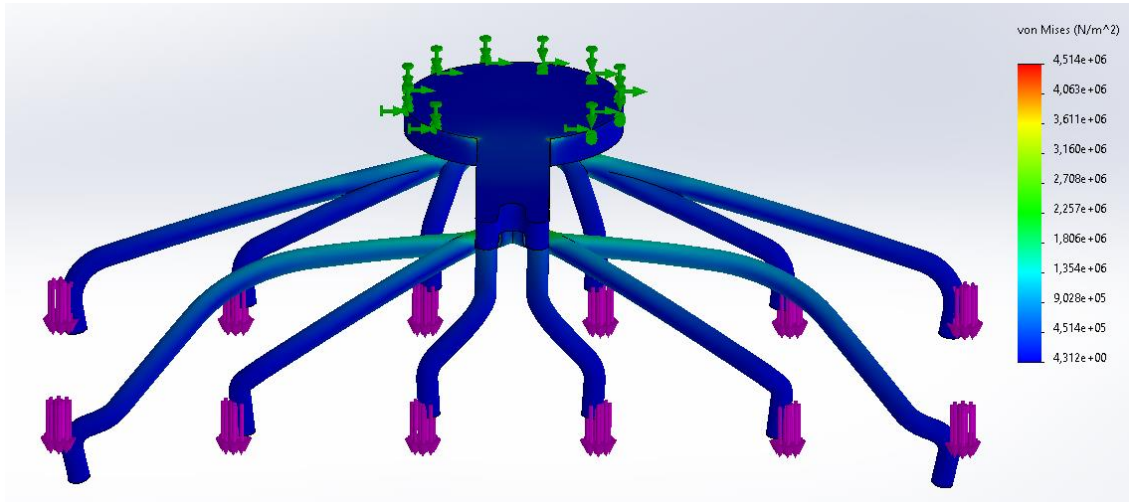


Figura 5.20: Primera simulació per eix Z, tensions. Font: Pròpia.

Començant per la primera situació, pel que fa a les tensions a l'estructura, mitjançant les tensions de Von Mises, s'obtenen uns valors baixos que corresponen al que s'esperaria de manipular càrregues tan baixes. Com es pot observar a la **Figura 5.20**, la major tensió obtinguda és de $4,5140 \text{ N/mm}^2$ o MPa , que comparant aquest valor amb el límit elàstic de l'ABS, que és de 32 MPa , es pot comprovar com compleix de forma totalment satisfactòria. Cal remarcar que, de totes maneres, el valor de tensió màxim apareix a zones amb cantonades molt pronunciades, aleshores més endavant, al realitzar els arrodoniments i processos d'acabat a l'utilatge, desapareixeran.

Per tant es pot dir que el valor real de les tensions màximes no supera els 3.5 MPa . De totes maneres, amb el resultat de la simulació es pot calcular el coeficient de seguretat.

$$FDS = \frac{\sigma_m}{\sigma_{VM}} = \frac{32 \text{ MPa}}{4.514 \text{ MPa}} = 7,089 \quad (5.2)$$

On FDS és el factor de seguretat, σ_{VM} és la tensió de Von Mises, i σ_m és el límit elàstic del material.

Mitjançant *SolidWorks* es pot realitzar una representació gràfica del factor de seguretat sobre la estructura, també mitjançant la tensió de Von Mises.

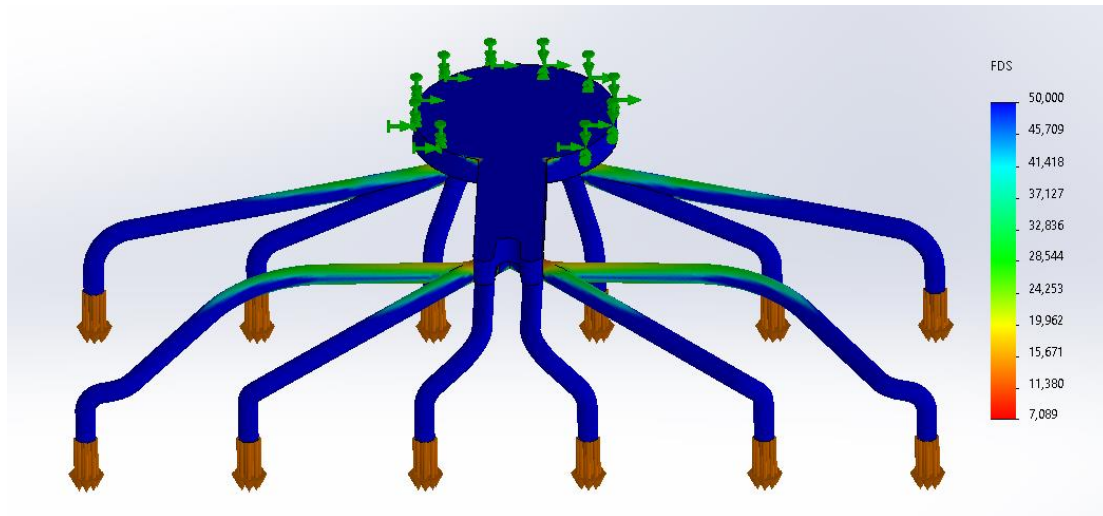


Figura 5.21: Primera simulació per eix Z, factor de seguretat. Font: Pròpia.

Els resultats obtinguts (**Figura 5.21**) són idèntics als calculats, on el mínim factor de seguretat és també de 7,089. Es pot observar com el gràfic del factor de seguretat és molt similar al de les tensions, on els punts més crítics es troben sobre les unions dels conductes.

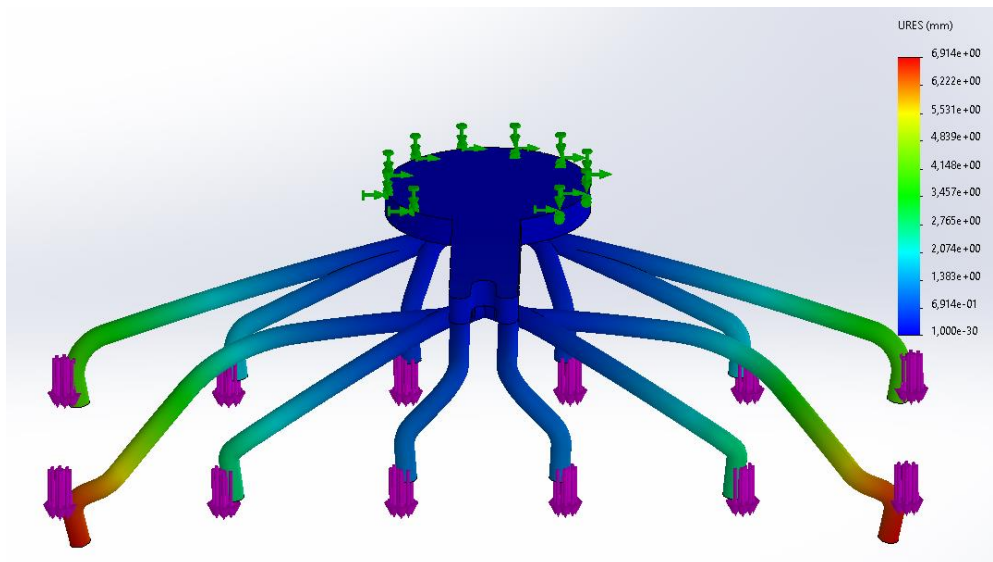


Figura 5.22: Primera simulació per eix Z, deformacions. Font: Pròpia.

Un cop s'han comprovat les tensions, caldrà comprovar els desplaçaments o deformacions. En aquest cas, a causa de l'aplicació que té aquest element, és molt important mantenir les deformacions en un rang molt petit, això és principalment perquè

es tracta d'un utilatge. Aquest utilatge durant la manipulació de les peces ha de complir altres tasques que requereixen precisió, aleshores, a major deformació, menor serà la precisió. Els resultats obtinguts per les deformacions es mostren en la **Figura 5.22**.

Tal com era d'esperar, les parts que pateixen majors desplaçaments són les que estan més allunyades de l'estructura central. De totes maneres, els resultats obtinguts són molt bons, on el desplaçament més gran té un valor de 6.9140 mm , però només és present en dos punts de l'estructura. Per la resta de l'utilatge, els valors màxims de desplaçaments no passen dels 5 mm .

Ara també serà necessari comprovar la resistència de l'utilatge per una posició diferent del braç robòtic. La posició amb la qual el braç recull el conjunt de colzes del motlle, és amb una posició vertical (**Figura 5.23**).

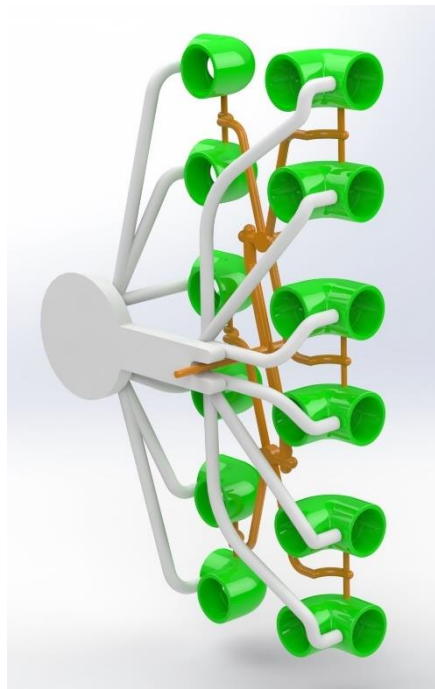


Figura 5.23: Posició vertical dels colzes i colada. Font: Pròpia.

Per simular aquesta situació es configuren les càrregues també de forma vertical. El valor d'aquestes encara és de 2 N per cada element. També existiria una configuració igual però amb les forces en sentit contrari, però com l'utilatge és simètric, els resultats serien els mateixos.

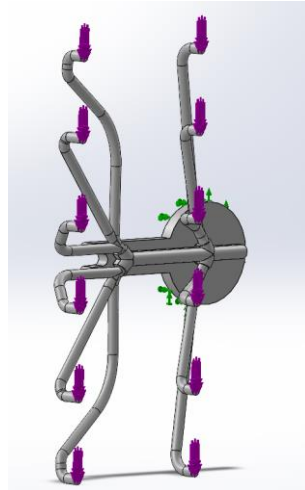


Figura 5.24: Primera simulació, càrregues eix Y. Font: Pròpia.

Els resultats obtinguts són molt similars al del cas anterior, on les tensions estan molt per sota del límit elàstic del material, i els valors màxims es troben concentrats en punts concrets. A la **Figura 5.25** es mostren aquests resultats, el valor màxim de la tensió de Von Mises és de $4,2170 \text{ MPa}$, que està molt per sota dels 32 MPa .

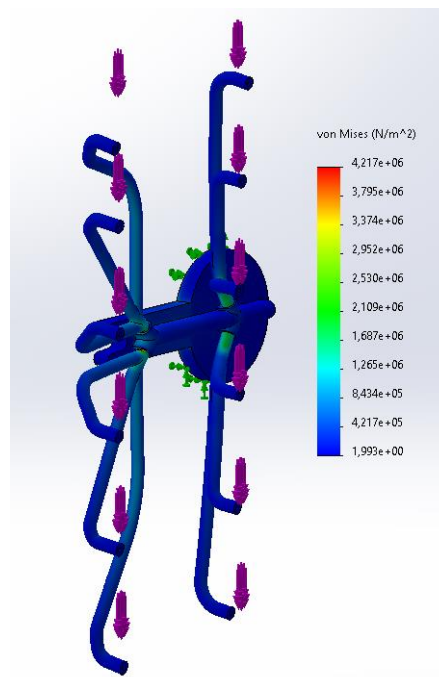


Figura 5.25: Tensions primera simulació, càrregues eix Y. Font: Pròpia.

I per les deformacions el comportament també és molt similar. On les majors deformacions apareixen als punts més extrems de forma puntual, amb un valor màxim de $4,3260 \text{ mm}$, però per la majoria de l'estructura aquests no superen els 3 mm .

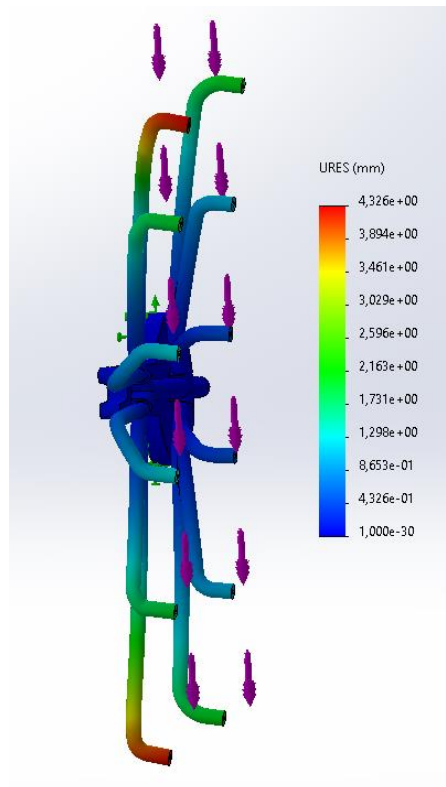


Figura 5.26: Deformacions primera simulació, càrregues eix Y. Font: Pròpia.

Finalment, també caldrà comprovar els esforços quan són transversals a l'utilatge (**Figura 5.27**). També podria existir una configuració igual amb les forces en sentit contrari, però aquesta no tindria sentit ja que el braç robòtic mai es trobarà en aquesta posició.

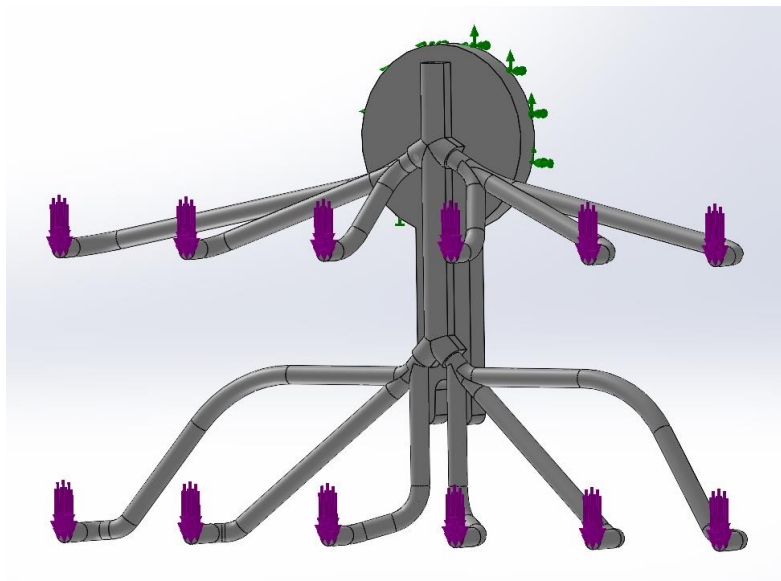


Figura 5.27: Configuració de forces per l'eix X. Font: Pròpia.

Per aquesta última situació els resultats obtinguts són molt similars als anteriors, amb una tensió màxima molt per sota del límit, que té un valor de $5,2540 \text{ MPa}$. I la deformació màxima és de $5,478 \text{ mm}$.

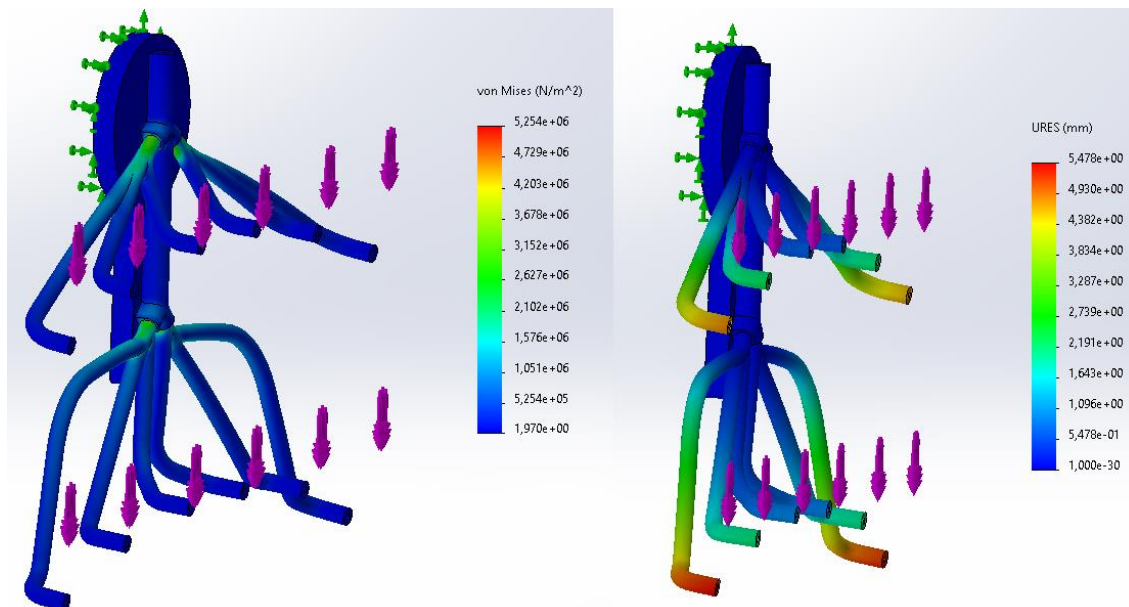


Figura 5.28: Tensions i deformacions primera simulació, càrregues eix X. Font: Pròpia.

Després d'analitzar aquests tres escenaris possibles, es pot determinar que el cas més desfavorable en quant a deformacions és el primer, on la força té la direcció normal a la superfície de l'utilatge. Aleshores, a partir d'ara, per les modificacions posteriors que es realitzin, la situació que serà més significativa serà la primera.

Taula 5.1: Resum resultats primera simulació. Font: Pròpia.

Configuració de càrregues	Deformacions [mm]	Tensions [MPa]	FDS
Primer cas, eix Z	6,914	4,514	7,089
Segon cas, eix Y	4,326	4,217	7,588
Tercer cas, eix X	5,478	5,254	6,091

5.4.2 Influència del gruix dels conductes

En aquest apartat s'analitzarà la influència que té augmentar el gruix dels conductes sobre les tensions i deformacions de l'utilatge. És important tractar amb detall aquesta característica, ja que és important trobar un punt òptim entre quantitat de material utilitzat i la resistència de l'estructura.

En l'apartat anterior s'ha treballat amb un diàmetre exterior de 15 mm i un interior de 3 mm, això fa un gruix de 6 mm. A aquesta primera simulació es considerarà de nivell de gruix mitjà.

Calculant el gruix amb $\rightarrow \text{gruix} = \frac{\text{diàmetre exterior}}{2} - \frac{\text{diàmetre interior}}{2}$

$$\text{Aleshores} \rightarrow \text{gruix mitjà} = \frac{15}{2} - \frac{3}{2} = 6 \text{ mm}$$

Ara es començarà analitzant l'estructura amb gruix gran, això vol dir que el diàmetre exterior passa a ser de 19 mm, i l'interior es manté. El gruix és de 8 mm. I es finalitzarà amb una simulació de gruix petit, amb un diàmetre exterior de 10 mm, aleshores el gruix és de 3,5 mm.

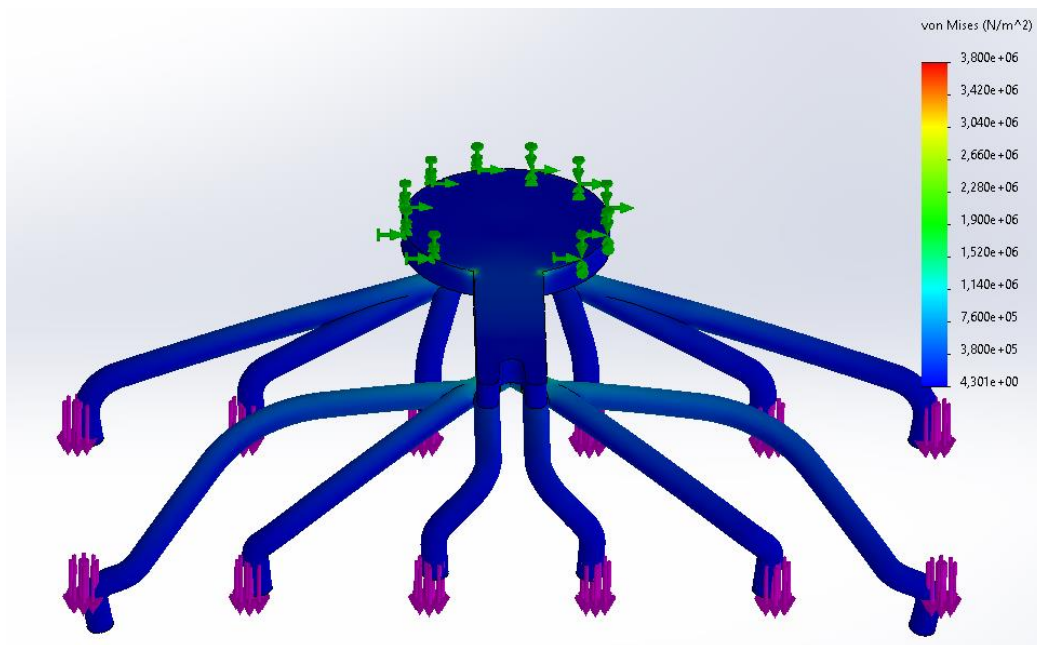


Figura 5.29: Diagrama de tensions amb gruix gran. Font: Pròpia.

A la **Figura 5.29** es mostren els resultats de la tensió amb un gruix més gran, i s'obté un valor màxim de 3,8 MPa, més baix que en la simulació amb gruix mitjà. Passem de 4,5 MPa a aquests 3,8 MPa, això significa una reducció de la tensió màxima de 15,5%. Aquesta millora tampoc és molt significativa tenint en compte que s'ha incrementat el gruix en un 33,3%.

Pel factor de seguretat:

$$FDS = \frac{32 \text{ MPa}}{3,8 \text{ MPa}} = 8,42$$

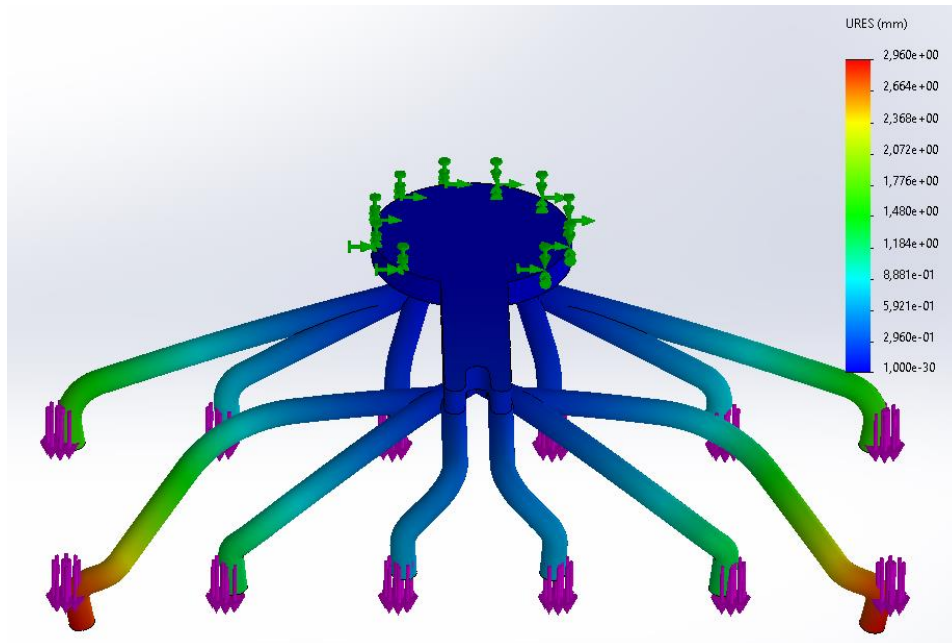


Figura 5.30: Diagrama de deformacions amb guix gran. Font: Pròpia.

Per les deformacions es pot comprovar com aquestes s'han vist reduïdes de forma notable, passant de $6,914\text{ mm}$ a $2,96\text{ mm}$. Aquesta és una reducció del desplaçament del 57%.

No obstant això, com ja s'ha comentat, aquest increment del guix suposa un increment també de la quantitat de material necessari.

Per calcular la quantitat de material extra que es necessitarà respecte al guix mitjà es pot fer de la següent forma.

L'àrea d'un cilindre és:

$$\text{Àrea} = (\pi \cdot r^2) \cdot h \quad (5.3)$$

On r és el radi del cilindre, i h l'alçada.

Però com que es vol calcular l'àrea d'un cilindre buit.

$$\text{Àrea} = (\pi \cdot r1^2) \cdot h - (\pi \cdot r2^2) \cdot h \quad (5.4)$$

On $r1$ és el radi exterior i $r2$ és el radi interior, és a dir, de la zona buida.

$$\text{\`{A}rea} = \pi \cdot h \cdot (r1^2 - r2^2) \quad (5.5)$$

Aleshores, el terme $\pi \cdot h$ es considera com a una constant k , i també, per aquest cas en concret, $r2$ sempre és igual a $1,5 \text{ mm}$.

$$\text{\`{A}rea} = k \cdot (r1^2 - 2.25) \quad (5.6)$$

On $r1$ és el radi exterior en mm .

Amb això, si comparem utilitzant l'equació (5.6) i comparant pels dos guixos.

$$\text{Area guix mitjà} = k \cdot \left(\left(\frac{15}{2} \right)^2 - 2.25 \right) = k \cdot 54$$

$$\text{Area guix gran} = k \cdot \left(\left(\frac{19}{2} \right)^2 - 2.25 \right) = k \cdot 88$$

Aquests resultats indiquen que si s'utilitzés els conductes amb guix gran es necessitaria un 63% més de material. Per la reducció de tensions en l'estructura, a part que és una reducció petita, no tindria cap sentit, ja que es troba molt per sota dels límits de ruptura del material. Però per minimitzar els desplaçaments de l'utilatge durant el seu funcionament, podria resultar una solució efectiva.

Ara es farà la mateixa simulació però per un guix petit.

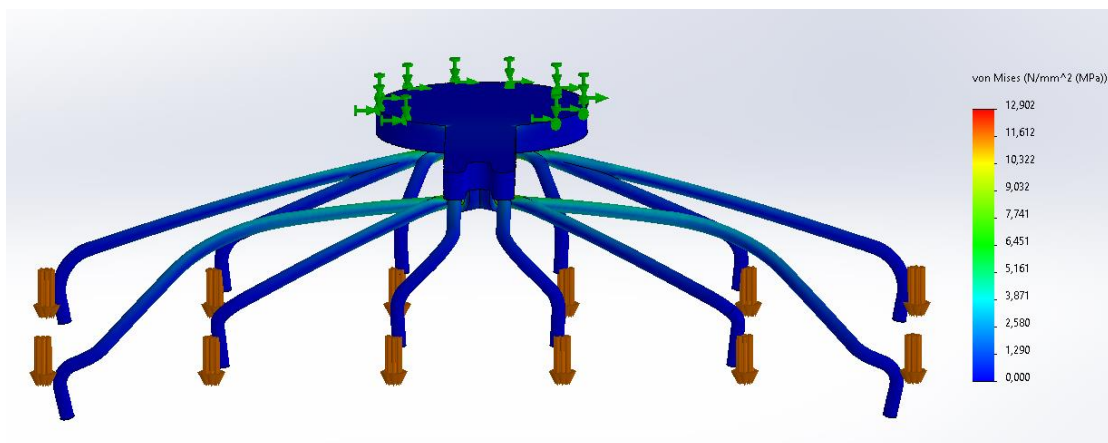


Figura 5.31: Diagrama de tensions amb guix petit. Font: Pròpia.

Com es pot comprovar, en disminuir el guix dels conductes, que són la part que estava sotmesa a més tensions, aquestes augmenten de forma significativa. En aquest cas, amb un guix de 3.5 mm , les tensions màximes tenen un valor de $12,902 \text{ MPa}$, que, encara i

ser molt superiors als casos anteriors, continuen estant per sota del límit elàstic, amb un factor de seguretat de 2.48.

$$FDS = \frac{32 \text{ MPa}}{12,902 \text{ MPa}} = 2,48$$

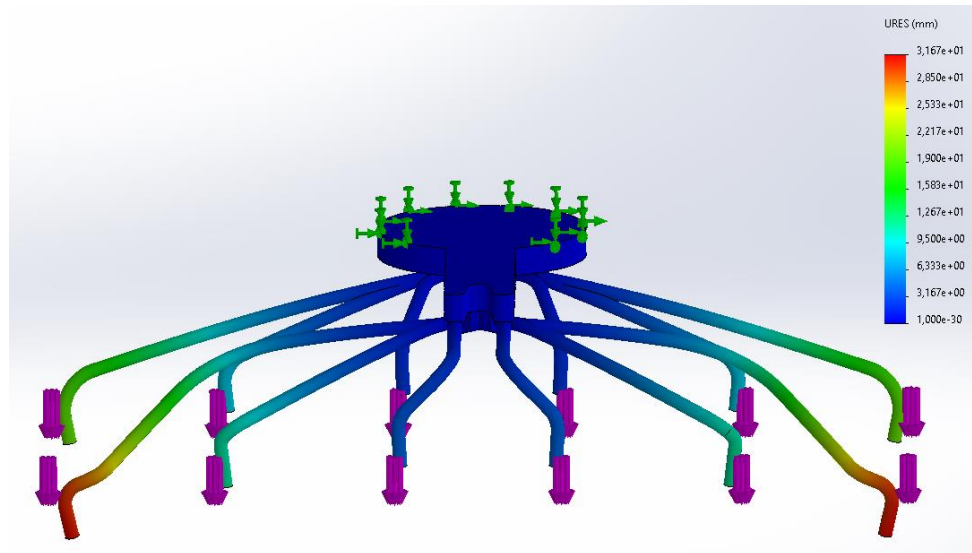


Figura 5.32: Diagrama de deformacions amb gruix petit. Font: Pròpia.

El resultat amb els desplaçaments segueix la mateixa tendència creixent. Com era d'esperar, aquests han augmentat en gran manera, amb un valor màxim de 31,67 mm.

Si es fa el mateix exercici que per l'utilatge amb gruix gran podem comparar el material necessari.

$$Area \text{ guix petit} = k \cdot \left(\left(\frac{10}{2} \right)^2 - 2,25 \right) = k \cdot 22,75$$

Això vol dir que es necessita un 58% menys de material. D'aquesta manera no es pot justificar utilitzar aquest guix tant petit, ja que, tot i que les tensions estan dintre dels límits de ruptura, les deformacions són massa grans com per garantir el correcte funcionament del procés. No obstant això, és possible que, mitjançant elements estructurals addicionals, hi hagi la possibilitat de minimitzar aquests desplaçaments.

Els resultats d'aquestes simulacions s'han agrupat en una taula resum per facilitar el seu anàlisi i poder realitzar una comparació de forma més àgil. Tot que només s'han ensenyat les simulacions per l'eix Z, tan pel gruix gran com pel petit, aquestes apareixen dintre dels Annexos.

Taula 5.2: Resum simulacions per gruixos. Font: Pròpia.

Simulació		Deformacions [mm]	Tensions [MPa]	FDS
Gruix mitjà	Primer cas, eix Z	6,914	4,514	7,1
	Segon cas, eix Y	4,326	4,217	7,6
	Tercer cas, eix X	5,478	5,254	6,1
Gruix gran	Primer cas, eix Z	2,960	3,800	8,4
	Segon cas, eix Y	2,008	2,510	12,7
	Tercer cas, eix X	2,256	3,342	9,6
Gruix petit	Primer cas, eix Z	31,670	12,902	2,5
	Segon cas, eix Y	20,990	12,290	2,6
	Tercer cas, eix X	25,400	13,490	2,4

A continuació s'adjunten dues gràfiques on es comparen tots els resultats obtinguts.

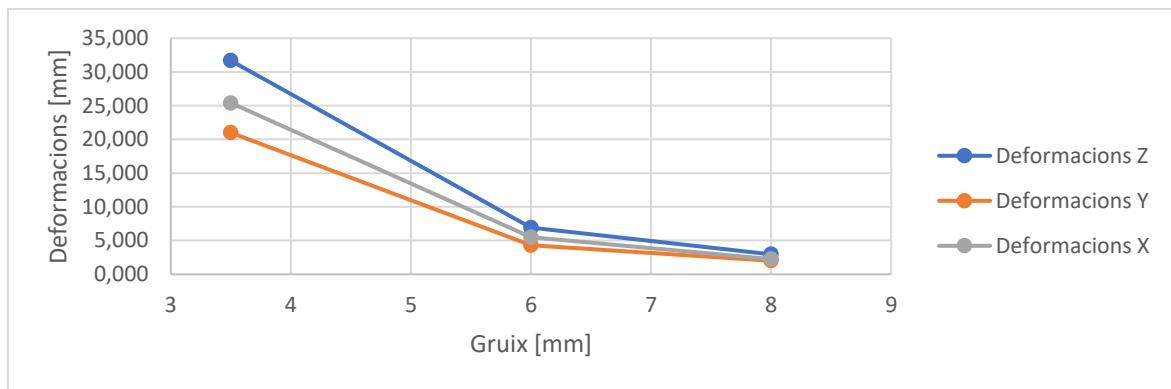


Figura 5.33: Gràfica deformacions en funció del gruix. Font: Pròpia.

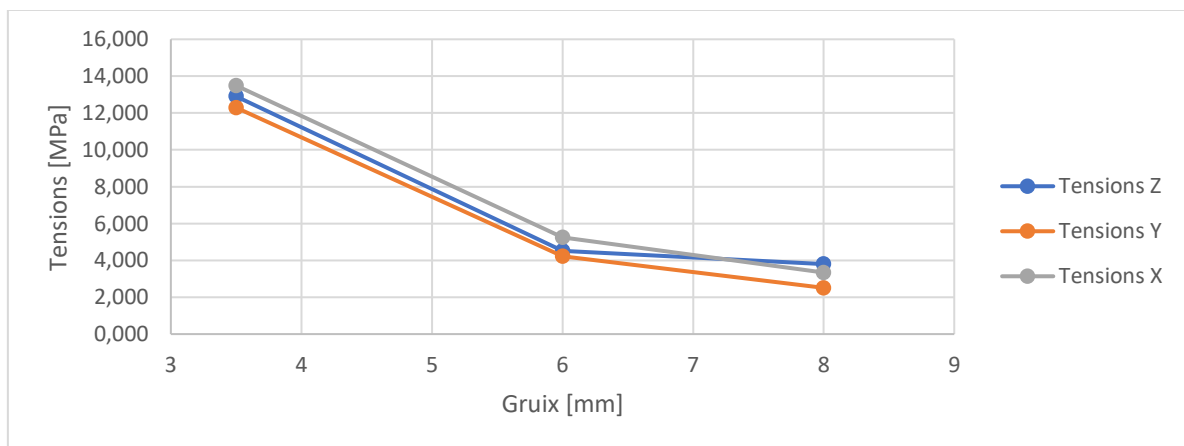


Figura 5.34: Gràfica tensions en funció del gruix. Font: Pròpia.

Un cop s'han realitzat totes aquestes simulacions i analitzat el resultat es pot arribar a una sèrie de conclusions. La primera seria que, degut a la petita càrrega que ha de

manipular l'utillatge, les tensions no suposen un inconvenient, ni tan sols quan es treballa amb una estructura molt fina. Per altra banda, les deformacions prenen un rol més important per determinar l'estructura més idònia.

Es pot comprovar com per una estructura amb gruixos equilibrats (gruix mitja), s'obtenen resultats bons, sense requerir quantitats molt grans de material. Aleshores des del punt de vista de l'eficiència entre la deformació i la quantitat de material utilitzat, l'estructura amb un gruix mitjà és la més indicada.

No obstant això, com que els plàstics no són materials excessivament cars, i la seva densitat és també baixa, és possible que utilitzar una estructura amb gruixos més elevats pugui suposar beneficis crítics de cara al correcte desenvolupament de la tasca de cara a precisió. A la vegada, usar quantitats excessivament grans de material, encara que s'ha comprovat que no és tan eficient, sí que afegeix un factor extra de redundància.

5.4.3 Segona simulació

Després de realitzar la primera simulació, és evident que el model utilitzat no és completament acurat a la realitat, ja que s'ha suposat que sobre cada branca de l'estructura actua una força puntual del mateix valor, i això seria cert només en la fase en la qual es subjecten individualment els colzes. Però el cas més desfavorable és en el qual es subjecten, al mateix temps, els colzes i la colada.

Aleshores, quan es dona aquesta situació, realment les càrregues que s'emporta cadascuna de les branques és diferent, ja que, a causa de la rigidesa del conjunt de la colada i els colzes, es redistribueixen les tensions, fent que algunes subjeccions hagin d'exercir càrregues més grans.

Per a verificar que el model emprat en la primera simulació ofereix resultats fiables de cara a la seguretat estructural, se simularà l'estructura amb un model diferent i es compararan els resultats obtinguts. Cal notar que per aquest cas, s'utilitzarà l'utillatge amb parets gruixudes.

En aquest cas, a manera de colada, s'ha dissenyat una simplificació amb una configuració geomètrica molt similar, i una massa gairebé idèntica. Com ja s'ha comentat, la massa del conjunt real, és de 1934,24 *g*, i la massa del simplificat és de 1995,4 *g*.

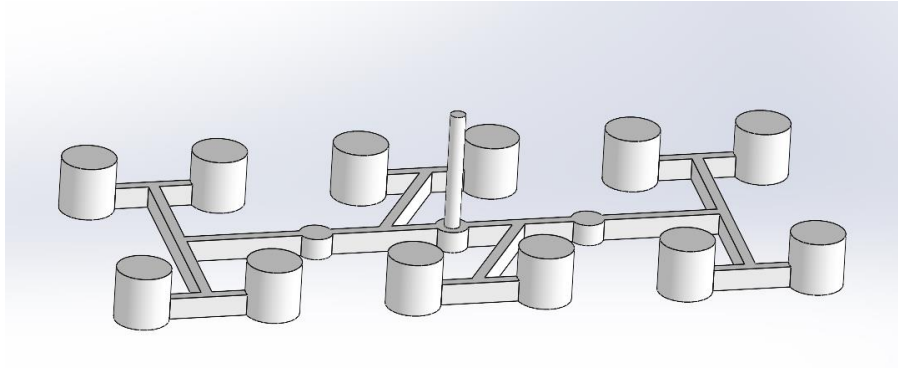


Figura 5.35: Colada i colzes simplificats. Font: Pròpia.

A partir d'aquí, amb un assemblatge s'han unit la colada i els colzes amb l'utillatge, i s'ha realitzat la simulació, considerant que l'única força que actua és la de la gravetat. És per això que la massa del conjunt simplificat ha de ser tan similar com sigui possible a la real per tal que els resultats siguin acurats. La configuració és la que es mostra a la **Figura 5.36**. De la mateixa manera que per la primera simulació, també s'han fet tres configuracions diferents, variant la direcció de la força.

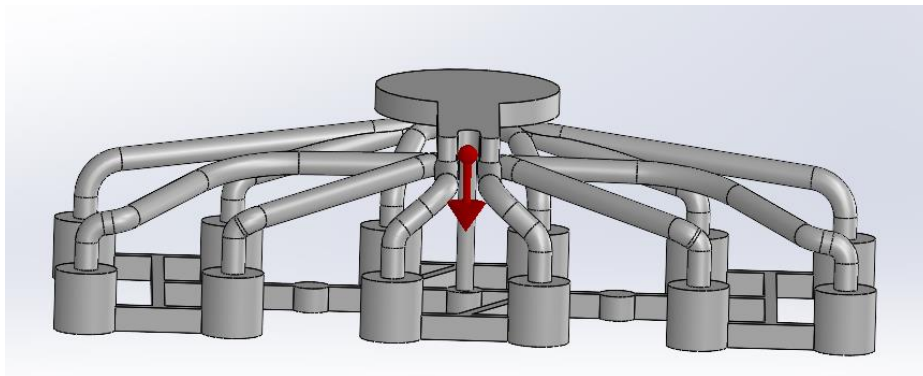


Figura 5.36: Configuració per la segona simulació. Font: Pròpia.

De forma similar a la primera simulació, els valors de les tensions es troben molt per sota del límit del material, i només en parts concretes de l'estructura hi ha les concentracions de tensions que donen el resultat màxim obtingut en la simulació. Per a la primera configuració, amb la força en Z, la tensió màxima és de $5,317 \text{ MPa}$, amb un factor de seguretat superior a 6.

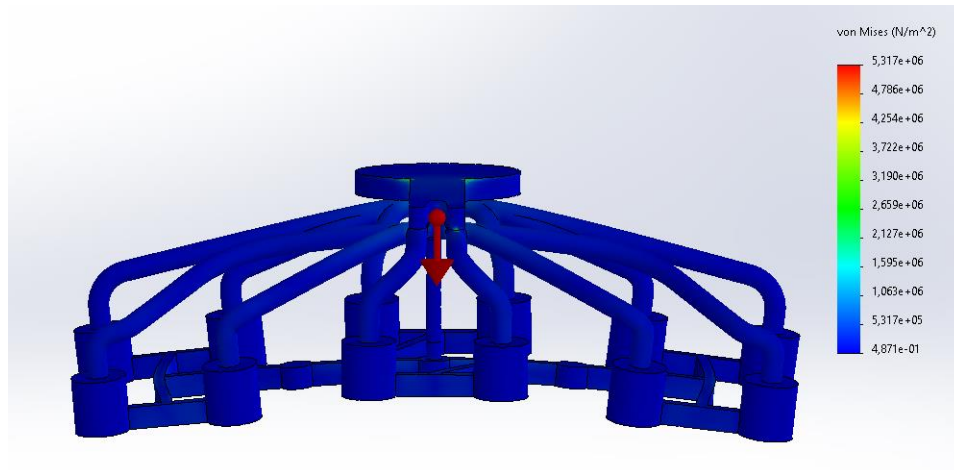


Figura 5.37: Tensions força eix Z, segona simulació. Font: Pròpia.

El comportament de l'estructura per les deformacions és l'esperat, i no difereix en gran manera a l'obtingut en la primera simulació, de manera que les principals deformacions es concentren en els punts més extrems de l'estructura. Per aquest model les deformacions s'han reduït, amb un valor màxim de 1,133 mm.

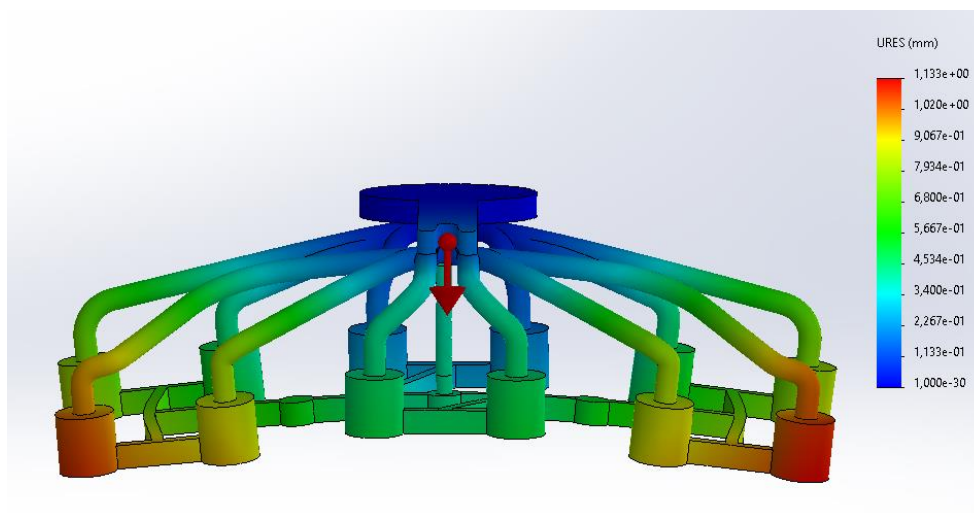


Figura 5.38: Deformacions força eix Z, segona simulació. Font: Pròpia

Per la segona configuració, on la força aplicada es troba sobre l'eix Y, les tensions segueixen el mateix patró que pel cas anterior. El valor màxim és encara menor, i és de 3,613 MPa, amb un factor de seguretat de 8,8.

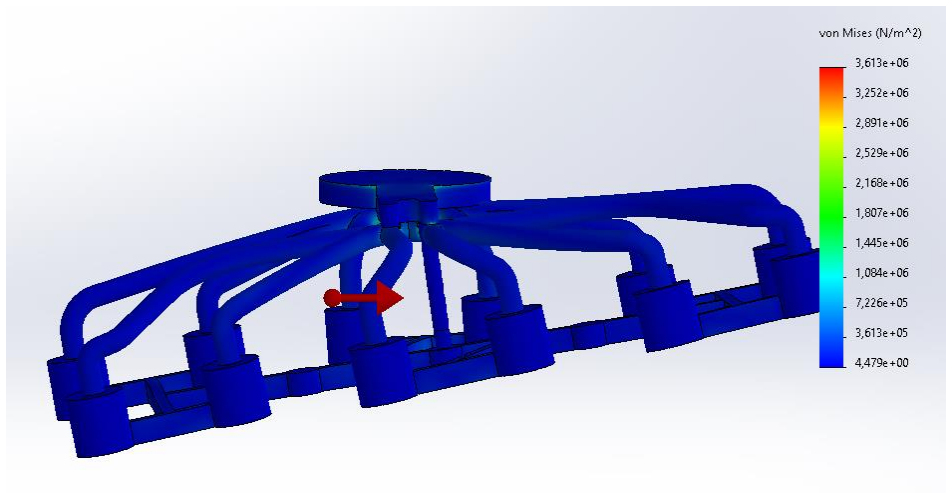


Figura 5.39: Tensions força eix Y, segona simulació. Font: Pròpia

Les deformacions també s'han reduït respecte a la primera simulació, i el valor màxim és de 1,259 *mm*.

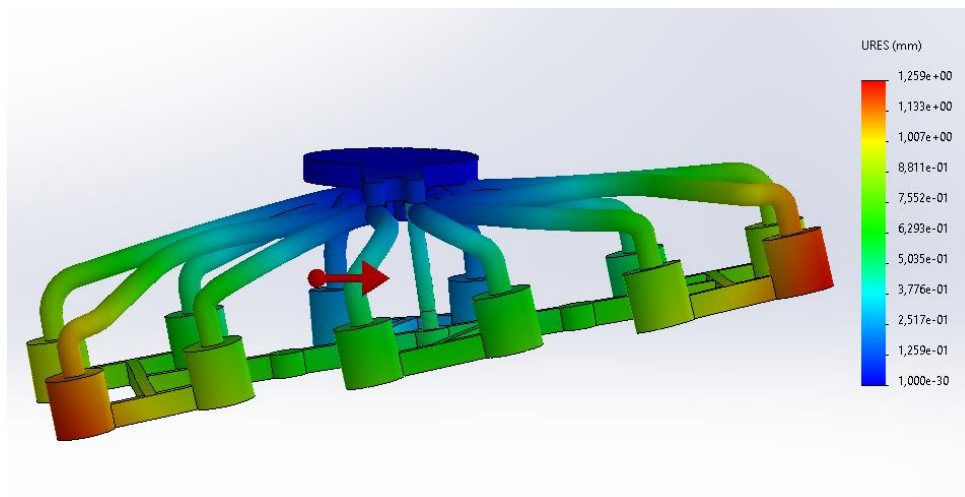


Figura 5.40: Deformacions força eix Y, segona simulació. Font: Pròpia

Amb la tercera i última configuració, on la força s'aplica a l'eix X, les tensions també segueixen la mateixa distribució, amb uns valors molt baixos per tota l'estructura i es concentren aquestes tensions en punts específics. El valor màxim és de 2,87 *MPa*, i un coeficient de seguretat d'11.

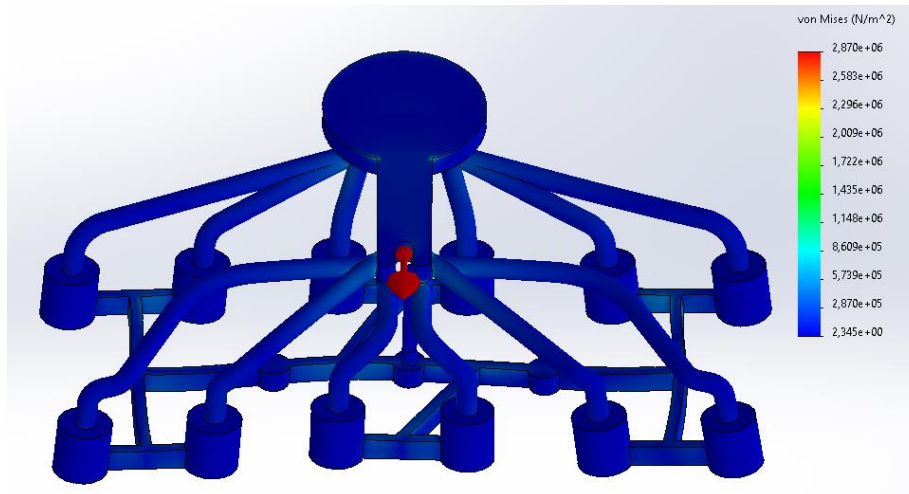


Figura 5.41: Tensions força eix X, segona simulació. Font: Pròpia

Finalment, les deformacions per la tercera configuració han sigut les més baixes, amb un valor màxim de 0,9632 *mm*.

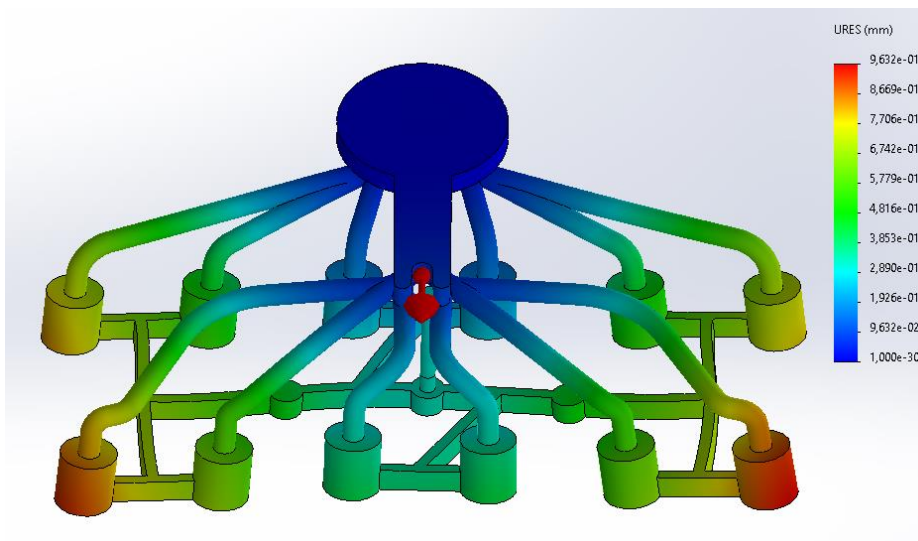


Figura 5.42: Deformacions força eix X, segona simulació. Font: Pròpia

Taula 5.3: Resultats, comparació segona simulació i primera. Font: Pròpia.

Simulació		Deformació [mm]	Tensió [Mpa]	FS
Primera	eix Z	2,96	3,8	8,42
	eix Y	2,008	2,51	12,75
	eix X	2,256	3,342	9,58
Segona	eix Z	1,133	5,317	6,02
	eix Y	1,259	3,613	8,86
	eix X	0,9632	2,87	11,15

Comparant els resultats obtinguts en la primera simulació amb els de la segona, es veu com els valors són més favorables per aquesta última. Com ja s'ha comentat això és a causa que hi ha tensions que es distribueixen per la colada i aleshores els valors de les forces puntuals a cada branca de l'utilatge no són iguals. També cal considerar que en realitzar la primera simulació, es va considerar un valor total de força superior al que exerceix el mateix pes del conjunt a moure, de cara a aconseguir resultats més segurs.

Amb això es pot comprovar com les anàlisis elaborades en les anteriors simulacions són correctes de cara a obtenir un comportament segur i resistent a l'hora de treballar amb càrregues de valors similars.

5.4.4 Suport estructural addicional

Després d'analitzar l'estructura, i veure la influència que té el gruix amb la resistència del mateix, s'ha decidit estudiar la possibilitat d'implementar un suport estructural addicional, amb l'objectiu de fer l'utilatge més robust i minimitzar els desplaçaments.

Després dels resultats obtinguts en l'apartat anterior, s'ha decidit descartar la possibilitat d'utilitzar uns conductes amb gruix molt baix, ja que aquests provoquen uns desplaçaments excessivament grans. A partir d'aquí, es vol analitzar quina influència pot tenir aquest suport amb el desplaçament.

Primerament el que s'ha fet ha sigut identificar les parts que pateixen majors deformacions. Mitjançant tots els resultats obtinguts amb les simulacions de l'apartat anterior, es fàcil identificar que les majors deformacions es troben als extrems dels conductes més llargs, específicament, als dos conductes extrems de la part inferior (segons la **Figura 5.43**).

Amb això, basant-se en els resultats de la anàlisi topològic realitzat a l'apartat 4, amb la **Figura 5.7**, s'ha decidit considerar la implementació d'una estructura que uneixi els extrems dels conductes de la part inferior de l'utilatge.

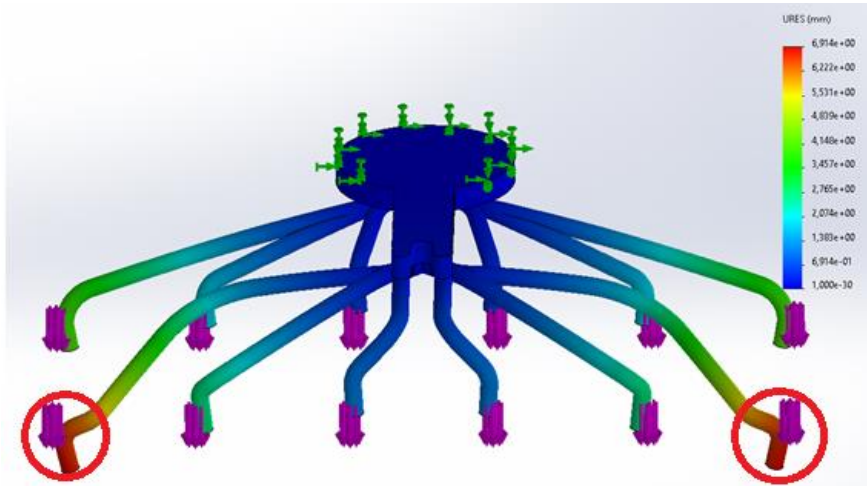


Figura 5.43: Punts amb major deformació. Font: Pròpia.

D'aquesta manera, es consideraran tres possibles solucions. La primera és mitjançant una unió amb secció rectangular que connecta els centres dels extrems dels conductes (**Figura 5.44**),

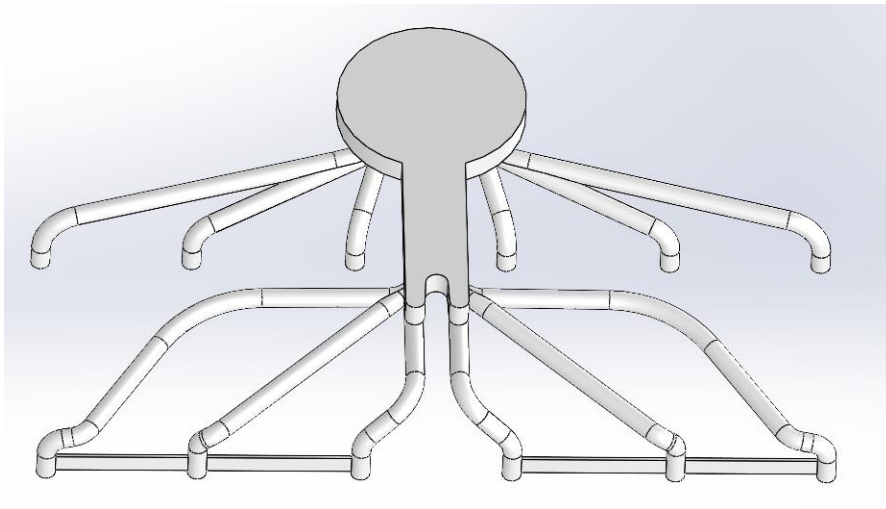


Figura 5.44: Suport rectangular central. Font: Pròpia.

La segona serà mitjançant dues unions rectangulars situades als extrems (**Figura 5.45**).

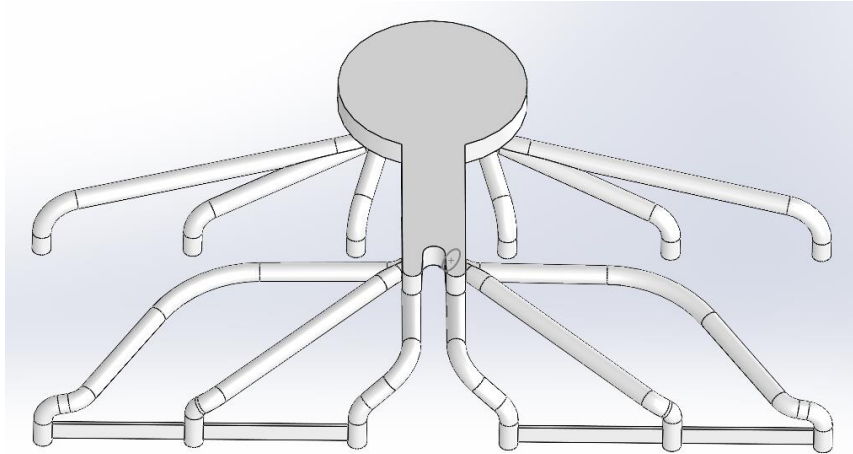


Figura 5.45: Dos suports rectangulars laterals. Font: Pròpia.

I la tercera proposta és, semblant a la segona, però omplint l'espai entre els dos suports amb un patró *honeycomb*, caracteritzat per la seva forma de bresca d'abella.

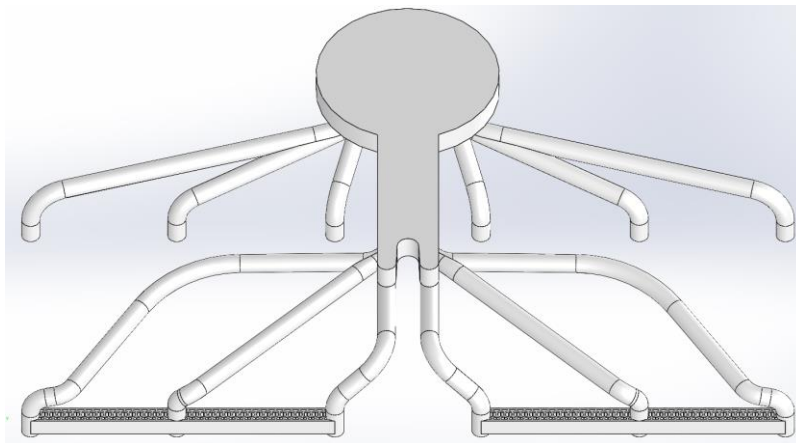


Figura 5.46: Dos suports amb patró *honeycomb*. Font: Pròpia.

La disposició dels suports en tots els casos s'ha realitzat de tal forma, que s'intenta minimitzar els desplaçaments màxims, que aquests ocorren quan la força es normal a la superfície de l'utilatge. Aleshores el que s'intenta és utilitzar el perfil del suport de forma que la seva inèrcia sigui màxima, maximitzant el seu efecte i reduint els desplaçaments.

Es pot agafar com a referència la fletxa d'una biga encastada, que actuaria de forma similar als suports addicionals afegits.

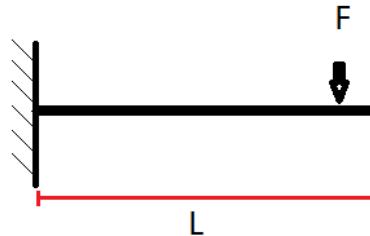


Figura 5.47: Biga encastada amb càrrega puntual. Font: Pròpia.

La fletxa d'un sistema com aquest és:

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (5.7)$$

Aleshores es pot observar com a major inèrcia, menor serà la fletxa de la biga en l'extrem i la deformació.

Amb això, com que la inèrcia d'un rectangle és:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (5.8)$$

Com que depèn de l'alçada al cub, es posarà el perfil del suport de forma vertical, maximitzant la inèrcia i minimitzant la deformació.

Per exemple, si en canvi de disposar el suports verticalment, com a la **Figura 5.44**, es disposen de forma horitzontal, com a la **Figura 5.48**, s'obté una deformació màxima de 5,548 mm (**Figura 5.49**), i amb els suports verticals la deformació és de 5,061 mm (**Figura 5.50**). Això és només un exemple per justificar la disposició dels suports, però també es pot comprovar l'efectivitat d'aquests respecte la reducció de desplaçaments.

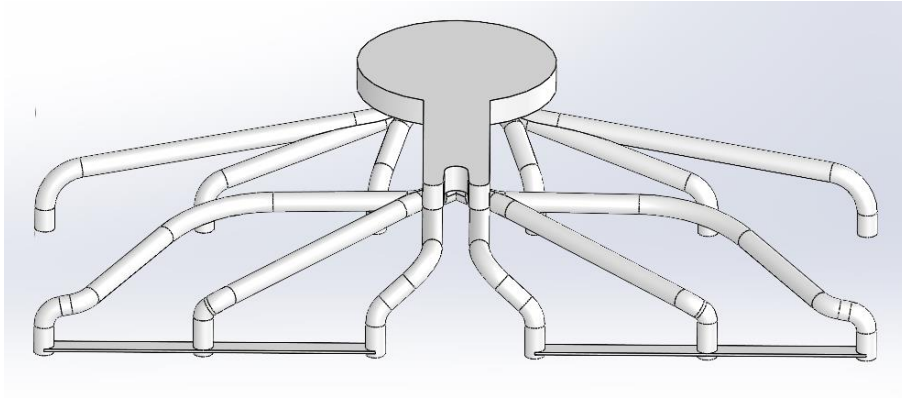


Figura 5.48: Suport rectangular horitzontal. Font: Pròpia.

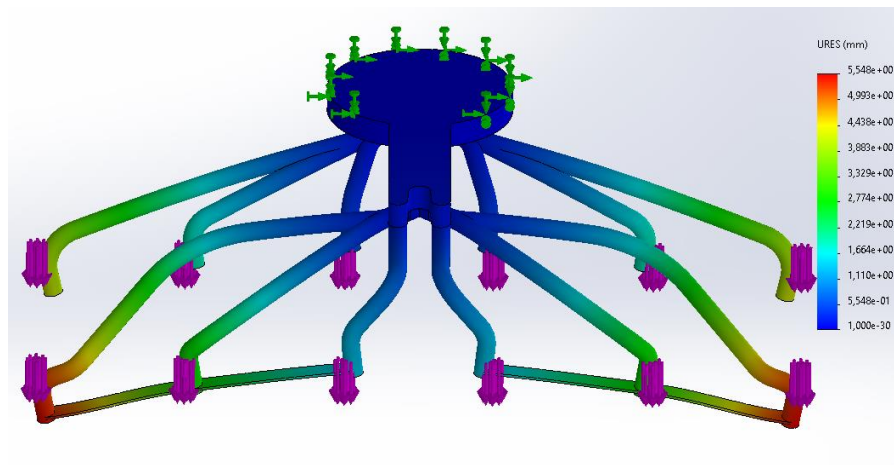


Figura 5.49: Deformacions suport horitzontal. Font: Pròpia.

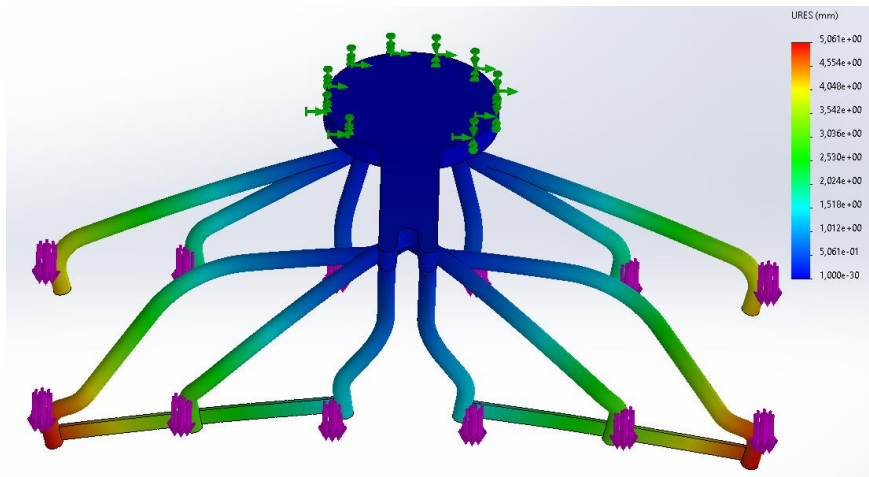


Figura 5.50: Deformacions suport vertical. Font: Pròpia.

Un cop realitzades les consideracions anteriors, s'han realitzat les simulacions per cadascun dels casos i els resultats s'han agrupat en una taula.

Com ja s'ha comentat, només s'han considerat les estructures amb gruix mitjà i gran, descartant la de gruix petit a causa de les grans deformacions que presenta. A partir d'aquí, amb les tres diferents configuracions del suport addicional, i les tres configuracions en què es pot presentar la força, s'han realitzat les simulacions per cada possibilitat. Cal notar que no s'ha calculat el factor de seguretat, ja que ara no és rellevant, perquè el que es vol estudiar és la deformació. Així i tot, s'ha anotat el valor de la tensió màxima per cada simulació per tenir més o menys present el seu valor. De totes maneres, per poder simular el cas amb una estructura *honeycomb*, pel cas amb parets gruixudes, s'ha hagut de fer un mallat molt fi, i els resultats de tensions són més grans per aquest cas en concret. Això és perquè, com s'ha comentat anteriorment, aquestes tensions màximes apareixen en punts crítics com cantells, els quals, mitjançant un arrodoniment a una fase posterior, es veuran dràsticament reduïts.

Taula 5.4: Resultats simulacions suports addicionals. Font: Pròpia.

Simulació		Def. [mm]	Tensions [Mpa]	Reducció [mm]	Reducció [%]	Avg red. [%]	
Guix mitjà	Placa central	Eix Z	5,061	4,571	1,853	26,8	
		Eix Y	2,66	4,25	1,666	38,5	25,4
		Eix X	4,887	4,988	0,591	10,8	
	Dues plaques	Eix Z	5,005	4,576	1,909	27,6	
		Eix Y	2,676	4,386	1,650	38,1	25,5
		Eix X	4,886	4,996	0,592	10,8	
	Plaques honeyc.	Eix Z	4,826	4,37	2,088	30,2	
		Eix Y	2,493	4,163	1,833	42,4	27,8
		Eix X	4,88	4,995	0,598	10,9	
Gruix gran	Placa central	Eix Z	2,339	3,632	0,621	21,0	
		Eix Y	1,386	2,509	0,622	31,0	21,6
		Eix X	1,966	3,328	0,290	12,9	
	Dues plaques	Eix Z	2,284	3,604	0,676	22,8	
		Eix Y	1,377	2,52	0,631	31,4	22,4
		Eix X	1,966	3,006	0,290	12,9	
	Plaques honeyc.	Eix Z	2,23	6,498	0,730	24,7	
		Eix Y	1,334	4,75	0,674	33,6	23,5
		Eix X	1,977	3,52	0,279	12,4	

Un cop s'han realitzat totes les simulacions, analitzant els resultats es pot comprovar com afegir aquest suport estructural addicional suposa una reducció de la deformació notable, entre el 20% – 30%.

També es veu com amb un gruix menor, aquesta reducció és lleugerament eficient. No obstant això, com que es busca garantir que el treball es desenvoluparà de la forma més segura possible, intentant minimitzar les fallades, utilitzar un gruix més gran significa deformacions menors i més precisió alhora fer la tasca. Addicionalment, en cas d'alguna incidència o fallada, al ser més robust l'utilitatge, és més probable que suporti algun tipus d'impacte. De la mateixa manera, s'ha decidit implementar el suport mitjançant dues plaques i el *honeycomb*, que tot ser menys eficient respecte al material emprat i la millora aparent, ofereix una robustesa addicional a aquests suports.

5.5 Sistema de subjecció

Com ja s'ha comentat anteriorment, el sistema de subjecció que s'utilitzarà serà mitjançant ventoses de buit. Aquestes, com el seu nom indica, usen pressió de buit per adherir-se a la peça que volen manipular. Això és possible mitjançant una diferència de pressions entre l'interior i l'exterior de la ventosa. D'aquesta manera es genera una pressió negativa a l'interior de la ventosa, extraient l'aire amb un generador de buit.

Aquest mètode de subjecció és molt comú a l'hora d'acomplir tasques com la d'aquest projecte, on es necessita la manipulació de peces a alta velocitat i precisió. També ofereixen una gran flexibilitat, ja que la distribució d'aquests elements es pot dur a terme de forma totalment adaptada a la tasca. Al mateix temps són una solució senzilla d'integrar, amb un consum energètic molt reduït. Per altra banda, caldria notar que tot i que un dels principals inconvenients és que es necessita una superfície relativament plana, existeixen un gran ventall de mides i tipus de ventoses específicament dissenyades per tractar aquests casos més conflictius.

En el cas que es tracta en aquest projecte, s'ha determinat que les ventoses són la millor solució, ja que permeten de la manera més efectiva possible acomplir la tasca. A causa dels requeriments i la forma dels components a subjectar, la quantitat de solucions viables es redueix en gran manera. Per exemple, com que es vol tenir al descobert l'entrada superior dels colzes, no es pot fer la subjecció mitjançant pinces radials o *bellows grippers*, ja que incomplirien aquest requeriment. Al mateix temps, utilitzar

unes pinces convencionals i agafar una de les parets de l'entrada del colze generaria el mateix conflicte.

D'altra banda, es podria dur a terme la subjecció mitjançant unes pinces convencionals, però subjectant els colzes per la part exterior dels colzes, tal com es mostra amb les fletxes vermelles a la **Figura 5.51**. El principal inconvenient d'aquesta solució és que quan s'usen pinces, aquestes augmenten el pes de l'utilatge de forma significativa. També, com que els objectes a manipular en aquest cas en concret tenen un pes molt baix, l'utilatge es trobaria sobredimensionat, ja que normalment, unes pinces més grans, ofereixen una quantitat de força major.

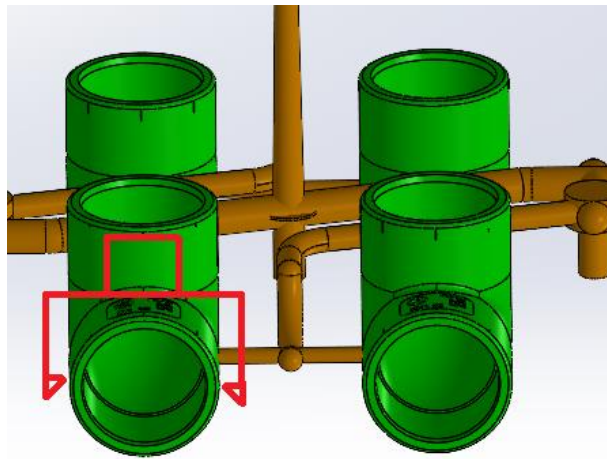


Figura 5.51: Posició de subjecció amb pinces. Font: Pròpia.

Am totes aquestes consideracions, s'ha determinat que el mètode de subjecció que s'adapta de la millor forma possible és mitjançant ventoses de succió, ara bé, existeixen molts tipus diferents.

Les ventoses planes, que són les convencionals s'utilitzen principalment per manipular peces amb la superfície de subjecció plana, de manera que aquesta no és la més indicada per aquest cas. De la mateixa manera, també existeixen ventoses ultra planes que es basen en el mateix principi de subjecció que les planes, però tenen com a finalitat no deixar marca, distribuint la pressió per una àrea major. Aquestes només serien dos exemples de les ventoses més comunes, però existeixen una gran varietat.

Específicament, degut a la superfície de subjecció que es presenta en aquest projecte, s'ha determinat que les ventoses amb convolucions són les més convenientes. Aquestes

tenen una forma d'acordió i poden tenir varis plecs, com a mínim un i mig. Són especialment bones per subjectar superfícies corbes amb irregularitats.

Tenint això en compte s'ha realitzat una recerca sobre diferents ventoses que podrien acomplir amb la tasca. De forma més específica, aquesta recerca s'ha centrat dintre de la família de productes de l'empresa *Festo*. Aquesta és una empresa que treballa en l'àmbit mundial com a proveïdor de components i solucions per l'automatització de processos mitjançant pneumàtica o electrònica, especialment enfocada al sector industrial.

La primera opció és la que es mostra a la **Figura 5.52**, i té 1,5 convolucions. Aquesta té un diàmetre de 15 mm, amb una connexió pel tub d'alimentació de 3 mm. Té una força de subjecció de 7,9 N que és més que suficient per manipular el conjunt.



Figura 5.52: Primera opció de ventosa. Font: [23].

Aleshores amb aquesta solució els conductes tindrien un diàmetre intern de 3 mm. A continuació es pot observar la comparació de mides entre la ventosa i la peça a subjectar.



Figura 5.53: Primera opció de ventosa, comparativa. Font: Pròpia.

La segona opció es mostra a continuació, a la **Figura 5.54**. Aquesta és una ventosa amb 3.5 convolucions i té un diàmetre de 10 mm. El conducte d'alimentació és de 3,3 mm i la força de subjecció és de 3,9 N. Aquesta ventosa, en tenir tantes convolucions, la força de subjecció vertical i la lateral són diferents, la lateral és més petita. Per això la lateral és de 1,5 N. De totes maneres, com que té tants punts de subjecció, aquesta força encara és suficient per manipular el conjunt.



Figura 5.54: Segona opció de ventosa. Font [23].

Per aquest cas els conductes tindrien un diàmetre interior de 3,3 mm. També es pot observar la mida de la ventosa amb la peça a subjectar.



Figura 5.55: Segona opció de ventosa, comparativa. Font: Pròpia.

Finalment, la tercera i última opció que s'ha considerat, de forma similar a la primera, és també una amb 1,5 convolucions. En aquest cas es tracta d'una ventosa molt més petita, amb 8 mm de diàmetre i una força de subjecció de 1,6 N.



Figura 5.56: Tercera opció de ventosa. Font: [23].

Com que és la ventosa més petita, també és la que té el conducte més estret, amb 2 mm de diàmetre. A continuació es pot veure una imatge comparativa amb la ventosa i la peça a subjectar.



Figura 5.57: Tercera opció de ventosa, comparativa. Font: Pròpia.

Després d'analitzar les tres opcions presentades, s'ha acabat optant per una d'elles, específicament la primera ventosa. La raó principal és que, ofereix unes prestacions de força de subjectació més adaptades a l'escala de l'objecte a manipular. Per altra banda, aquesta opció pot acabar no sent la definitiva en cas que a l'hora de posar a prova l'utilitatge resultés inefectiva.

Pel que respecta a la fixació de la ventosa al conducte, principalment es realitzarà mitjançant la rosca amb la qual ja ve per defecte. Aquesta rosca pel model escollit, el primer, és una rosca G1/8.

Adicionalment, per garantir el correcte segellat de la ventosa, evitant qualsevol mena de fuga d'aire, es realitzarà un segellat amb Tefló, o politetrafluoroetilè (PTFE). És un

material que destaca per la seva impermeabilitat i és un material especialment convenient per a fer operacions de segellat.

5.6 Subjecció de la colada

Fins ara s'ha tractat principalment la subjecció del conjunt, des del punt de vista dels colzes. Però, com també es vol tenir la possibilitat de subjectar, de manera independent, la colada, s'implementaran una sèrie de solucions per tractar aquest requeriment.

Com ja s'ha comentat en l'apartat 3, la subjecció de la colada es farà mitjançant una pinça. Aquesta pinça anirà situada a la part superior de l'utilatge, i subjectarà la part sortint de la colada (**Figura 5.58**).

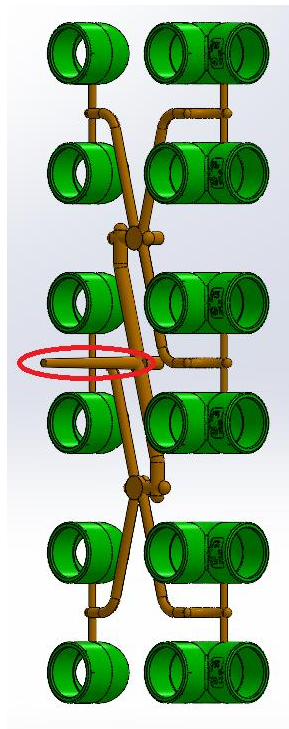


Figura 5.58: Sortint de la colada. Font: Pròpia.

La pinça seleccionada funciona mitjançant accionament pneumàtic i, de forma similar al sistema de subjecció principal, aquesta també és una solució per part de l'empresa *Festo*.



Figura 5.59: Pinça per subjecció de la colada. Font: [28].

La força de subjecció de la pinça està bastant per sobre de la càrrega màxima que ha de suportar, específicament és de $39,2 N$. No obstant això, tot i ser una força bastant per sobre del requerit, ja que la subjecció principal es fa mitjançant ventoses, no és una força molt gran per aquest tipus d'element de subjecció. Addicionalment, tenir aquest extra de subjecció pot oferir un grau de flexibilitat extra a l'utilatge i major robustesa a l'hora de desenvolupar la tasca.

El pes total de la pinça és de $120 g$, el seu mode d'operació és de simple efecte amb un estat normalment tancat.

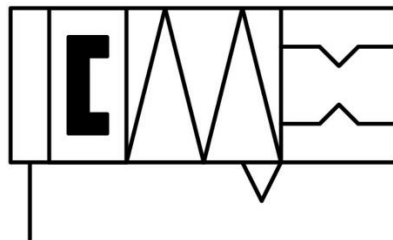


Figura 5.60: Esquema de la pinça. Font: [28].

També, per tal de garantir una subjecció més ajustada i més segura, s'han dissenyat uns petits coixins de goma per posar a l'interior dels *grippers* de la pinça, de forma que no tan sols evita la concentració de forces en un sol punt de la colada, sinó que també permet que la subjecció sigui més uniforme i constant per tota l'àrea.

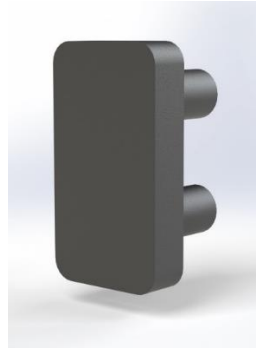


Figura 5.61: Coixins de goma. Font: Pròpia.

A part, també evita el desgast en la mateixa pinça, de forma que en cas de desgast, canviar els coixins de goma suposa molt pocs temps i cost, mentre que desmuntar tot l'assemblatge per extreure la pinça sencera és molt més costós.

Amb l'objectiu de mantenir la pinça el més fixe possible i evitar qualsevol moviment, s'ha integrat una zona dintre l'estructura de l'utilatge per situar la pinça i fixar-la directament a la seva posició.

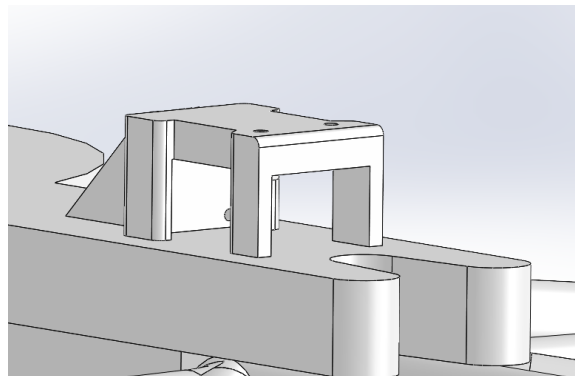


Figura 5.62: Zona a l'utilatge per la pinça. Font: Pròpia.

Aquest suport està fet a mida per la pinça, i en cas que més endavant es detectés que hi ha un altre pinça més adient per aquesta situació, es podria remodelar sense complicacions, ja que la seva forma no és una part clau de l'utilatge.

La pinça es fixa a l'estructura mitjançant 4 cargols M3. Dos situats a la part superior, i dos a la part posterior. Els cargols van acompanyats de dues volanderes per garantir una millor subjecció, i no malmetre el material de l'utilatge, ja que aquest és de plàstic.

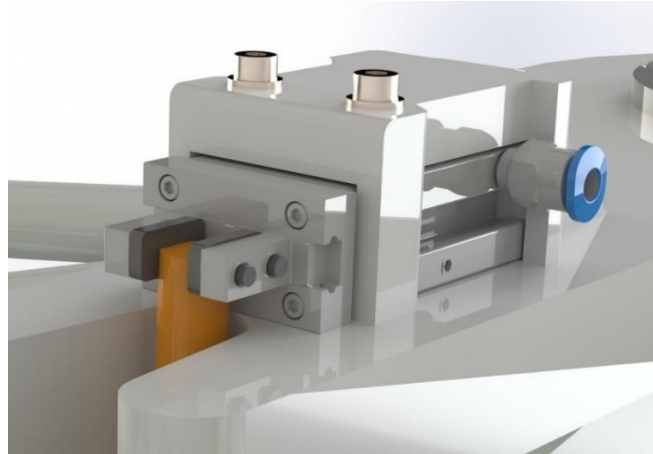


Figura 5.63: Assemblatge pinça. Font: Pròpia.

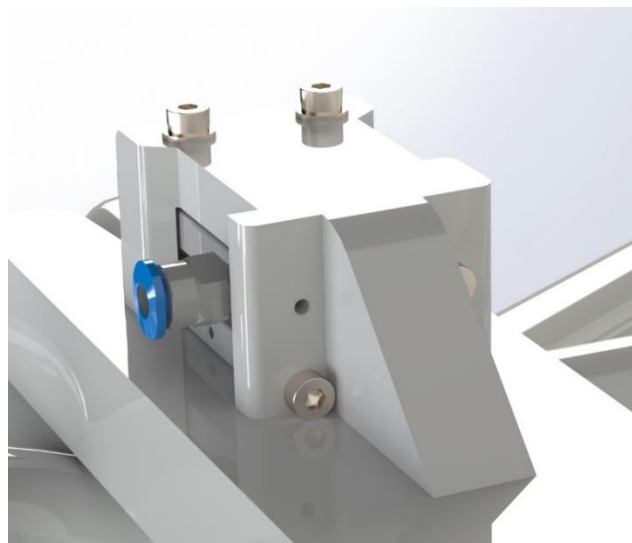


Figura 5.64: Assemblatge pinça, part posterior. Font: Pròpia.

Com s'ha comentat, aquesta és una pinça pneumàtica, aleshores cal tenir present la connexió necessària. Com que la pinça és de simple efecte només cal tenir una. Aquesta es troba a un dels laterals, i el tub pneumàtic es connecta a un *push-in fitting*, que va enroscat a la pinça amb una rosca M3.



Figura 5.65: *Push-in fitting*. Font: [29].

6. TECNOLOGIA I MATERIAL D'IMPRESSIÓ

Tal com ja s'ha vist, existeixen una gran diversitat de tecnologies de fabricació additiva, oferint propietats diferents que poden variar la seva utilitat en funció de l'aplicació. A causa d'això decidir el tipus d'impressora 3D a utilitzar, resulta un apartat crític que pot condicionar el resultat i desenvolupament d'un disseny a l'hora d'incorporar-lo al sistema real.

6.1 Selecció de la tecnologia d'impressió

Normalment, una de les maneres més efectives per determinar el tipus de tecnologia a utilitzar, és mitjançant un arbre de decisions. En aquest arbre apareixen diferents propietats, i per cadascuna d'aquestes existeix una tecnologia òptima.

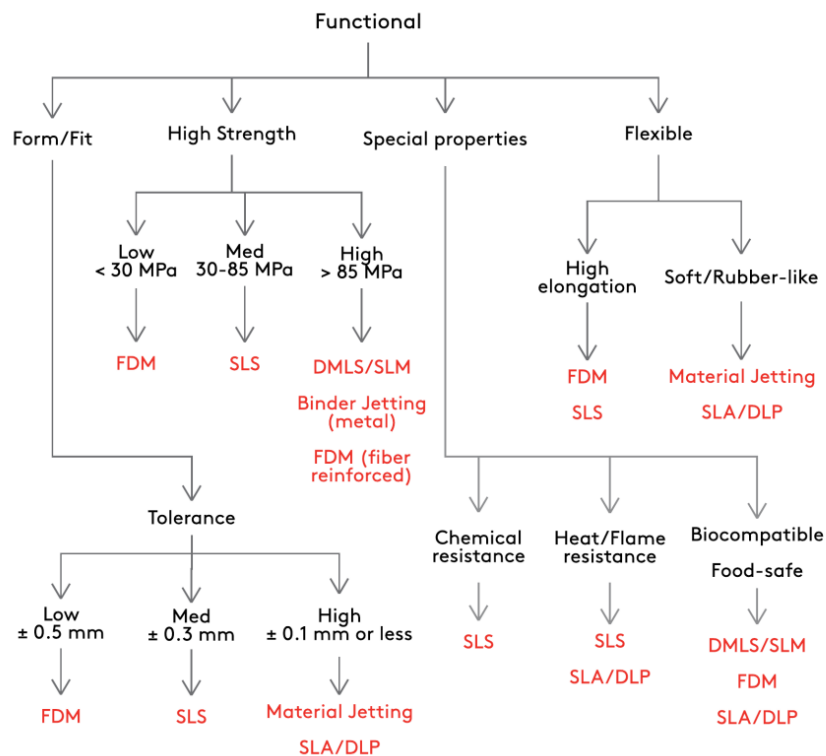


Figura 6.1: Arbre de decisions per tecnologia d'impressió. Font: [30].

Per aquest cas en concret, tot i que un dels factors clau, ja que es tracta d'un utilatge, és que pugui suportar càrregues, mitjançant les simulacions, s'ha pogut comprovar com es troba molt per sota del límit elàstic del material. És per això, que tot i que la resistència és un factor important, no és el més determinant.

Per altra banda, com que es tracta d'un disseny totalment adaptat a la forma de l'objecte a manipular, la geometria d'aquest és bastant complexa. De la mateixa manera, l'estructura porta inclosa els conductes per l'aire comprimit en si mateixa. Aquestes característiques geomètriques sí que resulten molt més restrictives. Aleshores caldrà enfocar el disseny en funció de la capacitat o facilitat d'elaborar formes geomètriques complexes.

D'aquesta manera es descarta el FDM directament. L'FDM és la tecnologia d'impressió 3D més comercialitzada. El seu principi bàsic funcional és l'extrusió de material, on es diposita material fos capa a capa. Un dels problemes principals de l'FDM per generar peces estructurals és que aquestes són inherentment anisotròpiques, de forma que la resistència d'aquestes peces és molt menor en l'eix Z que en el pla XY. Addicionalment, també un dels inconvenients a l'hora d'imprimir geometries complexes és que per crear voladissos es necessiten suports [15].

Aleshores a partir d'aquí les opcions principals que queden serien l'SLS, l'SLA i el MJF.

L'SLA o *Stereolithography*, és un procés en el qual mitjançant una font de llum UV es cura una resina líquida capa a capa. Aquesta font de llum és un làser d'un sol punt. Normalment, aquesta tecnologia s'utilitza per imprimir peces molt específiques amb precisió dimensional molt alta.

El principal inconvenient és que, l'SLA requereix suports per imprimir qualsevol peça. Aquests suports es van imprimint a la vegada que la peça i amb el mateix material, i s'han d'eliminar manualment després de la impressió. Addicionalment, com que la peça a imprimir en aquest projecte té conductes interiors buits, no és possible fer servir aquesta tecnologia [15].

Finalment, queden el SLS (*Selective Laser Sintering*) o el MJF (*Multi Jet Fusion*). Aquestes dues tecnologies pertanyen a la família de fusió de llit en pols. Amb la fusió de llit en pols, les peces es construeixen fusionant tèrmicament partícules de polímer en pols capa a capa, aleshores els materials que s'utilitzen venen en forma granular [15].

La principal diferència entre el MJF i el SLS és la font de calor. L'SLS utilitza un làser per sinteritzar cada secció i el MJF dispensa una tinta en pols que promou l'absorció de

llum infraroja. Aleshores una font d'infrarojos fusiona les zones on en les que s'ha aplicat la tinta [15].

Aquestes dues tecnologies presenten característiques molt similars pel que fa a precisió, detalls, mides d'impressió, o temps d'impressió. Un factor clau que ofereixen aquestes dues tecnologies és que, gràcies al fet que el vincle entre les capes és molt bo, les peces impreses tenen propietats mecàniques gairebé isotròpiques. Això és especialment útil quan l'objecte es veu sotmès a càrregues en diferents eixos [15].

Així i tot, el MJF ofereix unes característiques lleugerament més favorables, on el temps de post-processament és molt menor. Addicionalment amb el MJF es pot reutilitzar fins a un 85% en comparació amb el 50% de l'SLA [15].

Amb tot això, s'ha determinat que la tecnologia que ofereix el MJF és la més bona per a imprimir l'utilitatge d'aquest projecte.

De manera més específica, la impressora que s'utilitzarà és la *HP Fusion Jet 5200*. Aquesta impressora, addicionalment, va acompanyada d'una estació de post-processament que agilitza tot el procés.



Figura 6.2: *HP Fusion Jet 5200*. Font: [31].

Les característiques principals de la impressora són:

- Volum d'impressió: $380 \times 284 \times 380 \text{ mm} \rightarrow 41.000 \text{ cm}^3$.
- Gruix de capa: 0.08 mm .
- Resolució d'impressió 1.200 dpi .

- Velocitat d'impressió: $5058 \text{ cm}^3/h$ (per imprimir el volum total del contenidor 8 hores).

6.2 Selecció del material

El procés de selecció de material normalment és molt més senzill que el de selecció de tecnologia, això és perquè el material a utilitzar va lligat amb la mena d'impressora 3D que s'ha triat. També es podria realitzar el procés invers, en el qual primer es tria el material, per exemple si es vol imprimir una peça metàl·lica, i posteriorment la tecnologia, que per metalls podria ser un *Binder Jetting* [15].

Per aquest projecte el material no era cap restricció, per aquesta raó primerament s'ha seleccionat la tecnologia de fabricació additiva.

Com que s'ha decidit realitzar la impressió mitjançant MJF, els materials als que es veu limitada aquesta tècnica són polímers termoplàstics. De manera més específica, la impressora *HP Jet Fusion 5200*, pot imprimir, principalment, amb cinc materials [15].

- Poliamida (PA); PA11:
 - Destaca per la ductilitat de les peces impreses.
- PA 12:
 - Peces resistents, impressió més econòmica.
- PA12 + GF:
 - Peces més rígides i dimensionament estables.
- Polipropilè (PP):
 - Resistent a substàncies químiques i baixa absorció de la humitat.
- TPU01:
 - Parts funcionals flexibles.

Analitzant els materials amb més detall, el PA 12 és el més equilibrat amb bona rigidesa, capacitat dimensional, i nivell de detall. Tot això acompanyant-lo d'un cost més econòmic de la impressió de peces. Per aquesta raó, el PA 12 queda com a material seleccionat per a imprimir l'utilitatge.

Tot i que el PA 12 té propietats mecàniques lleugerament inferiors al PA 6, el PA 12 s'ha convertit en el material més emprat per la impressió 3D amb SLS o MJF, principalment a causa d'un punt de fusió més baix, i una higroscopicitat més baixa. La

higroscopicitat és, bàsicament, la capacitat que té un material d'absorbir aigua. Normalment per les poliamides és elevat, menys per la PA 11, i PA 12, que són les que s'utilitzen per impressió 3D. Durant el procés d'impressió, la pols del material, s'escalfa a elevades temperatures, si s'utilitzés un material amb elevada higroscopicitat, aquest alliberaria grans quantitats d'aigua, reduint el seu volum i actuant negativament en el procés de sinteritzat.

Les propietats mecàniques principals del PA 12 es recullen a continuació:

Taula 6.1: Propietats PA 12 per SLS o MJF. Font: [32], [33].

Propietats	Valor	Unitats
Mòdul d'elasticitat	1700	N/mm ²
Coefficient de Poisson	0,39	N/D
Densitat	930	kg/m ³
Límit elàstic	48	N/mm ²

Aquestes propietats seran les que s'utilitzin en la simulació del model final. Les simulacions anteriors es van realitzar amb ABS, que és un plàstic molt comú, i van ser útils per tal de determinar les formes òptimes per resistir els esforços als que es veurà sotmès l'utilitatge.

7. CANVIS A L'UTILLATGE

Després de dissenyar i acomplir amb tots els requeriments per desenvolupar la tasca, es realitzarà un breu anàlisi del resultat obtingut, i es considerarà si seria convenient realitzar algun canvi.

7.1 Subjecció amb ventoses

Com ja s'ha comentat, la subjecció principal de l'utillatge es realitza mitjançant ventoses de succió. Aquestes funcionen mitjançant la connexió a un generador de buit, amb uns conductes integrats en l'estructura. Ja s'ha vist que són una solució especialment convenient per aquests casos degut a la seva simplicitat funcional, a la fiabilitat i al baix pes. No obstant això, a causa de la geometria específica, acompanyat del requeriment del control de qualitat, la solució mitjançant ventoses no és trivial. La principal dificultat és que aquestes s'han d'adherir a una superfície corba, i per aquesta raó s'ha decidit utilitzar ventoses amb convolucions que permeten una millor adhesió per superfícies irregulars, però la superfície corba no és l'únic inconvenient.

Justament la superfície per la que es subjecten els colzes presenta unes inscripcions referents a la data de producció de les peces, al motllo emprat, a la partida de peces, etc. Aquestes inscripcions presenten un relleu que podria dificultar la subjecció del conjunt.



Figura 7.1: Inscripcions a la zona de subjecció. Font: Pròpia.

Per tal de solucionar aquest inconvenient, s'ha decidit afegir dues zones de subjecció addicionals, mitjançant ventoses, que es situaran a una zona plana de la colada, aquestes zones es mostren a la **Figura 7.2**.

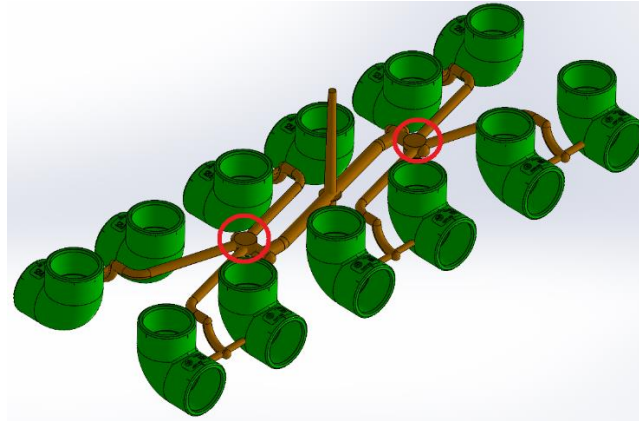


Figura 7.2: Zones planes de la colada per la subjecció. Font: Pròpia.

Per això, seguint el mateix concepte que pels altres punts de subjecció amb ventosa, cal afegir dos conductes que condueixin a aquests dos punts, actuant com a estructura per les ventoses, i conducte per l'aire comprimit.

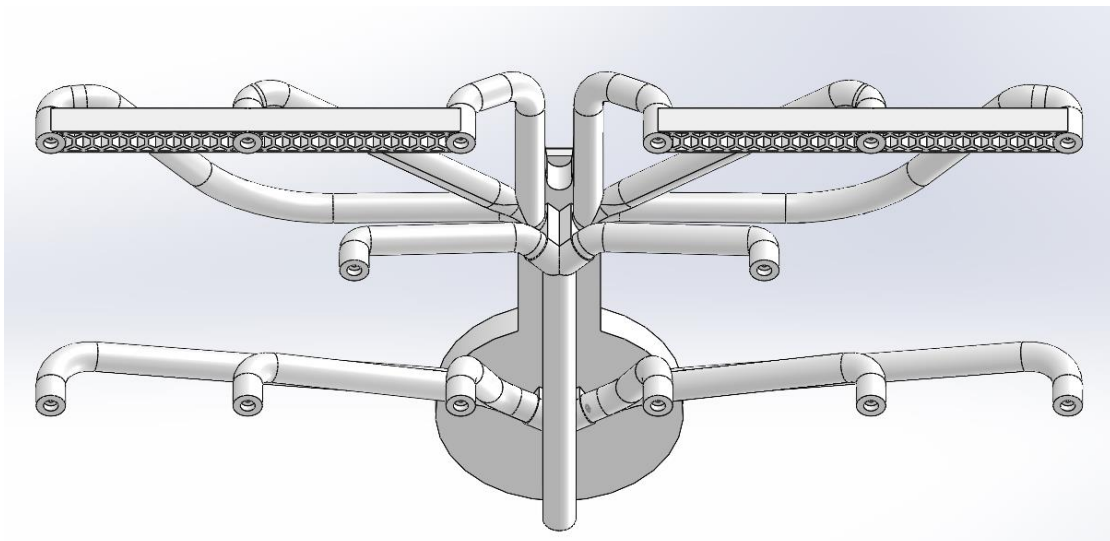


Figura 7.3: Vista inferior amb els dos conductes addicionals. Font: Pròpia.

A l'hora de dissenyar aquests dos conductes addicionals és que, a diferència que per tots els altres casos, aquests es dedicaran específicament a subjectar la colada, en canvi, dels colzes. Aleshores, és necessari poder controlar de manera separada la subjecció dels colzes, i la de la colada. Per fer això s'ha dissenyat un conducte independent que alimenta de manera exclusiva les dues ventoses de la colada.

A la **Figura 5.6** es pot observar la part posterior de l'utilatge on hi ha les connexions d'aire comprimit pels conductes incorporats en l'estructura, en aquest cas, com s'han afegit les ventoses per la colada, hi ha dos.

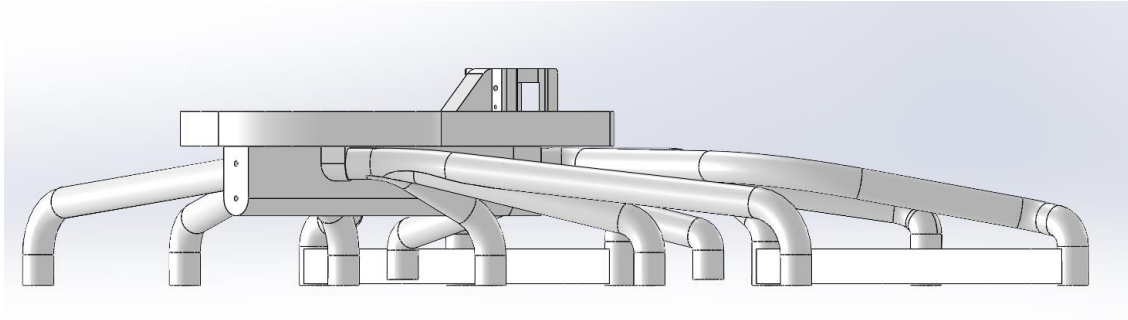


Figura 7.4: Vista posterior amb connexions per colada i colzes. Font: Pròpia.

7.2 Gruix dels conductes

Fins ara, el gruix dels conductes s'ha imposat en funció del gruix que necessiten les ventoses per funcionar. Aleshores, com que les ventoses que s'han seleccionat, tenen una entrada d'alimentació de 3 mm de diàmetre, aquest també és el diàmetre de tots els conductes de l'estructura.

No obstant això, ara que s'ha escollit la tecnologia d'impressió de l'estructura, hi ha un factor de disseny restrictiu, que requereix que aquest valor sigui modificat. Ja s'ha explicat que la tecnologia d'impressió 3D que s'utilitzarà és MJF, la qual treballa mitjançant l'aplicació de tinta sobre un llit de pols de polímer, solidificant zones en les quals s'ha aplicat aquesta tinta amb llum infraroja.

Quan s'ha d'imprimir una peça amb parts interiors buides, cal tenir en compte que, la pols que no forma part de l'estructura i que, per tant, no s'ha solidificat, ha de ser extreta. Aleshores la pols necessita tenir alguna mena d'escapatòria. En cas de fer servir conductes molt primers, existiria la possibilitat que no es pogués extreure tota la pols, obstruint els conductes, deixant la part funcional de l'estructura totalment inutilitzada.

Per tal d'evitar aquest cas, s'ha decidit incrementar el diàmetre intern de tots els conductes de 3 mm a 5 mm de diàmetre. Aquest increment en el diàmetre intern, significa una disminució en el gruix de l'estructura, i un increment en els desplaçaments de l'estructura. Per comprovar aquesta variació, es tindrà que verificar novament, mitjançant simulacions, si el comportament sota esforços de l'element és el correcte per la seva aplicació. En cas de ser excessiu, caldrà afegir més suports addicionals o incrementar el gruix de les branques.

7.3 Optimització de la massa

Un canvi essencial de cara a la reducció de costos així com pes total de l'utilatge és l'optimització de la massa de l'estructura. Després de realitzar totes les simulacions, s'ha comprovat com la resistència de l'utilatge es troba molt per sobre dels esforços als quals es veu sotmès. D'aquesta manera, treure massa de les zones més massisses de l'estructura, és una opció que pot resultar molt beneficiosa.

Primerament, s'ha decidit estilitzar i reduir la mida de la placa superior, principalment pel fet que el diàmetre de l'estructura és considerablement major al de l'ancoratge. A la vegada, també s'han arrodonit les cantonades de la part superior, que eren punts de concentració de tensions.

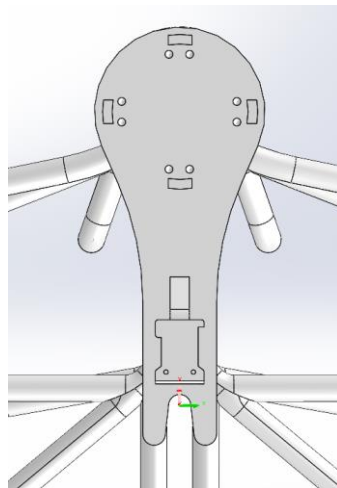


Figura 7.5: Modificacions part superior de l'estructura. Font: Pròpia.

La massa de l'estructura, considerant que el material és PA 12, és de 1.328,7 g, amb un volum total d'1.428,71 cm³.

Els punts clau dels quals es reduirà la massa seran de la biga inferior (en vermell a la **Figura 7.6**), que és la zona en la qual s'agrupen tots els conductes i desemboquen, i la placa superior (en blau). Aquestes dues parts són crítiques quant a la integritat estructural de l'utilatge, és per això que no es pot reduir la seva mida així com així. Per aquesta raó s'ha optat per realitzar incisions en les seves superfícies per extreure material, minimitzant la pèrdua de resistència.

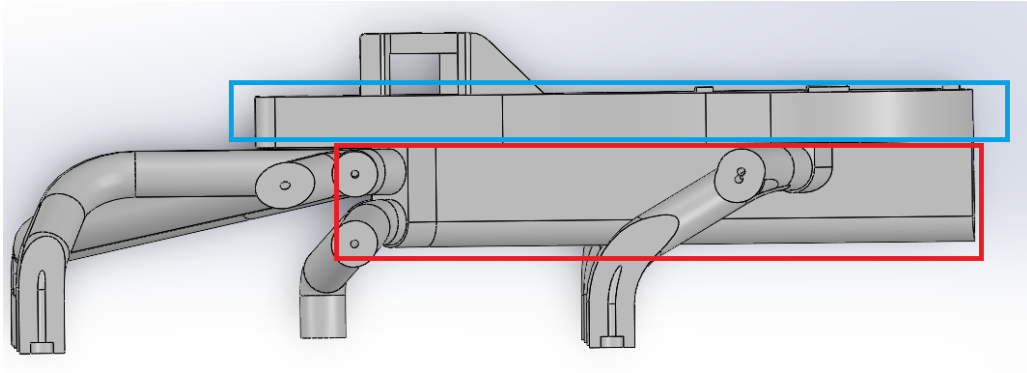


Figura 7.6: Zones per reduir la massa. Font: Pròpia.

Aquestes incisions seguiran un patró *honeycomb*, de la mateixa manera que el suport estructural addicional que s'ha afegit als extrems conductes.

Per la zona de la biga, s'han realitzat incisions de 6 mm de profunditat, per no afectar els conductes interns, amb els hexàgons de 4 mm de costat.

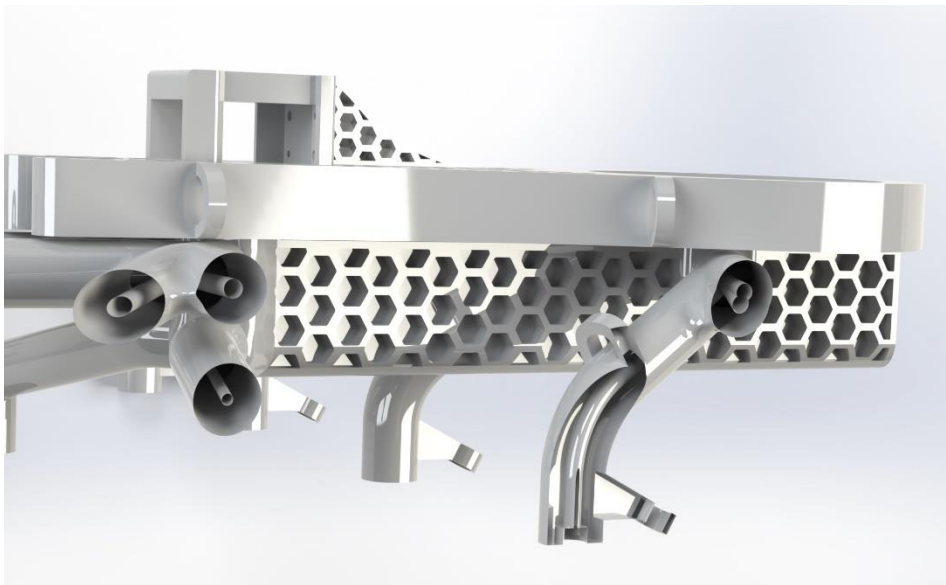


Figura 7.7: Reducció de massa part inferior. Font: Pròpia.

Per la placa superior s'ha seguit el mateix patró, però en aquest cas, la incisió ha sigut més gran, 20 mm, amb la intenció de crear la placa per complet, ja que en aquest cas no hi ha cap part essencial que ho impedeixi, la mida dels hexàgons és de 6 mm de costat. També s'ha seguit el mateix procediment per la zona de subjecció de la pinça, per aquesta, la mida dels hexàgons és de 3 mm de costat.

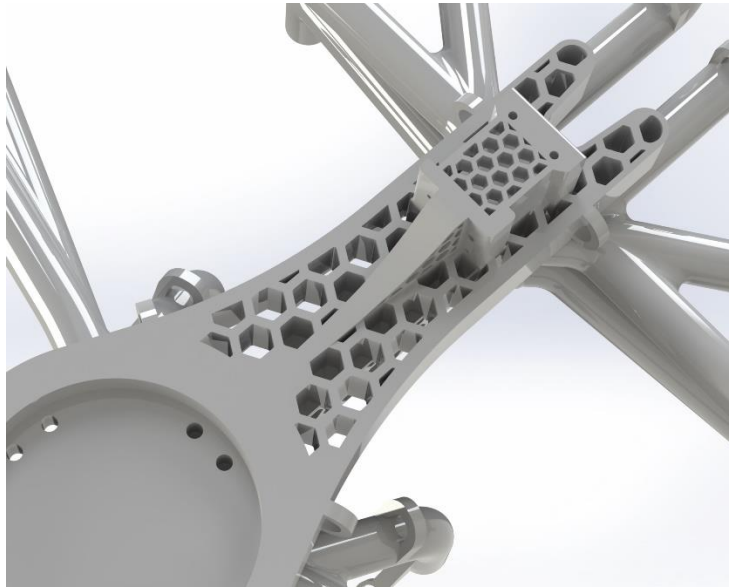


Figura 7.8: Reducció de massa de la placa superior. Font: Pròpia.

Adicionalment, a la part circular de la placa superior, que és just la zona de l'ancoratge del braç robòtic, es farà una inserció de 10 *mm* de profunditat, no només per reduir la quantitat de material a utilitzar, sinó també per facilitar l'assemblatge d'aquest component.

Un cop fetes aquestes operacions, la massa total de l'estructura resta amb un valor de 1.128,35 *g*, i un volum de 1.213,28 *cm*³.

Això suposa una reducció del pes i volum en un 15,08%, ara bé, caldrà verificar com afecten aquestes variacions a la resistència de l'estructura.

7.4 Acoblament amb el braç robòtic

Al principi de l'apartat 4, s'ha comentat que l'acoblament al braç robòtic es fa mitjançant un ancoratge en específic. Aquest ancoratge ve determinat amb unes mides i forma específiques, i va situat a la part superior de l'utillatge, a la zona circular.

Ja s'ha explicat que a la part superior s'ha realitzat una incisió de 10 *mm*, de profunditat, però, addicionalment, sobre aquesta incisió hi ha 8 forats per fixar l'ancoratge a l'utillatge.

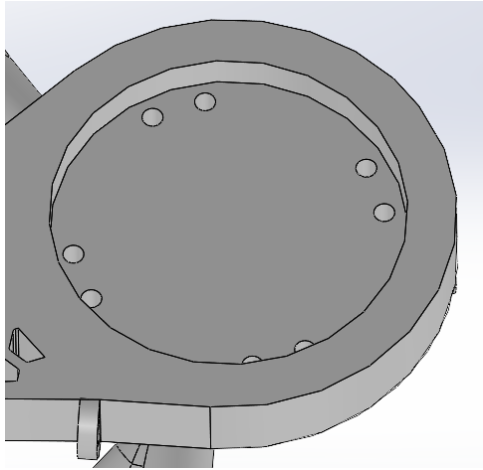


Figura 7.9: Incisió a la part superior de l'utilatge. Font: Pròpia.

Aquests forats són per allotjar vuit cargols M5, i la profunditat d'aquests forats és de 10 mm. Per millorar la subjecció, quatre d'aquests cargols travessen l'estructura i es fixen mitjançant femelles. Per protegir la superfície i millorar la subjecció, aquestes femelles van acompanyades de dues volanderes. Els cargols que travessen l'estructura tenen una longitud de 25 mm. Els altres quatre tenen una longitud de 16 mm, i es fixen directament contra el material de l'utilatge.

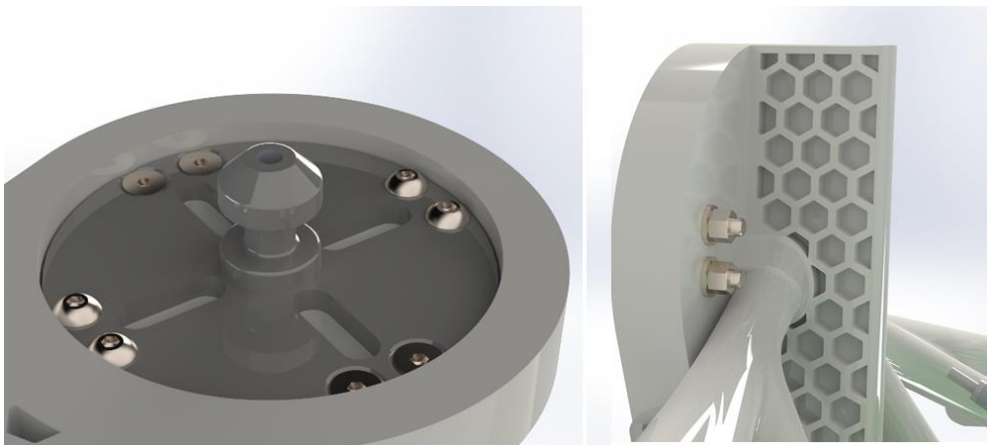


Figura 7.10: Assemblatge de l'ancoratge del robot. Font: Pròpia.

7.5 Suport pels sensors

Un requeriment essencial per l'utilatge era la incorporació d'un sistema de detecció de peces, amb l'objectiu de saber en tot moment si s'han agafat totes les peces de manera correcta. Aquest tema es tractarà de forma més específica dintre la part d'electrònica del projecte.

No obstant això, encara que no s'han determinat els sensors de manera específica i no es coneixen les mides exactes que tindran, s'ha decidit afegir, de forma més o menys orientativa, uns suports pels sensors.

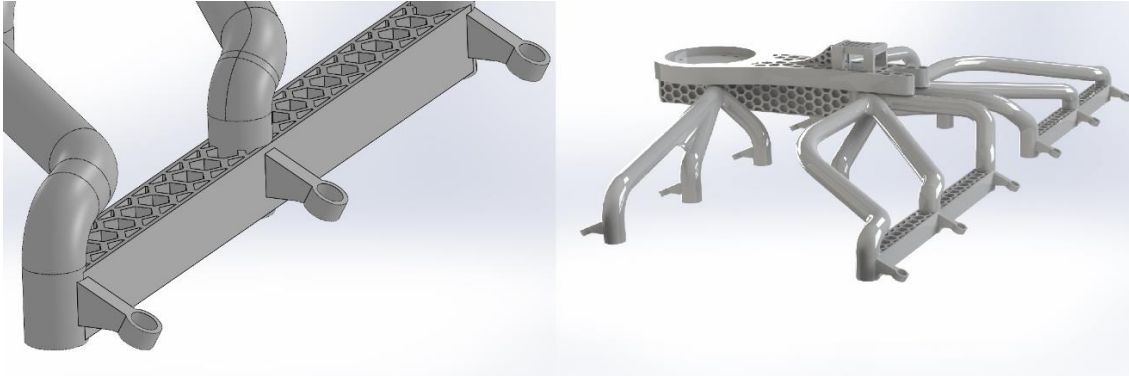


Figura 7.11: Suports pels sensors. Font: Pròpia.

Aquests sensors de presència normalment funcionen per distàncies petites, i com és evident, cal que tinguin visual amb la peça que volen detectar. Amb això, s'han dissenyat dotze suports, un per cada colze, situats als extrems de les branques de l'estructura, tal com es mostra a la . Provisionalment s'ha establert un diàmetre de 8 mm pels suports. Més endavant, en funció dels sensors emprats, es podrà realitzar una modificació sense cap tipus de complicació. A més a més, com que no es tracta d'una zona crítica de cara a la resistència d'esforços de l'estructura, no suposaria cap mena d'inconvenient canviar la geometria d'aquests suports.

Aquests elements s'han dissenyat lleugerament inclinats amb l'objectiu d'apuntar a l'extrem on la ventosa fa contacte amb el colze.

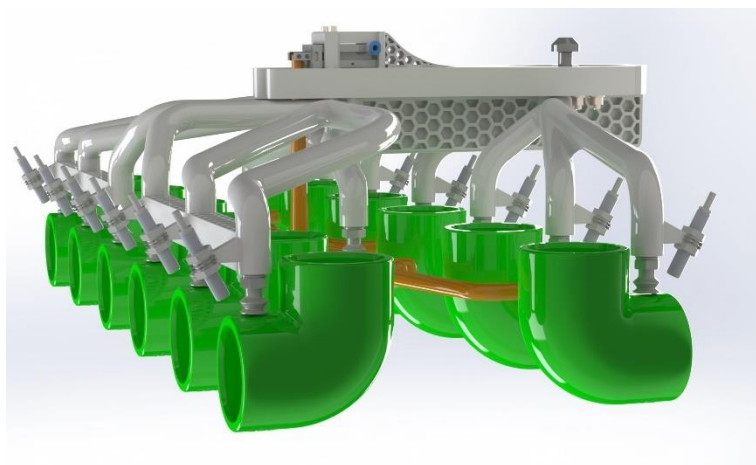


Figura 7.12: Suports amb els sensors. Font: Pròpia.

7.6 Sistema de guia per cables

Un pas important dintre de tot el procés que ha d'arribar a desenvolupar l'utilatge d'aquest projecte, és permetre realitzar un control de qualitat mitjançant visió artificial.

Com ja s'ha explicat, per fer això es necessita tenir visió de les dues entrades dels colzes, i s'han realitzat diverses modificacions a l'estructura de cara a complir aquest factor.

Ara bé, com que s'instal·laran una gran quantitat de sensors, aquests s'han de connectar mitjançant cables fins un microcontrolador, que es trobarà a la part superior de l'estructura. La problemàtica amb això és que, és molt senzill que un cable creui per sobre d'una de les entrades dels colzes invalidant el procés de control de qualitat ja que s'obtidrien mesures errònies degut a la obstrucció del camp de visió.

Per posar remei a aquest problema, s'ha incorporat un sistema de guiat per els cables, que els condueix al llarg de les ramificacions de l'estructura, evitant qualsevol tipus de creuament per punts no desitjats.

Com es pot observar a la **Figura 7.13**, els elements en vermell actuen com a passadors pels cables, conduint-los des de l'extrem dels conductes, que és el punt on es troben els sensors, fins a la part superior de l'estructura.

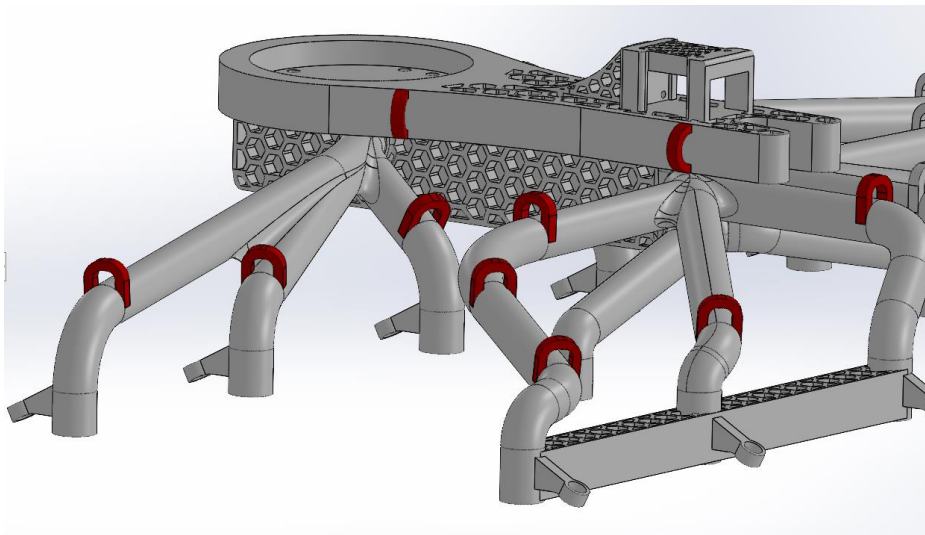


Figura 7.13: Guies pels cables. Font: Pròpia.

7.7 Simulació final

Com que molts dels canvis que s'han realitzat afecten directament al comportament de l'estructura sota esforços, caldrà tornar a verificar mitjançant simulacions si aquesta es continua desenvolupant de la forma correcta.

Tot i que molts canvis han anat en la direcció de minimitzar el material utilitzat, reduint també la resistència de l'estructura, cal tenir en compte que s'han afegit dues branques que subjecten directament la colada. Em l'afegir aquests dos conductes, la força ara es considerarà que es reparteix entre catorze, en canvi, de dotze.

Recordar que l'estructura final amb la qual es realitzaran les simulacions utilitza un diàmetre exterior gran de les branques, concretament de 18 mm , i com que s'ha incrementat el diàmetre intern a causa de la tecnologia d'impressió emprada, aquest és de 5 mm , en canvi, de 3 mm .

Aleshores, dels 24 N , que eren 2 N per cada branca, passen a ser:

$$\frac{24\text{ N}}{14\text{ N}} = 1,714 \sim 1,72\text{ N per branca}$$

Com es pot observar a la **Figura 7.14**, s'han afegit dues càrregues addicionals a les branques que s'encarreguen de subjectar la colada. També notar que les subjeccions s'han situat a la zona on es fixa l'ancoratge del robot amb cargols.

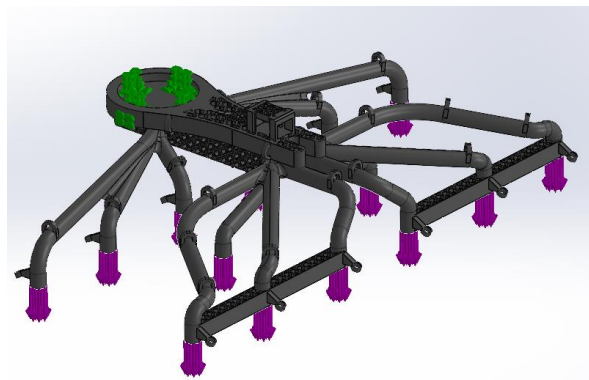


Figura 7.14: Càrregues i subjeccions, simulació final. Font: Pròpia.

De la mateixa manera que per les simulacions anteriors, es faran tres simulacions diferents amb les tres direccions que pot tenir la càrrega durant la manipulació de la colada.

Per aquest cas, com que s'ha determinat que el material d'impressió serà PA 12, aquest serà el que s'utilitzarà per realitzar les simulacions i verificar els resultats. Les propietats mecàniques són les que apareixen a la **Taula 6.1**.

El mallat utilitzat, ja que es tracta d'una simulació final, ha sigut un mallat fi, de tal forma els resultats obtinguts són més exactes.

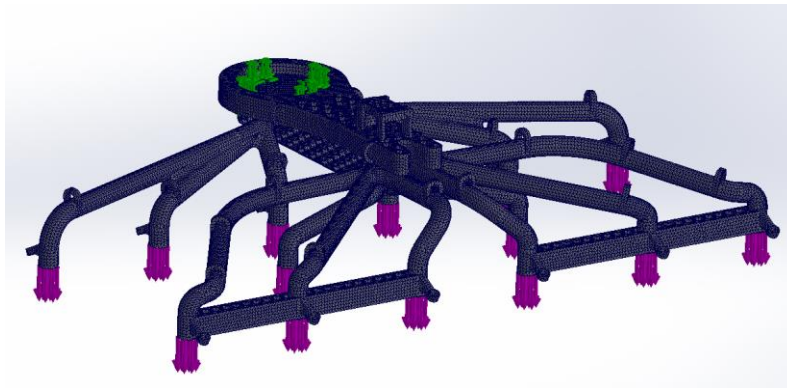


Figura 7.15: Mallat fi per la simulació final. Font: Pròpia.

Finalment, cal afegir que l'estructura simulada en aquest apartat ja incorpora arrodoniments en els punts més crítics (en vermell a la **Figura 7.16**).

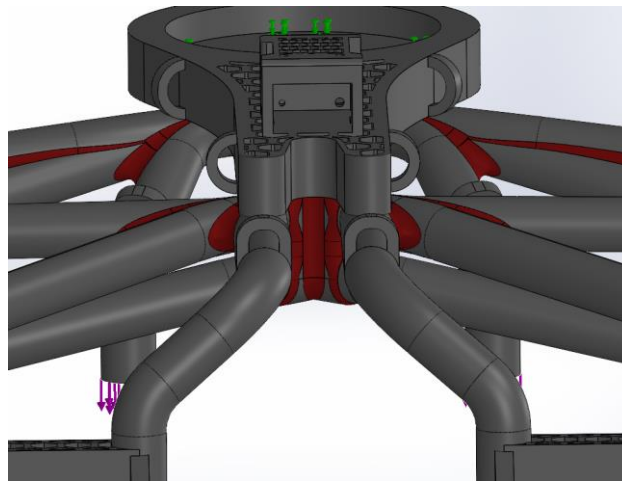


Figura 7.16: Exemple de zones arrodonides (en vermell). Font: Pròpia.

7.7.1 Forces en Z

Primer es simulen les càrregues que segueixen l'eix Z, normals a la superfície de l'utilatge (**Figura 7.14**).

Les tensions obtingudes encara són molt baixes, i en cap cas s'apropen al valor del límit elàstic. El valor màxim de la tensió és de 4,802 MPa.

El factor de seguretat és de:

$$FDS = \frac{48 \text{ MPa}}{4,802 \text{ MPa}} = 10$$

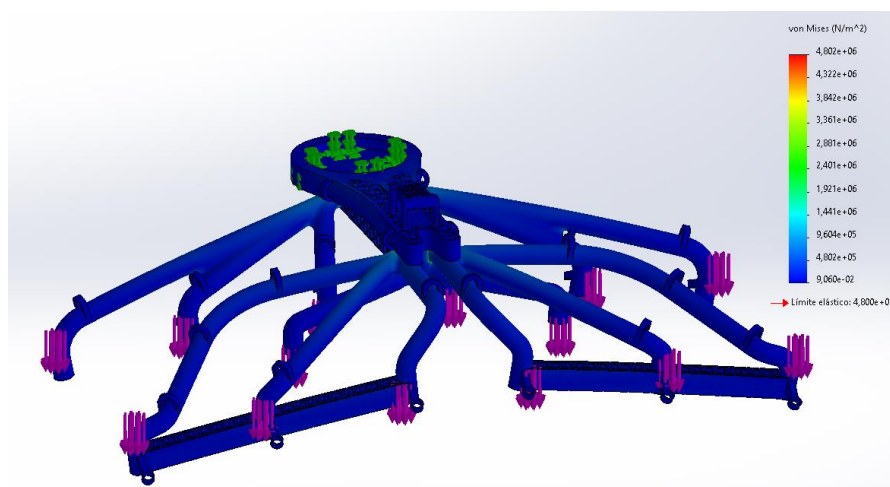


Figura 7.17: Simulació final, tensions força Z. Font: Pròpia.

Les deformacions continuen estant dintre d'un rang bo, amb els valors màxims concentrats als extrems. La deformació màxima és de 2,629 mm.

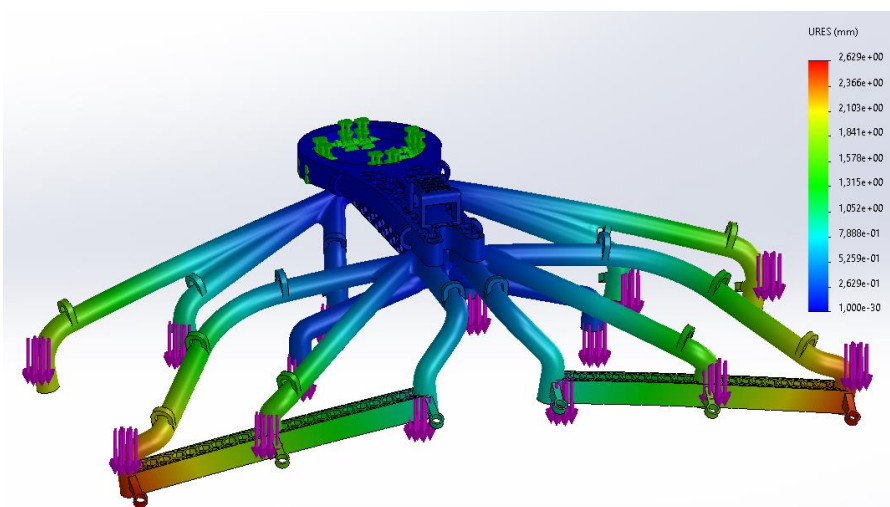


Figura 7.18: Simulació final, deformacions força Z. Font: Pròpia.

7.7.2 Forces en Y

A continuació es farà la mateixa simulació, però amb les forces amb la direcció de l'eix Y (Figura 7.19).

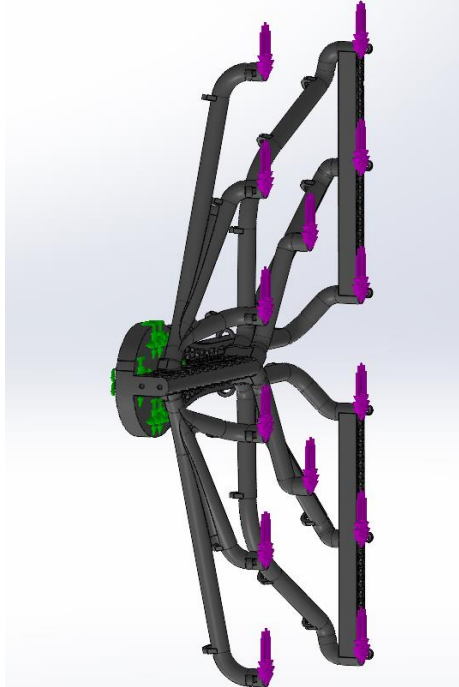


Figura 7.19: Simulació final, configuració amb forces Y. Font: Pròpia.

La distribució de tensions és molt similar a la configuració amb les forces en l'eix Z, però els valors màxims són menors. Per aquest cas, la tensió màxima té un valor de 2,843 MPa, amb un factor de seguretat de 16,88.

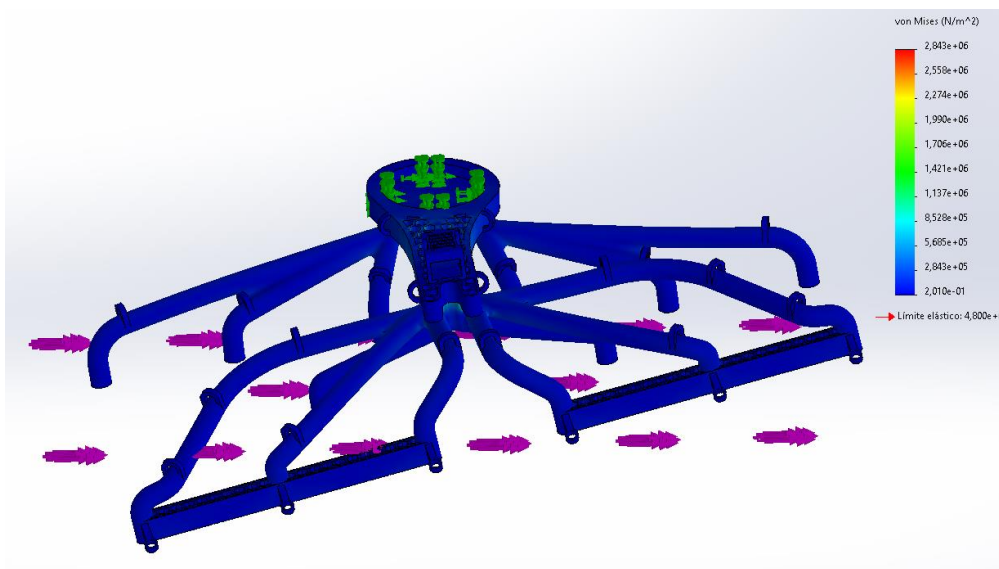


Figura 7.20: Simulació final, tensions força Y. Font: Pròpia.

Les deformacions són també molt similars, però encara més petites, amb un valor màxim d'1,291 mm.

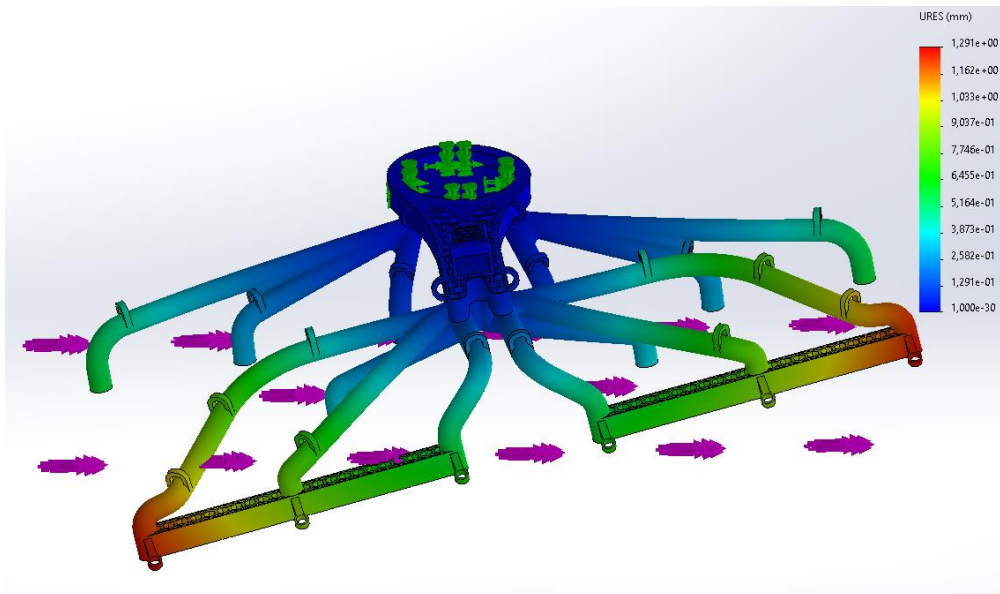


Figura 7.21: Simulació final, deformacions força Y. Font: Pròpia.

7.7.3 Forces en X

L'última situació que es comprovarà serà amb les càrregues seguint l'eix X (**Figura 7.22**).

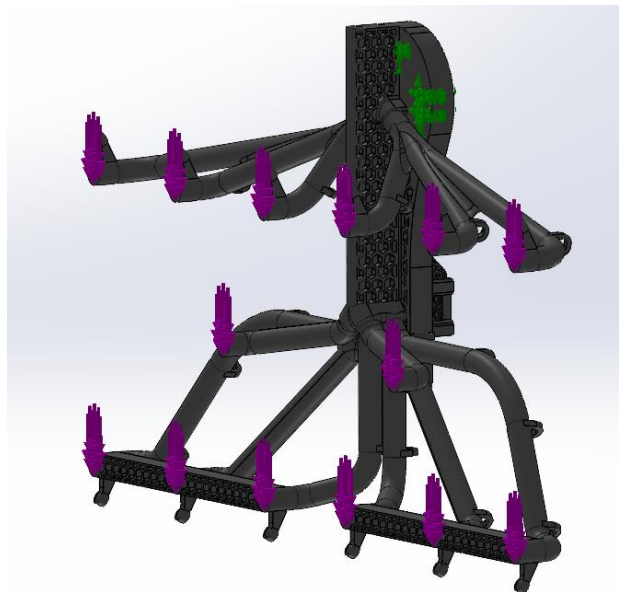


Figura 7.22: Simulació final, configuració amb forces X. Font: Pròpia.

Les tensions màximes són de 2,365 MPa, i el factor de seguretat és de 20,29. A més, s'observa com, per la major part de l'estructura les tensions són molt baixes, i

els pics de tensió es troben en zones específiques, a prop de les unions dels conductes amb la placa central.

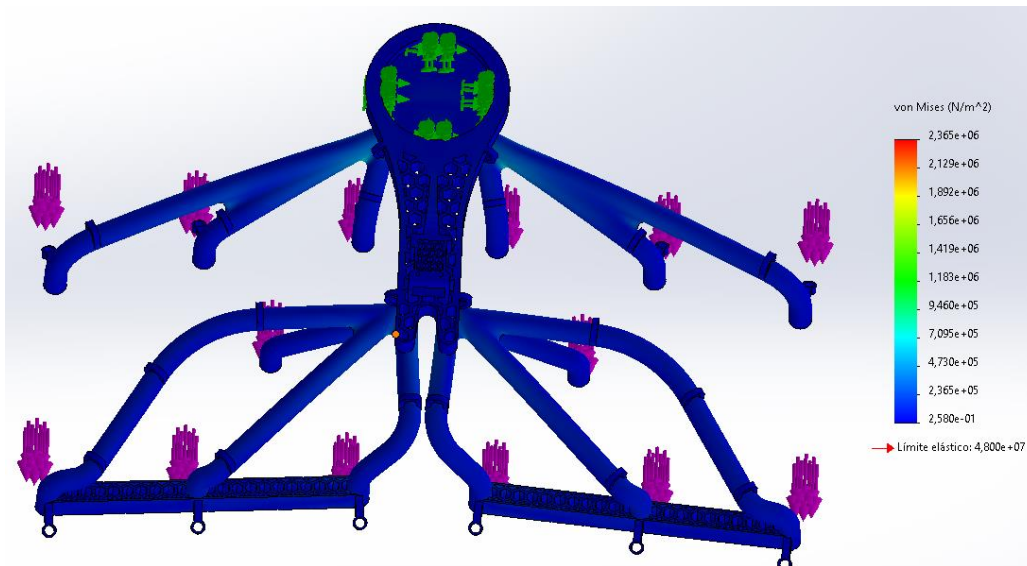


Figura 7.23: Simulació final, tensions força X. Font: Pròpia.

Les deformacions màximes, per aquest cas canvien de costat, i passen a la zona sense el suport addicional. De totes maneres, el seu valor és més baix que per la simulació amb les forces en l'eix Z. El valor màxim és d'1,317 mm.

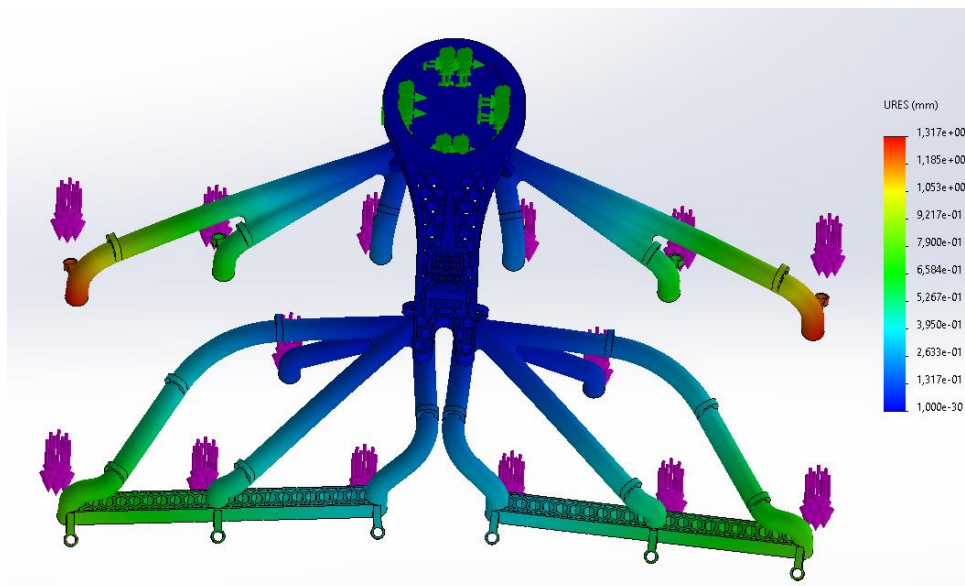


Figura 7.24: Simulació final, deformacions força X. Font: Pròpia.

7.7.4 Resultats de la simulació final

Comparant els resultats obtinguts després de realitzar tots els canvis, amb els obtinguts en les primeres simulacions, es pot observar com, tot i disminuir el gruix dels conductes, ja que s'ha incrementat el diàmetre interior a 5 mm, els valors màxims són menors. Això principalment és pel fet que s'han afegit dues subjeccions addicionals que reparteixen la càrrega, disminuint els valors màxims.

També destaquen les disminucions dràstiques en les tensions. Ja s'ha comentat que per al model final s'han arrodonit tots els punts crítics. Aquests punts eren en els quals apareixien les concentracions de tensions, i arrodonint-los ha suposat una disminució de les tensions màximes. Cal comentar que, els factors de seguretat són tan diferents, ja que, per la primera simulació es va utilitzar ABS, que té un límit elàstic menor al del PA 12, que s'ha utilitzat com a material final.

Taula 7.1: Resultats simulació final. Font: Pròpia.

Simulació	Deformació [mm]	Tensió [Mpa]	FS	
Primera	eix Z	2,23	6,498	4,92
	eix Y	1,334	4,75	6,74
	eix X	1,977	3,52	9,09
Final	eix Z	2,629	4,802	10,00
	eix Y	1,291	2,843	16,88
	eix X	1,317	2,365	20,30

Després d'analitzar els resultats es comprova com les deformacions i tensions de l'utilatge sota forces a les quals es veurà sotmès, entren dintre d'uns rangs estables, on les tensions no són suficientment altes per a suposar una ruptura, i les deformacions no són prou grans per a impedir la correcta realització de la tasca.

Amb tot això es conclou que els canvis realitzats a l'estructura són correctes i no suposen cap tipus de problema.

7.8 Estat final de l'assemblatge

A continuació es presentaran un seguit d'il·lustracions que mostren l'estat actual de l'assemblatge global, incloent-hi la colada i l'estructura de l'utillatge, així com tots els elements addicionals com poden ser les ventoses, pinça o cargols.

Al document de plànols es poden trobar les mides generals dels components principals de l'assemblatge.

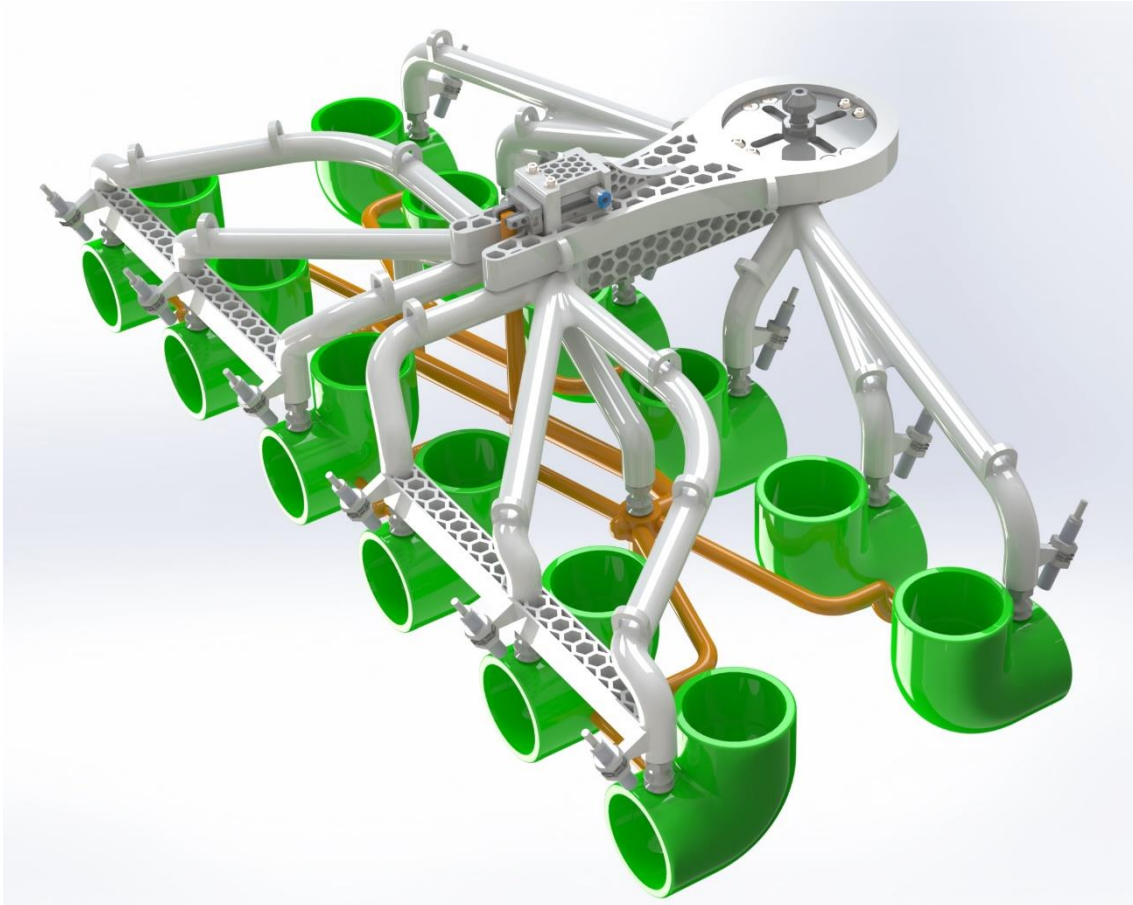


Figura 7.25: Render global de l'assemblatge. Font: Pròpia.

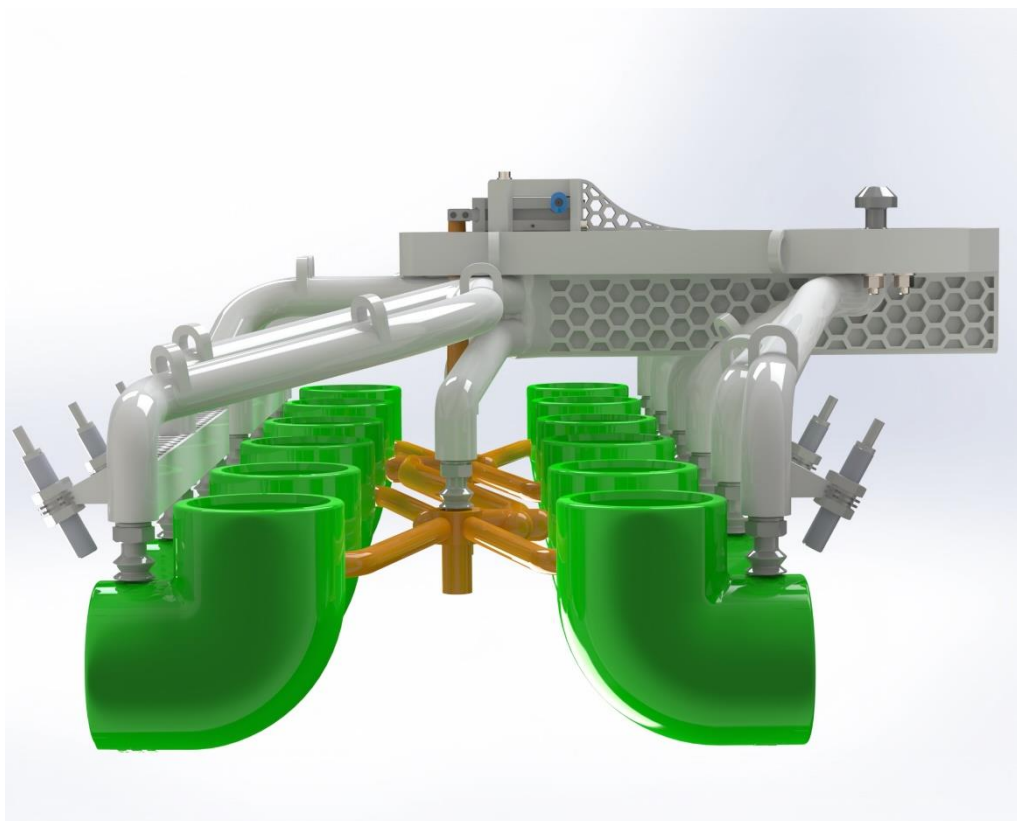


Figura 7.26: Render, vista lateral de detall. Font: Pròpia.

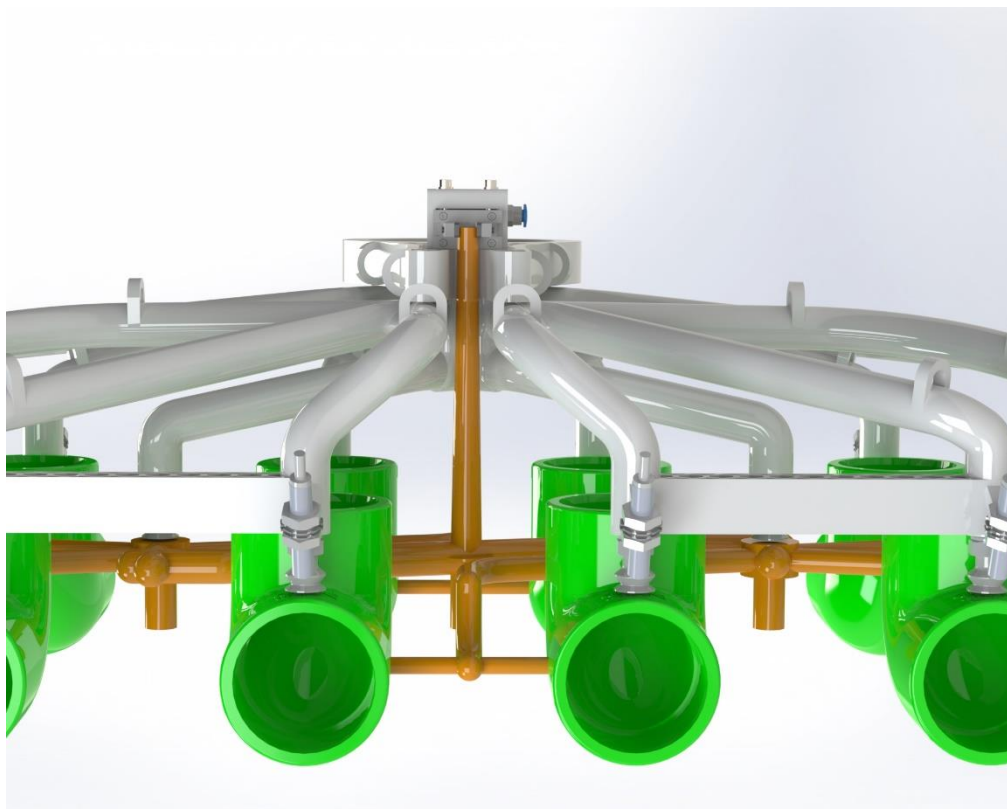


Figura 7.27: Render, vista frontal de detall. Font: Pròpia.

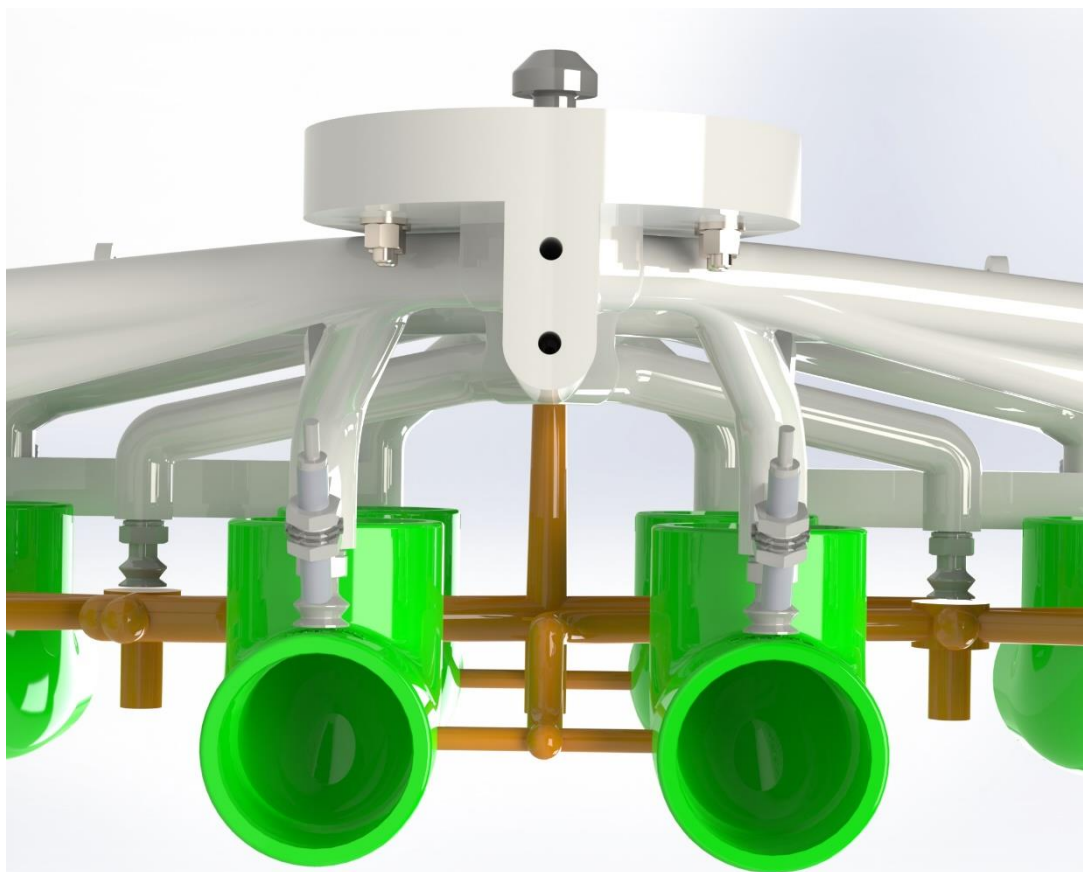


Figura 7.28: Render, vista posterior de detall. Font: Pròpia.

8. COSTOS D'IMPRESSIÓ

En aquest apartat es calcularà quin seria el cost d'impressió d'una peça d'aproximadament les mateixes dimensions que la d'aquest projecte.

Per a realitzar aquest càlcul s'hauran de tenir en compte cinc factors principals. El primer són els costos del material d'impressió, seguit del cost de la llum, del cost anual d'amortitzacions, el cost del personal, i finalment el cost del transport.

Les compres del material d'impressió normalment es fan en quantitats grans. Una quantitat normal és en sèries de 20 kg. Aleshores, 20 kg, de PA 12 costen aproximadament 1.172 €, el que fa que el preu per quilogram és de 59 €/kg.

Pel que fa al cost de la llum, es considerarà un cost de 0,11 €/kWh, i tenint en compte que el consum mitjà durant la impressió és d'1 kW per cada hora d'impressió, s'obté un cost d'hora per la llum de 0,11 € /hora d'impressió.

Els costos d'amortització s'aconsegueixen de la següent manera. Per tal d'imprimir una peça es necessiten quatre components principals. La impressora, una sorrejadora que s'encarrega de l'acabat superficial de les peces, un aspirador, i la instal·lació.

La impressora seleccionada té un cost de 345.000 €, la sorrejadora 16.000 €, una aspiradora industrial té un cost d'aproximadament 3.000 €, i una instal·lació d'aquest tipus rondaria els 10.000 €. Considerant una amortització a cinc anys, s'obtenen uns costos d'amortització anuals de 74.800 €.

Tenint en compte que les hores anuals disponibles són 1752 h, s'aconsegueix un cost per hora d'impressió per les amortitzacions de 42,69 €.

Finalment, pel cost de personal es considera que el cost per hora de treball és de 25 €/h, i es necessiten realitzar dues accions. Una de preparació i una altra de postproducció. El cost de personal aleshores anirà en funció del temps que requereixin aquestes dues fases. Per aquest cas es considerarà que cada fase triga una hora.

També es consideraran uns costos de transport de 100 €, i un marge de 15%.

Tots aquests valor s'agrupen a la taula que hi ha a continuació.

Taula 8.1: Costos d'impressió. Font: Pròpia.

Material			
20 kg	Cost	1.172 €	Cost/kg 58,60 €
Consum llum			
	Cost llum		0,11 €
	Consum mig		1 kW/h
	cost per hora		0,11 €
Cost amortitzacions			
	Impressora	345.000 €	
	Sorrejadora	16.000 €	
	Aspirador	3.000 €	
	Instal·lació	10.000 €	
	Total	374.000 €	
	Anual	74.800 €	
	Hores disponibles		1752
	Cost/hora		42,69 €
Personal			
	Cost hora		25 €
	Temps preparació en hores		1
	Temps postproducció en hores		1
Transport			100 €

Finalment, per calcular el cost total s'ha de tenir en compte el pes de la peça a imprimir, i el temps d'impressió.

El pes de l'estructura a imprimir és de 1154,98 g, i el temps d'impressió d'una peça d'aquest volum seria d'aproximadament sis hores.

Amb això s'obté un cost d'impressió de 572,3 € (**Taula 8.2**).

Taula 8.2: Càlcul de costos. Font: Pròpia.

Cost total		
Pes de la peça en kg	1,55	
Temps d'impressió en h	6	
Cost Material		90,83 €
Cost Llum		0,66 €
Cost Preparació		25 €
Cost Postproducció		25 €
Cost Amortització		256,16 €
Total		397,65 €
Transport		100,00 €
Total amb transport		497,65 €
Marge	1,15	572,30 €

9. SOLUCIÓ ACTUAL

Posteriorment a l'inici d'aquest treball es va desenvolupar una solució temporal per poder suplir la demanda del procés productiu de l'extracció de les peces.

Com s'ha comentat, es tracta d'una solució senzilla, enfocada a curt termini. Només desenvolupa la tasca de subjecció de les peces, i no inclou cap tipus de sistema de detecció, ni permet un control de qualitat automatitzat.

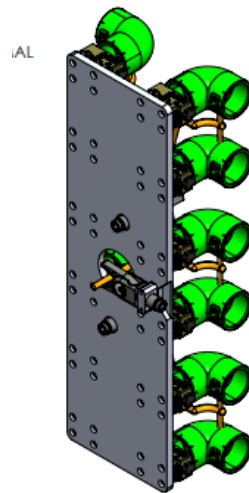


Figura 9.1: Solució actual al sistema de subjecció. Font: Pròpia.

Bàsicament l'utilatge està format per una placa rectangular en la qual van fixades 12 dispositius que subjecten els colzes. Addicionalment consta d'una inca per subjectar el sortint de la colada, i dues per subjectar els ramals de la colada (**Figura 9.2**).

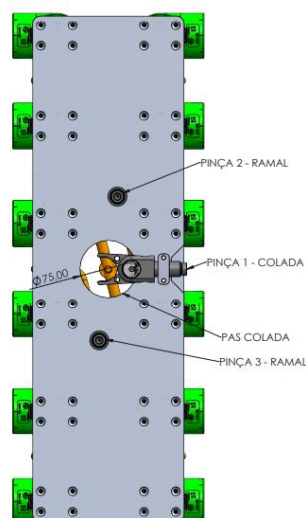


Figura 9.2: Pines de subjecció de la colada. Font: Pròpia.

El sistema de subjecció principal es fa mitjançant mitges llunes que subjecten la boca del colze expandint-se i fent pressió a la zona interior.

Com es pot observar, al tractar-se d'una placa totalment opaca, aquesta no permet realitzar el control de qualitat de les peces, i addicionalment com que es subjecten per la boca superior dels colzes, s'impossibilita realitzar aquesta operació independentment de la forma de l'estructura principal.

Per veure-ho amb més detall, en el document de plànols s'afegeixen els plànols amb les mides generals d'aquesta solució.

10.PRESSUPOST

En aquest apartat s'especificaran els costos associats en el desenvolupament, fabricació i adquisició de materials proposades i tractades amb detall durant aquest projecte.

Aquests costos inclouran les dues parts, mecànica i electrònica del projecte, i els aspectes principals són:

- Materials.
- Costos de fabricació.
- Mà d'obra.
- De forma addicional es consideraran els costos de les llicències dels programes utilitzats.

10.1 Costos dels materials

Els costos de material s'han separat en dues parts, la part mecànica i la part electrònica. A continuació es mostren en dues taules els respectius costos dels elements necessàries, identificats durant el projecte.

Taula 10.1: Costos dels materials de la part mecànica. Font: Pròpia.

Components	Concepte	Unitats	Preu unitari	TOTAL
Ventosa VASB-15-1/8-NBR	Ventoses per la subjecció	14	14,57 €/u	203,98 €
FESTO Parallel gripper single acting DHPC-10-A-NC-S-1 8116766	Pinça per la colada	1	250,84 €/u	250,84 €
Tornillo allen ISO-7380 inoxidable (Uds)	Cargols subjecció ancoratge M5	8	0,07 €/u	0,56 €
Arandela plana DIN-125 inoxidable	Arandeles per l'ancoratge M5	8	0,15 €/u	1,20 €
Tornillo allen ISO-7380 inoxidable (Uds)	Cargols per la pinça M3	4	0,03 €/u	0,12 €
Arandela plana DIN-125 cincada (Uds)	Arandeles per la pinça M3	4	0,01 €/u	0,04 €
Adaptador de rosca recto, con. A M3 macho	Connexió a pinça	1	56,48 €/u	56,48 €
TOTAL part mecànica				513,22 €

Taula 10.2: Costos materials de la part electrònica. Font: Pròpia.

Components	Concepte	Unitats	Preu unitari	TOTAL
Optoacoplador PC817	Optoacoblador	12	0,13 €/u	1,56 €
Heschen Interruptor capacitivo del sensor de proximitat M12	Sensor de proximitat	12	15,99 €/u	191,88 €
ESP32 ESP-WROOM-32	Microcontrolador ESP32	1	9,99 €/u	9,99 €
Cable plano IDC 10 pines	Cables per connexió dels components	1	10,99 €/u	10,99 €
Resistències	Resistències	24	0,07 €/u	1,68 €
TOTAL part electrònica				216,10 €

10.2 Costos de fabricació

Els costos de fabricació es refereixen al cost de la impressió 3D de l'estructura. Aquesta qüestió s'ha tractat amb detall en l'apartat 8. COSTOS D'IMPRESSIÓ, en la memòria de la part mecànica.

Taula 10.3: Costos de fabricació. Font: Pròpia.

Cost Material	90,83 €
Cost Llum	0,66 €
Cost Preparació	25 €
Cost Postproducció	25 €
Cost Amortització	256,16 €
Total	397,65 €
Transport	100,00 €
Total amb transport	497,65 €
TOTAL amb marge	(1,15) 572,30 €

10.3 Costos de mà d'obra

Pels costos de mà d'obra s'ha considerat el salari mitjà d'un enginyer a Catalunya, que és d'aproximadament 15 €/h. A partir d'aquí, en funció de les hores treballades, s'han separat en el cost de la part mecànica, electrònica i comuna, i d'aquesta manera s'obté el total.

Taula 10.4: Costos de mà d'obra. Font: Pròpia.

	Cost Hora	Hores totals	Total
Hores part mecànica	15 €/h	224 h	3.360,00 €
Hores part electrònica	15 €/h	240 h	3.600,00 €
Part comuna	15 €/h	144 h	2.160,00 €
Total			9.120,00 €

10.4 Llicències de software

Per aquest apartat s'ha considerat el cost que suposen les llicències dels programes utilitzats per dur a terme el projecte. Per obtenir el cost per hora s'ha considerat que a l'any hi ha un total de 1750 hores.

Taula 10.5: Llicències de software. Font: Pròpia.

	Cost Llicència €/any	Cost hora	Hores	Cost total
Solidworks 2022	3.158,00 €	1,80 €	120	216,30 €
Office 365	69,00 €	0,04 €	164	6,46 €
Total				222,76 €

10.5 Pressupost total

Finalment, tenint en compte tots els apartats anteriors s'obté el cost total.

Taula 10.6: Pressupost total. Font: Pròpia.

Tipus de cost	Cost total
Costos materials part mecànica	513,22 €
Costos materials part electrònica	216,10 €
Costos de fabricació	572,30 €
Costos mà d'obra	9.120,00 €
Llicències de software	222,76 €
TOTAL	10.644,38 €

11. INFORMACIÓ

A continuació es farà una breu recerca sobre les normatives que són susceptibles a ser aplicades en aquest projecte, i finalment es tractarà el tema patent i com afecten aquest treball.

11.1 Normatives

En aquest apartat s'ha realitzat una recopilació d'un seguit de normes que poden ser d'interès de cara a la realització del projecte.

11.1.1 Seguretat

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 12100:2012	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010)	[34]
UNE-EN ISO 13854:2020	UNE-EN ISO 13854:2020 Seguridad de las máquinas. Espacios mínimos para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano. (ISO 13854:2017).	[35]
UNE-EN ISO 13850:2016	Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2015).	[36]
UNE-EN IEC 61496-1:2021	Seguridad de las máquinas. Equipos de protección electroinsensibles. Parte 1: Requisitos generales y ensayos.	[37]

11.1.2 Normatives amb PLC

Norma	Títol	Font
UNE-EN 61131-5:2001	Autómatas programables. Parte 5: Comunicaciones. (Ratificada por AENOR en febrero de 2002).	[38]
UNE-EN 61131-6:2012	Autómatas programables. Parte 6: Seguridad funcional. (Ratificada por AENOR en enero de 2013.)	[39]

11.1.3 Normatives amb robots

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 10218-1:2012	Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. (ISO 10218-1:2011)	[40]
UNE-EN ISO 10218-2:2011	Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011).	[41]
PD ISO/TR 20218-1:2018	Robotics. Safety design for industrial robot systems. End-effectors	[42]

11.1.4 Elements de fixació

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 888:2019	Elementos de fijación. Pernos, tornillos y espárragos. Longitudes nominales y longitudes roscadas. (ISO 888:2012)	[43]
UNE-EN ISO 10510:2011	Tornillos autorroscantes con arandela plana incorporada. (ISO 10510:2011)	[44]
UNE-EN ISO 225:2011	Elementos de fijación. Pernos, tornillos, espárragos y tuercas. Símbolos y designación de las dimensiones. (ISO 225:2010)	[45]
UNE-EN ISO 10666:2000	Tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Características mecánicas y funcionales (ISO 10666:1999).	[46]
UNE-EN 20898-7:1996	Características mecánicas de los elementos de fijación. Parte 7: Ensayo de torsión y mínimo par de torsión para pernos y tornillos con diámetros nominales comprendidos entre 1 mm y 10 mm. (ISO 898-7:1992).	[47]

11.1.5 Coixinets

Norma	Títol	Font
UNE 16604:1991	Cojinetes redondos para roscar. Vocabulario y terminología.	[48]
UNE 18106:1986	Rodamientos. Tolerancias. Definiciones.	[49]

11.1.6 Motlles

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 26909:2010	Resortes. Vocabulario (ISO 26909:2009) (Ratificada por AENOR en junio de 2010.)	[50]
UNE-EN ISO 2162-1:1997	Documentación técnica de productos. Resortes. Parte 1: Representación simplificada. (ISO 2162-1:1993).	[51]
UNE-EN 13906-1:2013	Muelles helicoidales cilíndricos fabricados de alambres y barras. Cálculo y diseño. Parte 1: Muelles de compresión. (Ratificada por AENOR en agosto de 2013.)	[52]

11.1.7 Materials

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 180:2020	Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto Izod. (ISO 180:2019).	[53]
UNE-EN ISO 15013:2008	Plásticos. Placas extruidas de polipropileno (PP). Requisitos y métodos de ensayo. (ISO 15013:2007)	[54]
UNE-EN ISO 19062-1:2016	Plásticos. Materiales de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones. (ISO 19062-1:2015).	[55]

11.1.8 Fabricació Additiva

Norma	Títol	Font
UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:2020	Fabricación aditiva. Diseño. Fabricación aditiva con gradiente funcional (ISO/ASTM/TR 52912:2020) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2020.)	[56]
UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017	Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología. (ISO/ASTM 52900:2015).	[57]
UNE-EN ISO/ASTM 52911-2:2020	Fabricación aditiva. Diseño. Parte 2: Fusión láser de lecho de polvo de polímeros. (ISO/ASTM 52911-2:2019).	[58]
UNE-EN ISO/ASTM 52910:2020	Fabricación aditiva. Diseño. Requisitos, directrices y recomendaciones (ISO/ASTM 52910:2018)	[59]
UNE-EN ISO/ASTM 52903-1:2021	Fabricación aditiva. Fabricación aditiva de materiales plásticos basada en extrusión de materiales. Parte 1: Materias primas. (ISO/ASTM 52903-1:2020).	[60]

11.1.9 Comunicacions

Norma	Títol	Font
UNE-EN 50325-1:2019	Subsistema de comunicaciones industriales basado en la norma ISO 11898 (CAN) para interfaces dispositivos-controladores. Parte 1: Requisitos generales. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en febrero de 2020.)	[61]
UNE-EN 303348 V1.2.1	Controladores de bucle de inducción de audiofrecuencia de hasta 45 A en la gama de frecuencias de 10 Hz a 9 kHz; norma armonizada para el acceso al espectro radioeléctrico. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en septiembre de 2021.)	[62]

11.2 Patents

Les patentes formen part de la Propietat Industrial, que, a part de patents, també inclou dissenys industrials, Marques i Noms comercials i Topografies de semiconductors. A més a més per cadascun d'aquests drets hi ha una legislació aplicable [63].

Bàsicament, una patent és un títol que acredita el dret a explotació exclusiva sobre una determinada invenció, que impedeix la fabricació o venda sense consentiment del titular [64].

Aleshores, l'objecte de la patent pot ser una entitat física, com ho seria un producte o màquina, o una activitat, per exemple un procediment. Cal tenir en compte que una patent és un dret negatiu, però que no autoritza a res, per tant, una patent no dona al seu titular el dret a fabricar o comercialitzar el producte patentat sense complir amb les normes legals pertinents [64].

Per tal que una invenció sigui patentable ha de complir amb una sèrie de requisits [63] [64].

- El primer de tot és que ha de ser **innovadora**, aleshores que no estigui compresa dins l'estat de la tècnica, o cosa que és el mateix, que no s'hagi divulgat prèviament a la patent.
- Que sigui una **activitat inventiva**, aleshores, que no resulti evident per un expert en la matèria. Generalment, les invencions són combinacions d'elements coneguts, aleshores si resulta evident per un expert, no seria una activitat inventiva.
- Ha de ser susceptible d'aplicació industrial. Si es pot fabricar o utilitzar en qualsevol classe d'indústria, es considera que ho és.

Amb tot això, com que el producte a realitzar en aquest projecte no complex amb el requisit de ser un producte innovador, ni una activitat inventiva, no és un susceptible a ser patentat.

Tot i així, per a la realització del projecte s'utilitzaran productes patentats com per exemple Impressores 3D per a l'elaboració de la estructura, càmeres de visió artificial, per al control de qualitat, microcontroladors o PLCs, sensors, entre d'altres.

12. Impacte mediambiental

En aquest capítol d'Impacte ambiental es tractaran els aspectes relacionats amb la generació o emissió de residus al llarg del procés de fabricació i treball del producte desenvolupat en aquest projecte. Al mateix temps també s'identificaran i es valorarà el seu impacte.

Primerament, en fer una anàlisi d'aquest tipus és essencial tenir en compte què és el que es desenvolupa, i quin és el seu propòsit o quina serà la seva funció.

En aquest cas, es tracta del disseny d'un producte enfocat a treballar en la indústria per realitzar una tasca determinada, i no involucra cap mena d'activitat d'edificació o reforma d'un edifici. A partir d'aquí es redueixen molt els factors a considerar.

D'aquesta manera, com que l'objectiu del producte no és la comercialització i venda, la quantitat d'unitats produïdes serà molt petita. En funció de la necessitat de la planta de producció, es fabricaran més o menys, a priori es considera que només caldrà una unitat.

Tenint aquest factor en compte, és evident que l'impacte per consum energètic durant la producció serà mínima, de manera específica, s'estima que el consum, a causa de la impressió de l'estructura, serà de 6 kW.

D'altra banda, la fabricació de l'estructura, és l'element més important i voluminós de tot el producte. S'ha comentat que es farà mitjançant una impressora 3D de MJF. Aleshores, aquesta tecnologia, com que no utilitza suports durant la impressió de l'element, el malbaratament de material és mínim. Addicionalment, la pols que no es fusioni, es pot tornar a reutilitzar, d'aquesta manera l'eficiència del procés és molt alta.

També com que no s'ha de comercialitzar, les emissions de CO₂, a causa del transport del producte, seran molt baixes o inexistents.

Per la part d'electrònica, les emissions seran també molt petites. Els dispositius electrònics emprats tenen consums molt baixos, ja que es tracten de dispositius petits que generen dades senzilles, principalment sensors i un microcontrolador.

Al final del cicle de vida del producte, els components es separaran i s'enviaran a punts especialitzats pel seu tractament, on el percentatge de recuperació dels materials pot arribar a ser gairebé del 90%.

No obstant això, en cas de fallada d'un component, no caldria tornar a fabricar tot l'utilitatge des de zero, només caldria substituir el component trencat, cosa que redueix molt la quantitat de material utilitzat.

Aquestes són els aspectes principals i de major impacte de cara al medi ambient del projecte. Als Annexos s'han adjuntat les Llistes de control mediambiental on apareixen aspectes més concrets.

13. Perspectiva de gènere

Aquest és el capítol de perspectiva de gènere, el qual intenta identificar les desigualtats que es poden presentar a l'hora d'utilitzar de manera específica o diferent, productes i serveis tecnològics.

Per aquest present projecte, Disseny d'un utilatge IoT mitjançant Fabricació Additiva, es desenvolupa un producte orientat a resoldre una necessitat dintre de la indústria.

Aleshores no es tracta d'un producte comercial amb un públic objectiu, sinó que està destinat a ser implementat en un braç robòtic.

D'altra banda, per al que a la interfície de visualització del sistema de detecció de peces respecta, aquest s'ha dissenyat des d'un punt de vista funcional, on l'únic objectiu és, mostrar de la forma més entenedora possible, les dades obtingudes.

D'aquesta manera, el disseny en tot moment s'ha orientat a la funcionalitat i compatibilitat amb l'entorn industrial determinat, exposat al llarg del document, i no representa o pot representar cap desigualtat, sigui per qüestions biològiques o per factors socials, entre homes i dones.

14. ORGANITZACIÓ DEL TREBALL

En aquest apartat es realitzarà una organització global del treball. Primerament es planificaran les activitats necessàries per a completar el treball, assignant una durada estimada per cadascuna d'elles, així com el punt d'inici i finalització. Seguidament, s'han plantejat un conjunt de punts de control amb una freqüència determinada per tal de detectar i ser capaç de gestionar qualsevol incidència inesperada. Finalment s'ha plantejat una gestió d'incidències i riscos amb l'objectiu de ser capaç de fer front a qualsevol imprevist que pugui succeir.

14.1 Planificació

Per tal de tenir monitorat el projecte i realitzar un seguiment estructurat del mateix s'ha realitzat una planificació dividint-lo en 7 activitats principals. Cadascuna d'aquestes activitats principals, addicionalment, s'ha dividit en sub-activitats per tal de fer una estimació de temps més precisa. Aquestes activitats principals es mostren en la taula, on s'indica la durada, el dia d'inici i de finalització, i el mateix pel projecte total (TFG).

Taula 14.1: Durada de les activitats. Font: Pròpia.

Activitat	Durada	Inici	Final
TFG (total)	81 dies	11/02/2022	03/06/2022
1. Presentació de l'Avantprojecte	8 dies	11/02/2022	22/02/2022
2. Redacció part teòrica TFG	5 dies	23/02/2022	01/03/2022
3. Disseny del sistema de detecció	15 dies	23/03/2022	12/04/2022
4. Disseny estructural i mecànic de l'utilatge	31 dies	02/03/2022	13/04/2022
5. Impressió 3D de l'utilatge	12 dies	14/04/2022	29/04/2022
6. Revisió i prova en el cas real	15 dies	02/05/2022	20/05/2022
7. Redacció de la memòria	10 dies	23/05/2022	03/06/2022

A l'hora de realitzar la planificació, s'ha treballat amb un horari Estàndard, que consisteix en 8 hores de treball diari, 5 dies a la setmana, amb els caps de setmana sense treballar. Tot i que aquest horari no s'ajusta de forma acurada al d'un estudiant, ja que és més comú dedicar el gruix del treball durant els caps de setmana, com que no hi ha classes, la suma total d'hores de dedicació és equivalent. L'estructura que segueixen les activitats es mostra amb el diagrama de Gantt de la Figura.

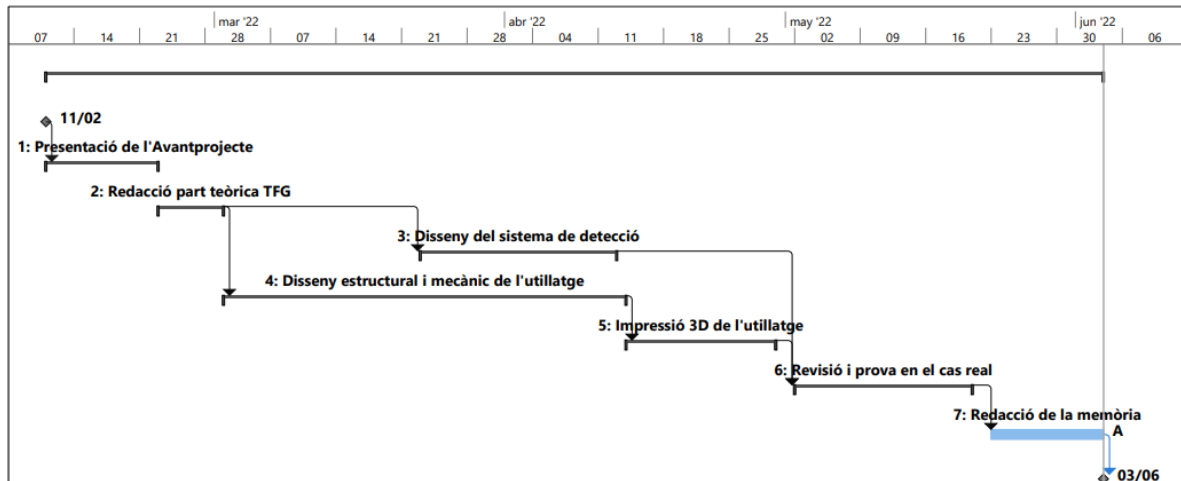


Figura 14.1: Diagrama de Gantt activitats principals. Font: Pròpia.

Com s'ha comentat anteriorment, cada activitat principal s'ha dividit en sub-activitats, **Taula 14.2**. Aquestes s'han determinat en funció dels requeriments del projecte. En total hi ha 29 sub-activitats, més la redacció final de la memòria, on s'especifica de forma acurada la durada així com la data d'inici i finalització.

En aquest cas hi ha dues parts que es treballen en paral·lel, l'activitat 3, el Disseny del sistema de detecció, i l'activitat 4, el Disseny estructural i mecànic de l'utilatge. Aleshores la realització d'aquestes activitats es va intercalant en funció del progrés i necessitats del conjunt del treball. La resta d'activitats, l'ordre numèric correspon a l'ordre cronològic.

A la majoria d'activitats s'inclou una sub-activitat que consisteix en verificacions i revisions del treball realitzat en aquella activitat, amb l'objectiu de garantir la correcta realització de les activitats predecessores, i la reducció d'errors en les activitats successores.

Tot això es mostra de forma estructurada amb un diagrama de Gantt, **Figura 14.2:** Gantt total. Font: Pròpia. en el qual apareix la planificació global de tot el projecte, on es pot veure en un format visual la durada de cada activitat així com l'ordre que segueixen.

Taula 14.2: Sub-activitats. Font: Pròpia

Activitat	Durada	Inici	Final
TFG (total)	81 dies	11/02/2022	03/06/2022
1. Presentació de l'Avantprojecte	8 dies	11/02/2022	22/02/2022
1.1 Revisió i feedback de l'Avantprojecte	5 dies	11/02/2022	17/02/2022
1.2 Canvis i millores respecte la proposta inicial	16 hores	18/02/2022	21/02/2022
1.3 Adquisició d'informació addicional	8 hores	22/02/2022	22/02/2022
2. Redacció part teòrica TFG	5 dies	23/02/2022	01/03/2022
2.1 Recerca punts clau a tractar	12 hores	23/02/2022	24/02/2022
2.2 Redacció del document	20 hores	24/02/2022	28/02/2022
2.3 Verificació del format	8 hores	01/03/2022	01/03/2022
3. Disseny del sistema de detecció	15 dies	23/03/2022	12/04/22
3.1 Anàlisi del hardware	16 hores	23/03/2022	24/03/2022
3.2 Anàlisi del software	16 hores	25/03/2022	28/03/2022
3.3 Disseny d'esquemes i prototips	32 hores	29/03/2022	01/04/2022
3.4 Redacció d'avenços del sistema de detecció	16 hores	04/04/2022	05/04/2022
3.5 Simulacions amb el sistema de detecció	40 hores	06/04/2022	12/04/2022
4. Disseny estructural i mecànic de l'utilatge	31 dies	02/03/2022	13/04/2022
4.1 Anàlisi dels sistemes de subjecció	8 hores	02/03/2022	02/03/2022
4.2 Primers dissenys estructurals de l'utilatge	24 hores	03/03/2022	07/03/2022
4.3 Redacció d'avenços	8 hores	08/03/2022	08/03/2022
4.4 Simulacions a esforços mecànics	24 hores	09/03/2022	11/03/2022
4.5 Disseny estructural final de l'utilatge	24 hores	14/03/2022	16/03/2022
4.6 Disseny de l'assemblatge final	32 hores	17/03/2022	22/03/2022
4.7 Verificació del disseny estructural i mecànic	8 hores	13/04/2022	13/04/2022
5. Impressió 3D de l'utilatge	12 dies	14/04/2022	29/04/2022
5.1 Determinació de la tecnologia d'impressió	8 hores	14/04/2022	14/04/2022
5.2 Determinació del material d'impressió	8 hores	15/04/2022	15/04/2022
5.3 Verificació de la disposició de la tecnologia i material	8 hores	18/04/2022	18/04/2022
5.4 Redacció d'avenços	16 hores	19/04/2022	20/04/2022
5.5 Verificació dels plànols	16 hores	21/04/2022	22/04/2022
5.6 Elaboració dels primers prototips funcionals	40 hores	25/04/2022	29/04/2022
6. Revisió i prova en el cas real	15 dies	02/05/2022	20/05/2022
		0	
6.1 Verificació del prototip	24 hores	2/05/2022	04/05/2022
6.2 Adaptació al model real	16 hores	05/05/2022	06/05/2022
6.3 Elaboració del model final	24 hores	09/05/2022	11/05/2022
6.4 Implementació en el sistema real	2 dies	12/05/2022	13/05/2022
6.5 Probes i verificacions finals	5 dies	16/05/2022	20/05/2022
7. Redacció de la memòria	10 dies	23/05/2022	03/06/2022

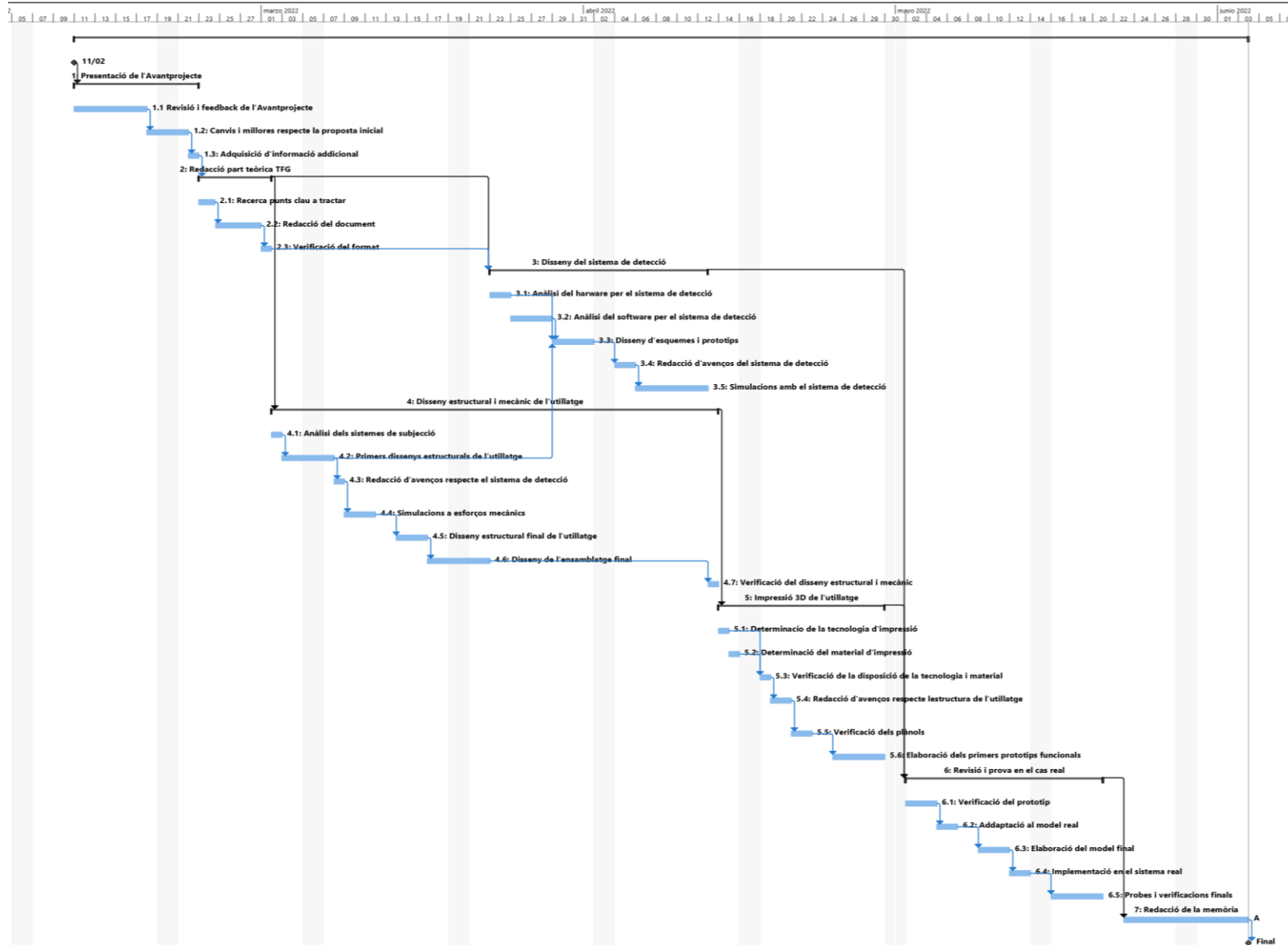


Figura 14.2: Gantt total. Font: Pròpia.

14.2 Punts de control

Amb l'objectiu de garantir el correcte seguiment del projecte, es realitzaran un seguit de punts de control sistemàtics al llarg del desenvolupament del treball. D'aquesta manera es podrà ajustar la planificació del projecte sencer, identificant els incidents o necessitats específiques que puguin anar apareixent durant la seva realització.

Com es pot veure a la taula , la durada de les activitats varia des dels 5 dies, per l'activitat més curta, la 2, fins als 4 dies, per l'activitat més llarga, la 4. En conjunt la durada total del projecte és de 81 dies.

Degut a que es vol realitzar un seguiment exhaustiu del progrés del projecte, per tal de poder prevenir qualsevol incident i corregir-lo, seguim els criteris de la **Taula 14.3**, ja que la durada del projecte és d'aproximadament 4 mesos, s'ha decidit agafar una freqüència de control lleugerament major a la indicada, i realitzar un punt de control cada dues setmanes.

Taula 14.3: Criteri de freqüència de punts de control. Font: [65].

Durada del Projecte	Freqüència mínima d'informació al client	Freqüència màxima d'informació al client
1 més	Cada tres dies	Diari
1 any	Mensualment	Dos cops al més
5 anys	Cada sis mesos	Cada dos mesos

Aleshores, seguint aquest format s'obtenen un total de 8 punts de control, que es repartiran tal i com s'indica a la **Figura 14.3**. També es pot veure de manera més detallada a la **Taula 14.4**.

Taula 14.4: Punts de control. Font.: Pròpia.

Nº punt de control	Data
Inici del Projecte	11/02/2022
1	21/02/2022
2	07/03/2022
3	21/03/2022
4	04/04/2022
5	18/04/2022
6	02/05/2022
7	16/05/2022
8	30/05/2022
Final del Projecte	03/06/2022

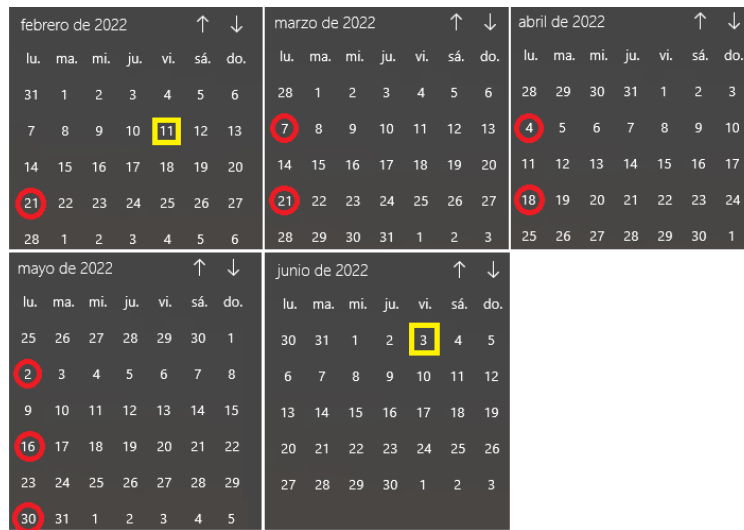


Figura 14.3: Calendari amb punts de control. Font: Pròpia.

14.3 Gestió d'Incidències i Riscos

Per a la gestió d'incidències, es dissenyarà un protocol bàsic per tal de fer front a les possibles incidències que apareixen durant la implementació del projecte. Aquest protocol es realitzarà en funció de la gravetat de cada risc.

A la **Taula 14.5**, s'han llistat una sèrie de riscos que poden aparèixer durant la realització del projecte, avaluant-los amb un valor de “Nivell de Risc” que segueix una escala de l'1 al 5. On el 5 es considera com a un risc de nivell crític, molt urgent a tractar, amb prioritat sobre qualsevol altre, mentre que el risc 1 és un risc amb prioritat mínima.

Aleshores, en funció de l'escala del “Nivell de Risc”, es defineix una acció a prendre per tal d'intentar resoldre la inconveniència.

Taula 14.5: Llistat de riscos i retard. Font: Pròpia.

Risc	Descripció del Risc	Nivell de Risc	Acció a Prendre	Retard
R-1	Eines insuficients o inadequades	3	Demandar / comprar eines o estris necessaris.	1-2 dies
R-2	Fallada d'equip o maquinària	4	Buscar un substitut a l'equip defectuós.	4-5 dies
R-3	Material defectuós	2	Substituir el material defectuós.	1-2 dies
R-4	Recurs no disponible	5	Redissenyar la planificació i treballar en tasques que no requereixin el recurs.	1-5 dies
R-5	Temps emprat major al planejat	4	Recuperar el temps perdut mitjançant hores extra.	1-5 dies
R-6	Incompliment de normativa	5	Aturar l'activitat i realitzar una revisió i redisseny de la part afectada.	2-3 dies
R-7	Error en la implementació	3	Detecció de l'error, en cas que sigui necessari, redisseny del sistema a implementar.	1-5 dies
R-8	Problemes amb l'adquisició de material	3	Cerca de proveïdors alternatius.	3-4 dies

Com es pot observar no hi ha cap risc classificat dintre del nivell mínim (1). De fet, la majoria dels riscos estan per sobre del nivell mitjà.

Juntament amb les activitats s'ha assignat un temps estimat, en funció de la solució per cada risc, amb l'objectiu de poder predir o fer una anàlisi més acurada en cas que pugui succeir qualsevol dels riscos llistats.

14.4 Seguiment i control del projecte

En aquest subapartat s'explicarà el progrés i les observacions realitzades a cada punt de control planificat anteriorment.

En total hi ha hagut 8 punts de control, repartits segons la **Taula 14.4**.

14.4.1 Primer punt 21/02/2022

Aquest és el primer punt de control, realitzat dilluns 21 de febrer.

Fins aquest moment s'ha presentat l'avantprojecte i ja s'ha fet la revisió d'aquest.

Amb el feedback rebut de la revisió, s'han realitzat els canvis pertinents i addicionalment s'ha adquirit més informació enfocada al desenvolupament de la part mecànica, que és la que es farà primer.

Fins ara es segueix amb la planificació i els terminis.

14.4.2 Segon punt 07/03/2022

Dilluns 7 de març es fa el segon punt de control.

S'ha començat i acabat dintre del termini l'activitat 2, la redacció de la part teòrica del TFG. No obstant això, no es descarta tornar a aquest punt més endavant per complementar i ampliar el contingut, o revisar el format.

Tal com marca la planificació, encara que el disseny del sistema de detecció és l'activitat 3, i el disseny mecànic la 4, primer s'ha abordat el projecte per la part mecànica.

Ja s'han començat a plantejar els primers dissenys estructurals.

Tot va dintre de termini.

14.4.3 Tercer punt 21/03/2022

Dilluns 21 de març es fa el tercer punt de control.

Encara s'està treballant en l'activitat 4, disseny estructural i mecànic de l'utilatge. Però, en dos dies s'hauria de començar a treballar en els primers apartats de l'activitat 3. No

obstant això, s'ha decidit començar per l'activitat 5, Impressió 3D de l'utilitatge, ja que va més lligada amb la part mecànica i té més sentit que vagi just després del disseny estructural.

Encara no s'ha acabat l'activitat 4, però es calcula que finalitzarà dintre de termini.

14.4.4 Quart punt 04/04/2022

Dilluns 4 d'abril es fa el quart punt de control.

Tal com es va comentar l'anterior punt de control, s'ha començat a desenvolupar l'apartat 5, abans que el 3, encara que la subactivitat d'elaborar els primers prototips funcionals no es completarà fins al final del projecte.

De fet, tots els apartats, menys l'esmentat, ja s'han completat, i es planeja començar durant aquesta setmana, l'activitat 3, disseny del sistema de detecció.

Tot va dintre de termini.

14.4.5 Cinquè punt 18/04/2022

Dilluns 18 d'abril es fa el cinquè punt de control.

S'ha començat treballar en l'activitat 3, disseny del sistema de detecció. S'ha concentrat el treball especialment en desenvolupar treball teòric, i recerca de hardware.

Tot va dintre de termini.

14.4.6 Sisè punt 02/05/2022

Dilluns 2 de maig es fa el sisè punt de control.

Ja s'hauria hagut d'acabar amb l'activitat 3, i de fet s'han completat les tasques especificades, però perquè s'ha decidit desenvolupar amb major detall del previst l'apartat del sistema de connexió IoT i de control de qualitat es calcula que s'allargarà la tasca aproximadament tres setmanes de treball o quinze dies.

Al mateix temps, s'ha determinat que l'activitat 6, revisió i prova en el cas real, no es farà en aquest projecte.

Això suposa que la data de terminació del projecte no es veurà modificada.

Després de realitzar els canvis esmentats, es preveu que es podrà acabar dintre del termini especificat.

14.4.7 Setè punt 16/05/2022

Dilluns 16 de maig es fa el setè punt de control.

Gairebé s'han finalitzat totes les activitats planificades en el termini previst, es calcula que al llarg d'aquesta setmana es completarà. Amb això, s'ha desenvolupat la connexió del sistema de detecció amb IoT, i s'ha dissenyat un programa per verificar les mides dels colzes amb visió artificial.

A partir d'aquí restarà redactar les memòries de la part mecànica i electrònica, amb els seus respectius annexos i plànols.

14.4.8 Vuitè punt 30/05/2022

Dilluns 30 de maig es fa el vuitè i últim punt de control planejat.

S'han finalitzat de forma completa totes les activitats anteriors.

S'ha començat amb la redacció de les memòries.

Es preveu que s'acabarà el projecte el divendres 3 de juny de 2022, tal com es va planejar inicialment.

15. CONCLUSIONS I TREBALL DE FUTUR

Aquest és l'apartat final, el qual tractarà les conclusions del treball, explicant totes les tasques acomplertes, una valoració dels resultats obtinguts, i finalment es plantejarà el possible treball de futur de cara a desenvolupar el projecte més enllà.

15.1 Introducció

Aquest treball forma una de les dues parts del projecte consistent en el disseny d'un Utilatge IoT mitjançant fabricació additiva.

En aquesta part del treball es desenvolupen els aspectes mecànics, els quals inclouen el disseny de l'estructura de l'utilatge, determinació de la tecnologia d'impressió 3D i el material amb el que es farà aquesta impressió.

15.2 Conclusions

En aquest treball s'ha explicat el desenvolupament i evolució de la indústria en l'actualitat, i tots els factors que propulsen a la Fabricació Additiva com a tecnologia clau en la Indústria 4.0, un entorn amb elevada connectivitat i automatització, una tendència a l'alça en la flexibilitat en la producció, i temps de producció reduïts.

A partir d'aquí, l'objectiu era desenvolupar, principalment una estructura que fos capaç de treballar com a utilatge. Com s'ha vist en el transcurs del treball, tot el disseny gira al voltant de la Fabricació Additiva, i la flexibilitat en el disseny que ofereix respecte tecnologies convencionals.

S'ha pogut comprovar amb simulacions i anàlisi estructurals com, mitjançant formes totalment adaptades a dur a terme una tasca, es poden arribar a dissenyar estructures molt eficients, i que desenvolupin tasques complexes.

S'ha verificat que l'estructura dissenyada pot suportar perfectament els esforços normals de treball, i al mateix temps assolir de forma satisfactòria tots els requeriments addicionals que s'han plantejat inicialment, poder realitzar la detecció de peces, mitjançant suports per sensors, poder realitzar un control de qualitat amb visió artificial, adaptant la forma i deixant les boques visibles.

També s'ha determinat una tecnologia d'impressió 3D que acomplís amb els requeriments mecànics i tècnics de la tasca, d'aquesta manera també es determina el material.

Finalment, s'ha arribat a la conclusió que la fabricació additiva ofereix uns avantatges clau respecte a les tecnologies de fabricació i mecanització convencionals, les quals poden arribar a donar solució a problemes, d'altra manera, irresolubles.

Al mateix temps, la capacitat de poder adaptar qualsevol disseny, en aquest cas l'utilitatge, específicament a la seva necessitat, ofereix un desenvolupament molt més eficient i efectiu de la tasca.

15.3 Treball de futur

Anteriorment en el document ja s'ha comentat que en aquest treball s'està desenvolupant un prototip, i com a tal, té un llarg camí per arribar fins a l'etapa final d'introducció a la línia de producció real.

Evidentment, una de les tasques que resta pendent és la impressió de l'estructura en 3D a mida completa, verificant viabilitat tècnica. A partir d'aquest punt, es podria començar a treballar en altres aspectes.

Una de les principals tasques a dur a terme, de cara a una etapa més avançada, seria la prova del sistema de subjecció amb les ventoses, connectant-ho al generador d'aire comprimit i verificant que subjecta el conjunt de manera adequada.

Al mateix temps, tot i haver-ho estudiat amb simulacions, seria ideal poder verificar la integritat estructural.

A partir d'aquest punt, en cas que fos necessari es podria readaptar o modificar el disseny, o en cas contrari, fer una prova amb el sistema real per comprovar si es fa de manera correcta.

Finalment, es podria afegir tot el sistema de detecció dissenyat a la part d'electrònica.

Bibliografía

- [1] «Sobre Fluidra,» Fluidra, [En línea]. Available: <https://www.fluidra.com/es/sobre-fluidra>. [Últim accés: 2022].
- [2] «Fluidra: Modelo de Negocio,» Fluidra, [En línea]. Available: <https://www.fluidra.com/projects/es/introduccion/#manufacturing>. [Últim accés: 2022].
- [3] Accelgrow, «Accel & Grow,» 25 gener 2019. [En línea]. Available: <https://www.accelgrow.com/2019/01/25/tecnologia-4-0-y-la-cuarta-revolucion-industrial/>. [Últim accés: 2022].
- [4] I. J. Petrick i T. W. Simpson, 3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition, Research-Technology Management, 2013.
- [5] COTEC, FABRICAICÓN ADITIVA, Madrid, 2011.
- [6] R. Sundar, A. Balaji i R. S. Kumar, «A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques,» Procedia Engineering, 2014,, pp. 1875-1885.
- [7] R. Blanco, J. Fontrodona i C. Poveda, «La industria 4.0: el estado en cuestión, Economía industrial,» 2017, pp. 151-164.
- [8] A. Ustundag i E. Cevikcan, Industry 4.0: Managing The Digital Transformation, 2018.
- [9] M. d. I. E. y. T. Gobierno de España, La transformación digital de la industria española, 2015.
- [10] E. Commission, FACTORIES OF THE FUTURE: Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
- [11] U. M. Dilberoglu, B. Gharehpapagh, U. Yaman i M. Dolen, «The Role of Additive

- Manufacturing in the Era of Industry 4.0,» *Procedia Manufacturing*, 2017, pp. 545-554.
- [12] M. A. K. Bahrin, M. F. Othman, N. H. N. Azli i M. F. Talib, *INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC*, *Jurnal Teknologi*, 2016.
- [13] A. Liñán, A. Vives, M. Zennaro, A. Baguala i E. Pietrosevoli, *Internet of Things IN 5 DAYS*, 2016.
- [14] Wikipedia, «Internet of things,» [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things. [Últim accés: 2022].
- [15] S. Morales, «Fabricació Additiva i Aplicació de Materials Avançats,» de *Apunts Enginyeria Mecànica Tecnocampus, UPF*, 2021.
- [16] M. Berchon i B. Luyt, *La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*, Gustavo Gili, 2016.
- [17] B. Redwood, «Types of 3D printing,» HUBS, Protolabs Company, [En línia]. Available: <https://www.hubs.com/knowledge-base/types-of-3d-printing/>. [Últim accés: 2022].
- [18] ISO, «ISO/ASTM 52900:2015,» 2015. [En línia]. Available: <https://www.iso.org/standard/69669.html>. [Últim accés: 2022].
- [19] ISO, «ISO/ASTM 52900:2021,» 2021. [En línia]. Available: <https://www.iso.org/standard/74514.html>. [Últim accés: 2022].
- [20] «Injection molding,» Hubs a Protolabs Company, [En línia]. Available: <https://www.hubs.com/guides/injection-molding/>.
- [21] «Bellows gripper DHEB,» FESTO, [En línia]. Available: https://www.festo.com/de/en/p/bellows-gripper-id_DHEB/?page=6&q=~%3AfestoSortOrderScored.
- [22] «Radial gripper DHRS,» FESTO, [En línia]. Available: <https://www.festo.com/gb/en/p/radial-gripper->

- id_DHRS/?q=~:festoSortOrderScored. [Últim accés: 2021].
- [23] «Ventosa Festo VASB-15-1/8-NBR,» RS Components, [En línia]. Available: <https://pt.rs-online.com/web/p/ventosas-neumaticas/2038218>.
- [24] J.-Y. Chen, K.-C. Tai i G.-C. Chen, «Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform,» *Procedia CIRP*, 2017, pp. 150-155.
- [25] J. R. Gomà i A. Gonzalez, «Modelització i Simulació,» de *Apunts Enginyeria Mecànica Tecnocampus, UPF*, 2021.
- [26] Z. Bi, «Chapter 1 - Overview of Finite Element Analysis,» de *Finite Element Analysis Applications*, Academic Press, 2018, pp. 1-29.
- [27] SCHMALZ, «Lightweight Gripping System SLG,» SCHMALZ, [En línia]. Available: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/lightweight-gripping-systems-slg/>. [Últim accés: 2022].
- [28] FESTO, «Parallel gripper,» [En línia]. Available: <https://www.festo.com/de/en/a/8116765/?q=~:sortByFacetValues-asc>. [Últim accés: 2022].
- [29] Festo, «Push-in fitting,» [En línia]. Available: <https://www.festo.com/de/en/a/153303/>. [Últim accés: 2022].
- [30] H. A. P. company, «What is 3D printing?,» [En línia]. Available: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/#chap>. [Últim accés: 2022].
- [31] «HP Jet Fusion 5200,» MAQUINSER, [En línia]. Available: <https://www.maquinser.com/producto/hp-jet-fusion-5200/>. [Últim accés: 2022].
- [32] Materialise, «PA 12 (sls),» [En línia]. Available: <https://www.materialise.com/es/manufacturing/materiales/pa-12-sls>. [Últim accés: 2022].
- [33] Xometry, «Nylon PA 12 (SLS, MJF),» [En línia]. Available:

- <https://xometry.eu/en/materials/nylon-pa12-sls/>. [Últim accés: 2022].
- [34] «UNE-EN ISO 12100:2012,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-12100-2012-n0049405>. [Últim accés: 2022].
- [35] «UNE-EN ISO 13854:2020,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-13854-2020-n0064550>. [Últim accés: 2021].
- [36] «UNE-EN ISO 13850:2016,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-13850-2016-n0056444>. [Últim accés: 2022].
- [37] «UNE-EN IEC 61496-1:2021,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iec-61496-1-2021-n0065479>. [Últim accés: 2022].
- [38] «UNE-EN 61131-5:2001,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-61131-5-2001-n0026113>. [Últim accés: 2022].
- [39] «UNE-EN 61131-6:2012,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-61131-6-2012-n0050437>. [Últim accés: 2022].
- [40] «UNE-EN ISO 10218-1:2012,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10218-1-2012-n0049289>. [Últim accés: 2022].
- [41] «UNE-EN ISO 10218-2:2011,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10218-2-2011-n0048668>. [Últim accés: 2022].
- [42] «PD ISO/TR 20218-1:2018,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-bis-pd-iso-tr-20218-1-2018-000000000030366625>. [Últim accés: 2022].
- [43] «UNE-EN ISO 888:2019,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma->

- une-en-iso-888-2019-n0061750. [Últim accés: 2022].
- [44] «UNE-EN ISO 10510:2011,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10510-2011-n0048449>. [Últim accés: 2022].
- [45] «UNE-EN ISO 225:2011,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-225-2011-n0047727>. [Últim accés: 2022].
- [46] «UNE-EN ISO 10666:2000,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10666-2000-n0022771>. [Últim accés: 2022].
- [47] «UNE-EN 20898-7:1996,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-20898-7-1996-n0010953>. [Últim accés: 2022].
- [48] «UNE 16604:1991,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-16604-1991-n0000746>. [Últim accés: 2022].
- [49] «UNE 18106:1986,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-18106-1986-erratum-n0000882>. [Últim accés: 2022].
- [50] «UNE-EN ISO 26909:2010,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-26909-2010-n0045353>. [Últim accés: 2022].
- [51] «UNE-EN ISO 2162-1:1997,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-2162-1-1997-n0013340>. [Últim accés: 2022].
- [52] «UNE-EN 13906-1:2013,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-13906-1-2013-n0051544>. [Últim accés: 2022].
- [53] «UNE-EN ISO 180:2020,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0064437>. [Últim accés: 2022].
- [54] «UNE-EN ISO 15013:2008,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-15013-2008-n0040567>. [Últim accés: 2022].

- 2022].
- [55] «UNE-EN ISO 19062-1:2016,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-19062-1-2016-n0057310>. [Últim accés: 2022].
- [56] «UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:2020,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-cen-tr-iso-astm-52912-2020-n0064770>. [Últim accés: 2022].
- [57] «UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52900-2017-n0059196>. [Últim accés: 2022].
- [58] «UNE-EN ISO/ASTM 52911-2:2020,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52911-2-2020-n0064850>. [Últim accés: 2022].
- [59] «UNE-EN ISO/ASTM 52910:2020,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063724>. [Últim accés: 2022].
- [60] «UNE-EN ISO/ASTM 52903-1:2021,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52903-1-2021-n0065805>. [Últim accés: 2022].
- [61] «UNE-EN 50325-1:2019,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063121>. [Últim accés: 2022].
- [62] «UNE-EN 303348 V1.2.1,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0066409>. [Últim accés: 2022].
- [63] «Oficina Española de Patentes y Marcas,» [En línia]. Available: <https://www.oepm.es/es/index.html>. [Últim accés: 2022].
- [64] A. Barlocchi, «Patents i Universitat, Breu introducció a la propietat industrial,» de *ZBM Patents & Trademarks*, TecnoCampus, Mataró-Maresme, 2021.

- [65] F. Flores i P. Palacios, «Gestió de Projectes II,» de *Apunts Enginyeria Mecànica i Electrònica*, 2021.
- [66] «COMHER,» [En línia]. Available: <https://comher.com/>. [Últim accés: 2022].
- [67] «FDM 3D printed end-of-arm tooling,» Stratasys, [En línia]. Available: <https://www.stratasys.com/tooling/jigs-and-fixtures-made-simple/ea-tooling>. [Últim accés: 2022].
- [68] «Stratasys,» [En línia]. Available: <https://www.stratasys.com/es/corporate/about-us>.