



TecnoCampus
Escola Superior
Politécnica

Centre adscrit a la



Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona

Simultaneïtat en Enginyeria Mecànica i Enginyeria Electrònica i Automàtica

**DISSENY D'UN SISTEMA DE DETECCIÓ DE DEFECTES AUTOMÀTIC
PER A JUNTES DE VÀLVULES SELECTORES DE PISCINA**

VOLUM I

Memòria. Part Mecànica

DANIEL JIMÉNEZ ISÁBAL

PONENT: SERGIO MORALES PLANAS

ANY 2022 - 2023



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Agraïments

Vull agrair en primer lloc a la meva família per donar-me suport i animar-me durant tot el desenvolupament d'aquest projecte. Gràcies a ells, se m'ha alleujat la càrrega de treball derivada de portar endavant aquest projecte.

També vull agrair a Sergio Morales, el meu tutor de TFG, per proposar-me un tema interessant d'aplicació industrial, i que gràcies a les seves connexions amb Fluidra m'ha proporcionat mostres de juntes estrellades amb tot tipus de defectes per analitzar de forma pràctica. També ha estat el pont per entrar en contacte amb AIS Vision Systems, empresa de visió artificial, per utilitzar les seves instal·lacions en el desenvolupament del projecte. Ha estat molt atent com a tutor de projecte, responent ràpidament als meus dubtes tant en forma de missatge directe com de reunions.

Finalment, agrair a Jose Racionero, Managing Director de AIS Vision Systema, i a tot el personal de la seu de Sabadell per rebre'm a l'empresa, cedir-me un espai de treball per a utilitzar les seves càmeres de visió artificial, i aconsellar-me en l'elaboració dels programes de visió quan necessitava ajuda.

Resum executiu

Aquest document es correspon a la memòria de Mecànica del treball de fi de grau (TFG) per la Simultaneïtat en Enginyeria Mecànica i Enginyeria Electrònica i Automàtica cursada a la universitat Tecnocampus de Mataró.

El projecte consisteix en el disseny d'un sistema de detecció de defectes en juntes de goma per a vàlvules selectores de filtres de piscina, tot utilitzant eines de visió artificial per a millorar i agilitzar el procés de control de qualitat. Cal comentar que es tracta d'un projecte que consta de dues parts, una corresponent al grau de Mecànica i un altre al d'Electrònica. Per tant, les dues memòries tindran apartats comuns.

Primerament es realitzarà una breu introducció, explicant la motivació que ha determinat la realització d'aquest projecte, els objectius i l'abast.

S'utilitzarà la informació del marc teòric i dades productives de PRELAST, l'empresa fabricant de les juntes, per definir els requisits funcionals principals per tal de portar a terme el projecte i adaptar-se al seu volum de producció. També s'identificaran els defectes més importants que poden aparèixer en les juntes, i la situació actual del control de qualitat de l'empresa amb un AMFE (Anàlisi Modal de Falles i Efectes).

En la generació d'alternatives de solució, s'analitzaran diferents tecnologies disponibles al mercat per al transport i separació de peces defectuoses de la línia principal de producció. Concretament, el defecte de micro-fractures, el més difícil de detectar, requerirà de major manipulació per a observar correctament els defectes.

L'anàlisi de viabilitat determinarà la millor solució, i un cop s'hagi definit en detall, es dissenyarà l'utilitatge per retirar les juntes defectuoses, fent eleccions de materials, simulacions i correccions. També es dissenyarà la distribució en planta del sistema de detecció de defectes.

Seguidament, es realitzaran els apartats de pressupost i planificació, tot definint plans de contingència.

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

Resumen ejecutivo

Este documento se corresponde a la memoria de Mecánica del trabajo de fin de grado (TFG) por la Simultaneidad en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica y Automática cursada a la universidad Tecnocampus de Mataró.

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de detección de defectos en juntas de goma para válvulas selectoras de filtros de piscina, utilizando herramientas de visión artificial para mejorar y agilizar el proceso de control de calidad. Hay que comentar que se trata de un proyecto que consta de dos partes, una correspondiente al grado de Mecánica y otro al de Electrónica. Por lo tanto, las dos memorias tendrán apartados comunes.

Primeramente, se realizará una breve introducción, explicando la motivación que ha determinado la realización de este proyecto, los objetivos y el alcance.

Se utilizará la información del marco teórico y datos productivos de PRELAST, la empresa fabricando de las juntas, para definir los requisitos funcionales principales para llevar a cabo el proyecto y adaptarse a su volumen de producción. También se identificarán los defectos más importantes que pueden aparecer en las juntas, y la situación actual del control de calidad de la empresa con un AMFE (Análisis Modal de Fallas y Efectos).

En la generación de alternativas de solución, se analizarán diferentes tecnologías disponibles al mercado para el transporte y separación de piezas defectuosas de la línea principal de producción. Concretamente, el defecto de microfracturas, el más difícil de detectar, requerirá de mayor manipulación para observar correctamente los defectos.

El análisis de viabilidad determinará la mejor solución, y una vez se haya definido en detalle, se diseñará el utillaje para retirar las juntas defectuosas, haciendo elecciones de materiales, simulaciones y correcciones. También se diseñará la distribución en planta del sistema de detección de defectos.

Seguidamente, se realizarán los apartados de presupuesto y planificación, definiendo planes de contingencia.

Finalmente, se hará una valoración final de proyecto con las conclusiones y se tratarán los aspectos a mejorar de cara al futuro.

Abstract

This document corresponds to the report of Mechanics of the Final Degree Project (TFG) for the Double Degree in Mechanical Engineering and Electronic and Automatic Engineering at the Tecnocampus Mataró University.

The project consists of the design of a system for detecting defects in rubber gaskets for pool filter selector valves, using artificial vision tools to improve and speed up the quality control process. It should be noted that this is a project consisting of two parts, one corresponding to the degree of Mechanics and the other to the degree of Electronics. Therefore, the two reports will have common sections.

First, a brief introduction will be made, explaining the motivation that has determined the realization of this project, the objectives and the scope.

The information of the theoretical framework and production data of PRELAST, the company manufacturing the gaskets, will be used to define the main functional requirements to carry out the project and adapt it to its production volume. It will also identify the most important defects that may appear in the joints, and the current situation of the company's quality control with a FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

In the generation of solution alternatives, different technologies Disponible a on the market for the transport and separation of defective parts from the main production line will be analyzed. Specifically, the micro-fracture defect, the most difficult to detect, will require more manipulation to correctly observe the defects.

The feasibility analysis will determine the best solution, and once it has been defined in detail, the tooling to remove the defective joints will be designed, making material choices, simulations and corrections. The plant layout of the defect detection system will also be designed.

Next, the budget and planning sections will be carried out, defining contingency plans.

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

Índex

Índex de figures	V
Índex de taules	XI
Glossari de termes	XIII
Guia de capítols	XV
1. Introducció.....	1
1.1. Objectiu	1
1.2. Justificació.....	1
1.3. Abast	2
2. Revisió d'antecedents i necessitats d'informació	3
2.1. Introducció	3
2.1.1. Empresa: Fluidra - Prelast	3
2.1.2. Aplicació: Filtre de piscina.....	4
2.2. Vàlvula selectora de piscina.....	6
2.2.1. Funcions d'una vàlvula selectora	7
2.2.2. Revisió de l'estat de la vàlvula.....	9
2.3. Producte: Juntes de vàlvules selectores	11
2.3.1. Exemples comercials	12
2.3.2. Defectes en O-Rings.....	14
2.3.3. Normatives per a O-Rings	15
2.3.4. Vida útil de les juntes	18
2.3.5. Condicions d'emmagatzematge de juntes tòriques	19
2.3.6. Concepte de junta d'estanquitat.....	19
2.4. Propietats dels elastòmers.....	20
2.4.1. Classificació	20
2.4.2. EPDM vs TPE	21
2.4.3. Comportament mecànic dels cautxús	21
2.4.4. Defectes dels elastòmers.....	24

2.5. Juntes de EPDM	25
2.5.1. Característiques EPDM	26
2.5.2. Propietats mecàniques EPDM	27
2.5.3. Vulcanització.....	32
2.5.4. TPE-V o TPV: compost de EPDM vulcanitzat	34
2.5.5. Reciclatge del EPDM vulcanitzat.....	35
3. Objectius i especificacions tècniques	37
3.1. Especificacions productives	37
3.2. Especificacions físiques	38
3.3. Defectes a detectar: elaboració de l'AMFE.....	38
3.3.1. Definició del sistema de detecció de defectes per fases	39
3.3.2. Galeria d'exemples dels defectes a observar	41
3.3.3. Elements d'una taula AMFE	45
4. Generació i plantejament d'alternatives de solució	49
4.1. Sistemes de flexió de peces per a la detecció d'esquerdes	49
4.1.1. Esquerdes de la cara inferior i superior: Corrons	50
4.1.2. Esquerdes centrals: Pinces d'obertura (<i>internal gripper</i>).....	52
4.1.3. Esquerdes als radis: torsió de la junta.....	54
4.2. Transport de juntes tòriques	57
4.2.1. Tipus de cinta transportadora	57
4.2.2. Tipus de <i>sorting systems</i>	59
4.3. Separació de les peces defectuoses	61
4.3.1. <i>Conveyor Pushers</i>	61
4.3.2. Arquitectures de robots	63
4.3.3. Sistema de subjecció: <i>grippers</i>	67
4.4. Fabricació Additiva pel disseny del manipulador de juntes.....	70
4.4.1. Característiques de la Fabricació Additiva.....	71
4.4.2. Materials utilitzats	72
4.4.3. Processos utilitzats	77
4.4.4. Elecció de la tècnica d'impressió 3D òptima	81
4.4.5. Principis de la fabricació additiva a aplicar en el <i>gripper</i> a dissenyar	85

5. Anàlisi de viabilitat.....	89
5.1. Viabilitat tècnica	89
5.1.1. Viabilitat del sistema de flexió de peces per a la detecció de micro-esquerdes	89
5.1.2. Viabilitat dels sistemes de separació de peces.....	91
5.1.3. Viabilitat del <i>gripper</i>	91
5.1.4. Compatibilitat gripper – robot.....	94
5.1.5. Viabilitat de la línia de producció	96
5.1.6. Viabilitat de la tecnologia de fabricació del gripper.....	97
5.2. Viabilitat econòmica	99
5.2.1. Tecnologies de fabricació.....	99
5.2.2. Material d'impressió.....	100
5.3. Viabilitat mediambiental	103
5.3.1. Emissions de la impressora 3D.....	103
5.3.2. Sostenibilitat de la impressió 3D.....	110
6. Selecció de l'alternativa més adequada.....	113
6.1. Especificacions del robot.....	113
6.1.1. SCARA Fanuc	115
6.1.2. SCARA Omron	121
6.1.3. Controlador PLC	122
6.2. Cintes transportadores.....	124
6.3. Tipus de perfils de cargols	127
6.4. Impressora 3D.....	129
6.4.1. Impressores FDM	129
6.4.1. Impressores SLS.....	130
13. Bibliografia.....	131

Índex de figures

<i>Figura 2.1.1. Filtre de sorra per a piscines residencials</i>	4
<i>Figura 2.1.2. Circulació d'aigua de piscina en un filtre de sorra [4]</i>	5
<i>Figura 2.2.1. Tipus de vàlvules selectores per a filtres de piscines [6]</i>	6
<i>Figura 2.2.2. Connexions de la vàlvula selectora amb el filtre</i>	7
<i>Figura 2.2.3. Circulació d'aigua per la vàlvula en les 6 posicions [8]</i>	8
<i>Figura 2.2.4. Recanvis de la Vàlvula Selectora lateral 2" Coral [10]</i>	10
<i>Figura 2.2.5. BOM de les Vàlvules selectores New Generation de Astrapool [11]</i>	10
<i>Figura 2.3.1. Tipus de juntes presents en una vàlvula selectora. [12]</i>	11
<i>Figura 2.3.2. Distribuïdor de vàlvula selectora 2" Classic AstralPool 4404120406 [14]</i>	12
<i>Figura 2.3.3. Exemple de denominació tècnica d'una junta tòrica [15]</i>	13
<i>Taula 2.3.1. Toleràncies de la secció (ds) i el diàmetre interior (di) de la junta. [16]</i>	13
<i>Figura 2.3.4. Toleràncies de forma i superfície segons la ISO 3601-3 [16]</i>	15
<i>Figura 2.3.5. Resum dels principals estàndards de juntes tòriques</i>	16
<i>Figura 2.3.6. Mesures d'una junta tòrica</i>	17
<i>Figura 2.3.7. Mesures d'una junta estrellada o distribuïdora [20]</i>	17
<i>Taula 2.3.2. Taula de recomanació de vida útil segons la noema AS5316 [21]</i>	18
<i>Figura 2.3.8. Posició de repòs (a) i d'estanquitat (b)</i>	19
<i>Figura 2.5.1. Mostres de juntes de EPDM amb rebaves</i>	25
<i>Taula 2.5.1. Taula de propietats resumides i mètodes d'assaig en peces de EPDM [39]</i>	27
<i>Figura 2.5.2. Determinació del límit elàstic a partir del límit de proporcionalitat</i>	28
<i>Figura 2.5.3. Exemple de diagrama tensió – deformació de materials dúctils</i>	29
<i>Figura 2.5.4. Diagrama tensió – deformació de materials dúctils vs fràgils</i>	30
<i>Figura 2.5.5. Diagrama tensió/deformació d'elastòmers, plàstics, metalls i vidres</i>	30
<i>Figura 2.5.6. Reducció de la elongació màxima en peces envellides de EPDM [42]</i>	31

<i>Figura 2.5.7. Augment de rigidesa i fragilitat dels elastòmers en refredar-se [43].....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.5.8. Manera correcta d'efectuar la prova de flexió [46]</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.5.9. Efectes de la densitat de reticulacions sobre propietats mecàniques [47]</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.1. Esquerra, radi deformat. Dreta, goma deformatada</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.2. Esquerra, radi trencat. Dreta, goma trencada</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.3. Esquerra, radi i goma deformatada. Dreta, goma deformatada</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.4. Esquerra. radi trencat. Dreta, goma trencada</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.5. Esquerra, cara B (superior). Dreta, cara A (inferior).</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.6. Cares captades per una lent 4.5 mm, Shutter 1500 (Esquerra, B. Dreta, A).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.7. Cares captades per una lent 6 mm, Shutter 2000 (Esquerra, B. Dreta, A).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.8. Exemple de rebaves excessives</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.9. Exemple de fractura a la zona d'unió dels radis amb l'anell intern. Font pròpia</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.10. Exemple de micro-fractures al anell intern. Font pròpia</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4.1.1. Zones de la junta estrellada on poden aparèixer defectes. Font pròpia.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.1.2. Zones d'aparició de miro-esquerdes. Font pròpia</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.1.3. Exemple de peça de goma doblegada per corrons</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.1.4. Esquerra: flexió uniforme de la goma, Dreta: flexió descompensada. Font pròpia</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4.1.5. A l'esquerra, pinça concèntrica [53]. A la dreta, pinça paral·lela [54]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.1.6. A l'esquerra, subjecció interna. A la dreta, subjecció externa. Font pròpia.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.1.7. Combinació dels errors de precisió i repetibilitat</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4.1.8. Exemples de pinces d'expansió [56]</i>	<i>55</i>
<i>Figura 4.1.9. Deformació de la goma per torsió de les juntes. Font pròpia</i>	<i>55</i>
<i>Figura 4.1.10. Maneres de generar torsió en una junta de goma. Font pròpia</i>	<i>55</i>
<i>Figura 4.1.11. Tipus de juntes que surten de la línia de producció. Font pròpia</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.1.12. Flexió de la junta amb subjecció central sense corrons. Font pròpia.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.2.1. Esquerra, cinta transportadora de banda. Dreta, cinta de corrons</i>	<i>58</i>

<i>Figura 4.2.2. Accessoris per a cintes transportadores</i>	58
<i>Figura 4.2.3. Exemple de Pick & Place d'alta velocitat</i>	59
<i>Figura 4.3.1. Exemples diversos de conveyor pushers</i>	61
<i>Figura 4.3.2. Instal·lació d'un conveyor pusher en una cinta específica [62]</i>	62
<i>Figura 4.3.3. Especificacions del pusher Primo Sort High Speed Sorter [63]</i>	62
<i>Figura 4.3.4. Especificacions pushers Vipersort Right-Angle Sortation Conveyors [64]</i>	63
<i>Figura 4.3.5. Exemples de robots cartesianes</i>	64
<i>Figura 4.3.6. Exemple de robot articulat tradicional (esquerra) i col·laboratiu (dreta) [65]</i>	65
<i>Figura 4.3.7. Exemples de robots SCARA</i>	66
<i>Figura 4.3.8. Exemples de robots Delta</i>	66
<i>Figura 4.3.9. Esquerra, foam rubber suction cups, Dreta, Vacuum gripper</i>	68
<i>Figura 4.3.10. Exemple de pinces hidràuliques paral·leles</i>	68
<i>Figura 4.3.11. Exemple de pinces paral·leles pneumàtiques</i>	69
<i>Figura 4.3.12. Exemple de pinces paral·leles elèctriques</i>	69
<i>Figura 4.3.13. Exemples diversos de soft grippers</i>	70
<i>Figura 4.4.1. Tipus de fabricació segons la modificació del material</i>	71
<i>Figura 4.4.2. Classificació dels polímers utilitzats en fabricació additiva</i>	72
<i>Figura 4.4.3. Propietats dels materials contemplats per fabricar les pinces</i>	73
<i>Figura 4.4.4. Propietats més importants del PETG com a material d'impressió 3D</i>	74
<i>Figura 4.4.5. Propietats més importants del PC com a material d'impressió 3D</i>	74
<i>Figura 4.4.6. Propietats més importants del Nylon com a material d'impressió 3D</i>	75
<i>Figura 4.4.7. Comparació de Nylon PA11 i PA12</i>	75
<i>Figura 4.4.8. Diferents tipus de filaments de poliamides</i>	76
<i>Figura 4.4.9. Diferents tecnologies d'impressió 3D segons l'aportació d'energia i material</i>	77
<i>Figura 4.4.11. Esquema de funcionament d'una impressora FDM</i>	78
<i>Figura 4.4.12. Representació dels efectes warping i cracking en les capes d'impressió</i>	78
<i>Figura 4.4.13. Diferència d'aportació d'energia entre SLA i DLP</i>	79

<i>Figura 4.4.14. Diferència entre sinteritzar i fondre partícules de pols</i>	79
<i>Figura 4.4.15. Passos de la impressió per MJF</i>	80
<i>Figura 4.4.16. Aportació de materials en la impressió MJ</i>	80
<i>Figura 4.4.17. Esquema de funcionament d'una impressora Binder Jetting</i>	81
<i>Figura 4.4.18. Elecció de tecnologies d'impressió 3D segons el material a imprimir</i>	82
<i>Figura 4.4.19. Elecció de tecnologies 3D segons les propietats funcionals</i>	82
<i>Figura 4.4.20. Tecnologies 3D segons el gruix de capa aconseguit</i>	83
<i>Figura 4.4.21. Necessitat de suports en diferents tecnologies d'impressió</i>	83
<i>Figura 4.4.24. Aplicacions òptimes de les tecnologies FDM, SLS i SLA</i>	84
<i>Figura 4.4.25. Peça impresa en 3D amb estructura lattice</i>	85
<i>Figura 4.4.26. Evolució de la forma de la peça per optimització topològica</i>	85
<i>Figura 4.4.27. Elecció de l'acabat en relleu més adequat</i>	86
<i>Figura 4.4.28. Elecció del patró més adequat del relleu</i>	86
<i>Figura 5.1.1. Sistemes per flexionar l'aro intern (1), flexionar la junta sencera (2) i torsionar els radis (3). Font pròpia</i>	89
<i>Figura 5.1.2. Configuració de múltiples corrons per a la flexió de juntes</i>	90
<i>Figura 5.1.3. Punts de subjecció de les juntes estrellades per mini-ventoses. Font pròpia</i>	92
<i>Figura 5.1.4. Ventoses Airbest sèrie SU [80]</i>	92
<i>Figura 5.1.5. Ventoses SMC sèrie ZPT [81]</i>	93
<i>Figura 5.1.6. Posició dels dits de les pinces en juntes de 4 i 5 radis. Font pròpia</i>	93
<i>Figura 5.1.7. Muntatge de la pinça paral·lela en un robot SCARA</i>	94
<i>Figura 5.1.8. Diagrama de connexions d'un robot SCARA amb grippler</i>	95
<i>Figura 5.1.9. Transport desordenat vs ordenat de juntes en cintes transportadores</i>	96
<i>Figura 5.1.9. Selecció del sistema productiu de recanvis més adequat</i>	98
<i>Figura 5.2.1. Filament de PC Premium Raise 3D Blanco, 60,49€/ 1 kg [85]</i>	100
<i>Figura 5.2.2. Filament de Nylon FX256 (PA12), 52€/ 750g [86]</i>	101
<i>Figura 5.2.3. Filament de CPE PETG avanzado, 35€/ 750g</i>	101

<i>Figura 5.2.4. Pols de Nylon PA11 per a impressió SLS</i>	101
<i>Figura 5.2.5. Filament de Nylon CF15 (Carbon-Filled), 54€/ 600g</i>	102
<i>Figura 5.2.6. Filament de PETG Carbonfill, 37€/ 500g</i>	102
<i>Figura 5.3.1. Emissió de VOC i UFP en les impressores FDM</i>	103
<i>Figura 5.3.2. UPM emeses abans (verd) i després (blau) d'instal·lar el Ultimate Air Manager</i>	104
<i>Figura 5.3.3. Purificador d'aire amb aplicació màvil incorporada</i>	105
<i>Figura 5.3.4. Enclosures per a impressores 3D</i>	105
<i>Figura 5.3.5. Substàncies químiques emeses per diferents materials en impressió 3D [95]</i>	106
<i>Figura 5.3.6. Concentracions de UPF i VOC a la zona d'impressió</i>	107
<i>Figura 5.3.7. Concentracions de UPF i VOC a les zones adjacents i llunyanes [97]</i>	108
<i>Figura 5.3.8. Nivell d'emissions sonores d'una impressora 3D</i>	109
<i>Figura 5.3.9. Emissions produïdes en una impressora SLS</i>	110
<i>Figura 6.1.1. Atributs del robot segons al seva mobilitat</i>	113
<i>Figura 6.1.2. Atributs del robot segons la seva governabilitat (com es controla)</i>	113
<i>Figura 6.1.3. Atributs del robot segons la seva capacitat d'autonomia</i>	114
<i>Figura 6.1.4. Diagrama de càrrega del braç robòtic ABB IRB 120</i>	115
<i>Figura 6.1.5. Tipus d'articulacions presents en un robot SCARA</i>	116
<i>Figura 6.1.6. Dimensions del robot escollit</i>	116
<i>Figura 6.1.7. Especificacions clau del Fanuc Sr-6iA</i>	117
<i>Figura 6.1.8. Operating Space del EOAT</i>	118
<i>Figura 6.1.9. Brake release switch</i>	118
<i>Figura 6.1.10. iRProgrammer per programar remotament el robot</i>	119
<i>Figura 6.1.11. Controlador R-30iB Plus, armari A amb iPendant integrat</i>	119
<i>Figura 6.1.12. Connexió PC - Controlador R-30iB Plus via RS-232 [104]</i>	120
<i>Figura 6.1.13. Components del Controlador R-30iB Plus via RS-232 [105]</i>	120
<i>Figura 6.1.13. Omron Cobra 650 [106]</i>	121
<i>Figura 6.1.13. Components d'una instal·lació robòtica Omron SCARA [107]</i>	121

<i>Figura 6.1.14. Gateway IoT IXON IXrouter3 4G per a PLCs[108].....</i>	122
<i>Figura 6.1.15. Expansió dels terminals de E/S del Controlador R-30iB [109].....</i>	123
<i>Figura 6.2.1. Banda transportadora modular</i>	124
<i>Figura 6.2.2. Gravats de bandes de cinta transportadora.....</i>	125
<i>Figura 6.2.3. Cinta transportadora escollida</i>	126
<i>Figura 6.3.1. Perfils de caps de cargols</i>	127
<i>Figura 6.3.2. Juego de llaves hexagonales en L RS PRO de 15 piezas, métrica de 1.27 → 10mm [117]</i>	127
<i>Figura 6.3.3. Juego de llaves hexagonales en T RS PRO de 10 piezas, métrica de 2.5 → 10mm [118]</i>	128
<i>Figura 6.3.4. YINSAN 120 Pcs Destornilladores Precision Kit [119]</i>	128
<i>Figura 6.4.1. Propietats d'una impressora 3D [119]</i>	129
<i>Figura 6.4.2. Volcano Nozzle (extrusora per a impressores FDM)</i>	130

Índex de taules

<i>Taula 2.3.1. Toleràncies de la secció (ds) i el diàmetre interior (di) de la junta.</i>	13
<i>Taula 2.3.2. Taula de recomanació de vida útil segons la noema AS5316</i>	18
<i>Taula 2.5.1. Taula de propietats resumides i mètodes d'assaig en peces de EPDM.....</i>	27
<i>Taula 2.5.1. Valors reduïts del mòdul de Young i el límit elàstic del EPDM [41]</i>	31
<i>Taula 3.1. Categorització de la gravetat dels defectes</i>	46
<i>Taula 3.2. Categorització de la freqüència dels defectes</i>	46
<i>Taula 3.3. Categorització de la detectabilitat dels defectes</i>	47
<i>Taula 3.4. Taula AMFE abans i després d'implementar la detecció automàtica de defectes. Font pròpia.....</i>	48
<i>Taula 4.1.1. Comparació de les diferents alternatives per a la detecció d'esquerdes. Font pròpia</i>	57
<i>Taula 4.2.1. Resum dels principals tipus de Sorting Systems</i>	60
<i>Taula 6.2.1. Especificacions d'una banda transportadora.....</i>	125

Glossari de termes

AMFE	Anàlisi Modal de Falles i Efectes
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials International</i>
BOM	<i>Build Of Materials</i>
CF	<i>Carbon-Filled</i>
CS	<i>Cross Section</i> (secció de la junta)
EOAT	<i>End OF Arm Tool</i>
EPA	Agència de Protecció del Medi Ambient
EPDM	Cautxú etilè-propilè-diè (<i>Ethylene Propylene Diene Methylene</i>)
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
FIFO	<i>Fist In First Out</i>
HEPA	<i>High Efficiency Particle Arresting</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IAQ	<i>Interior Air Quality</i>
ID	<i>Inner Diameter</i> (Diàmetre intern)
IoT	<i>Internet of Things</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>

OD	<i>Outer Diameter</i> (Diàmetre extern)
PETG	PolyEthylen Terephthalato de Glicol
PA	Poliamida
PC	Policarbonat
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PVC	Policlorur de vinil
SCARA	<i>Selective Compilant Assembly Robot Arm</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
TCP	<i>Tool Center Point</i>
TFG	Treball Final de Grau
TSE	<i>Thermostable Elastomer</i>
TPE	<i>Thermoplastic Elastomer</i>
UNE	Una Norma Española
UFP	<i>Ultrafine Particles</i>
VOC	<i>Volatile Organic Components</i>

Guia de capítols

Aquest apartat permet aportar una guia que indiqui quins són els apartats comuns en les memòries d'Electrònica i Mecànica (subratllats), i quins són diferents en el document present.

1. Introducció

1.1. Objectiu

1.2. Justificació

1.3. Abast

2. Revisió d'antecedents i necessitats d'informació

2.1. Introducció

2.2. Vàlvula selectora de piscina

2.3. Producte: Juntes de vàlvules selectores

2.4. Propietats dels elastòmers

2.5. Juntes de EPDM

3. Objectius i especificacions tècniques

3.1. Especificacions productives

3.2. Especificacions físiques

3.3. Defectes a detectar: elaboració de l'AMFE

4. Generació i plantejament d'alternatives de solució

4.1. Sistemes de flexió de peces per a la detecció d'esquerdes

4.2. Transport de juntes tòriques

4.3. Separació de les peces defectuoses

4.4. Impressió 3D i Fabricació Additiva pel disseny del manipulador de juntes

5. Anàlisi de viabilitat

5.1. Viabilitat tècnica

5.2. Viabilitat econòmica

5.3. Viabilitat mediambiental

6. Selecció de l'alternativa més adequada

6.1. Especificacions del robot

6.2. Cintes transportadores

6.3. Tipus de perfils de cargols

6.4. Impressora 3D

1. Introducció

1.1. Objectiu

Actualment, les empreses que produeixen juntes de goma per a vàlvules de piscina, com és el cas de PRELAST, han de revisar-les una per una manualment en el control de qualitat. Les deformacions i trencaments de la goma es poden veure a simple vista, però per observar micro-esquerdes, cal que l'operari flecti la peça en múltiples orientacions per obrir-les, gràcies a les propietats dels elastòmers. Aquests factors incrementen en gran mesura la dificultat i temps de cicle del procés de control de qualitat.

Envers aquesta necessitat, el problema que es vol solucionar en aquest TFG és el disseny, tant mecànic com electrònic, d'un sistema automàtic per identificar els defectes més importants en les juntes estrellades de vàlvules selectores de piscina. La automatització d'aquest procés permetrà que una màquina realitzi aquestes tasques rutinàries i repetitives d'una manera més fiable i eficient, les quals desgasten als operaris de planta i els fan més propensos a errors i distraccions. Amb aquest canvi, s'augmentarà la satisfacció del personal, s'aprofitarà millor el seu talent i aportaran treball de més valor.

Tal i com es descriu a l'abast, un dels objectius és no només dissenyar la solució a nivell teòric, sinó implementar-la en un prototip funcional, ja que serà més enriquidor i permetrà veure limitacions o dificultats que siguin complicades de preveure en el disseny teòric.

1.2. Justificació

S'ha escollit aquest projecte perquè té com a objectiu aportar una solució tècnica a un problema industrial existent, que és el que fan els enginyers. Per tant, serà un repte ambiciós i bastant proper al que hi haurà al món laboral. Al ser una proposta pròpia, es podrà aprofundir i estendre l'abast del treball tant com es vulgui, tenint sempre en compte la planificació.

A més, la possibilitat d'assistir i utilitzar el material de l'empresa de visió artificial AIS Vision Systems per a desenvolupar un prototip funcional serà una experiència molt enriquidora, on es disposarà de material implementat en indústries modernes i rebre consell d'experts en el sector.

1.3. Abast

Cal aclarir que aquest treball es centra en detectar els defectes que impedeixen la funcionalitat de la peça, no evitar-los, ja que es produeixen per moltes causes físiques i químiques que tenen lloc durant el procés d'injecció i vulcanització de la goma que no es poden controlar. Per això, i degut al elevat volum de producció, les empreses prefereixen descartar les peces defectuoses.

També convé diferenciar aquest procés de les proves estàndard de control de qualitat que es fan periòdicament en mostres dels lots de producció: assajos de duresa, abrasió, plasticitat, compressió, elongació i resistència a l'esquinçament. Aquests assajos no es contemplaran en l'abast d'aquest treball.

Els defectes que es volen detectar són: trencament de la goma, deformacions, rebaves excessives i micro-esquerdes. L'anàlisi AMFE determinarà la seva gravetat, freqüència d'aparició i dificultat de detecció, i servirà de guia per al disseny del diagrama de flux del procés i les estacions necessàries.

La part de mecànica es centrarà en el disseny dels sistemes mecànics per manipular i retirar les juntes defectuoses de la línia de producció. A més, davant la necessitat de flexar manualment la junta per a que les micro-esquerdes s'obrin i es facin visibles, si es vol automatitzar el procés, es requereix dissenyar un sistema que permeti doblegar la junta en múltiples direccions.

Es dissenyarà, simularà amb Solidworks i milloraran les característiques de l'utilatge que manipuli i retiri les juntes defectuoses, tot justificant l'elecció de materials i el seu disseny i aplicant els principis de la Fabricació Additiva. Per a poder-ho portar a la pràctica amb un prototip funcional, es disposarà de mostres de juntes fabricades per Fluidra-Prelast, equipament industrial i una impressora 3D per part de AIS Vision Systems.

Per últim, s'elaboraran plans de contingència per assegurar que el sistema de detecció de defectes es trobi en condicions òptimes, i que posseeixi la suficient flexibilitat com per reaccionar en un temps reduït a errors inesperats. En aquest apartat s'inclouen els avisos als operaris en cas d'avaries o malfuncions dels mecanismes i instruments, i la detecció de necessitats de recalibració d'instruments.

2. Revisió d'antecedents i necessitats d'informació

En aquest capítol s'efectuarà una cerca d'informació dels temes següents per tenir un bon coneixement de l'entorn on es vol aplicar la solució, les característiques de les juntes a observar i els elements que conformaran el sistema d'automatització.

- Sector industrial de l'aplicació: Filtres de piscina
- Producte assembletat: Vàlvula selectora de piscina
- Peça a estudiar: Juntes de vàlvules selectores (O-Ring)
- Material: Propietats dels elastòmers i l'EPDM
- Defectes que poden aparèixer en una junta estrellada

2.1. Introducció

Primerament, cal conèixer el sector industrial on s'aplicarà la solució. Per tant, s'explicarà breument sobre les empreses responsables de la fabricació de les juntes i sobre el producte final on aniran instal·lades.

2.1.1. Empresa: Fluidra - Prelast

Com s'ha comentat als objectius del treball, el producte sobre el qual es dissenyarà la detecció automàtica de defectes, són juntes de goma per vàlvules selectores de piscina. L'empresa que les fabrica i que ha proporcionat les mostres pel disseny de la solució és Productes Elastòmers S.A. (PRELAST), del grup Fluidra.

Fluidra S.A. és una empresa líder a nivell global dedicada al mercat tant residencial com comercial de piscines i *wellness* que ofereix una àmplia gamma de productes, dispositius, components i serveis. Per a poder fer-ho, Fluidra té un gran nombre d'empreses afiliades dedicades a una part específica del cicle de vida dels productes. Concretament, les encarregades de la injecció de termoplàstics per a les juntes de goma i altres peces són Sacopa i Prelast. [\[1\]](#)

2.1.2. Aplicació: Filtre de piscina

L'aigua de la piscina es contamina sovint amb residus de diversos tipus, des de pols i terra, fins a fulles d'arbre i restes orgàniques dels usuaris. Si s'acumulen i entren en contacte amb la pell, poden causar afeccions de la pell, ulls i mucoses, i infeccions. El problema ve quan la majoria dels propietaris de piscines domèstiques tiren l'aigua cada any i tornen a omplir-la amb aigua nova. A més de la despesa econòmica, es malgasta un recurs limitat tan essencial com l'aigua.[2]

Els filtres de piscina, així com l'ús dels productes químics adequats per a desinfectar l'aigua, permeten solucionar aquests problemes efectuant un manteniment eficaç de l'aigua a mitjà i llarg termini sense necessitat de buidar la piscina cada any, garantint eficiència ambiental. [3]

Aquesta imatge mostra les parts principals d'un filtre de sorra per a piscines, que és el més utilitzat en piscines residencials. S'utilitza sorra de sílex perquè actua com a agent natural de filtració d'aigua i reté tota la brutícia gràcies a la seva excel·lent capacitat de filtració.

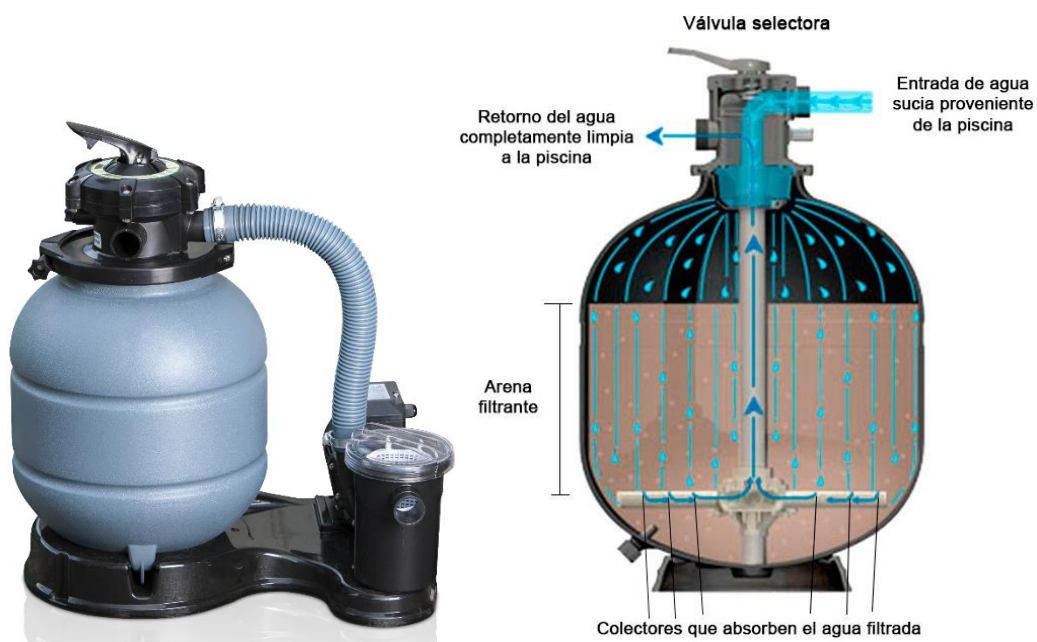


Figura 2.1.1. Filtre de sorra per a piscines residencials

L'esquema de la *Figura 2.1.2* mostra com queda integrat el filtre en les circulacions d'aigua de la piscina. Primerament, l'aigua bruta absorbida pels *skimmers*, desguassos o netejafons de la piscina, s'introdueix en la part superior del tanc de sorra. Després, l'aigua es filtra mentre descendeix a través de la sorra del tanc. Finalment, en la part inferior del filtre es troben uns col·lectors que absorbeixen l'aigua lliure de brutícia i la retornen a la piscina. Aquest cicle ha de tenir una durada general de 4 hores i pot variar segons el model de filtre.

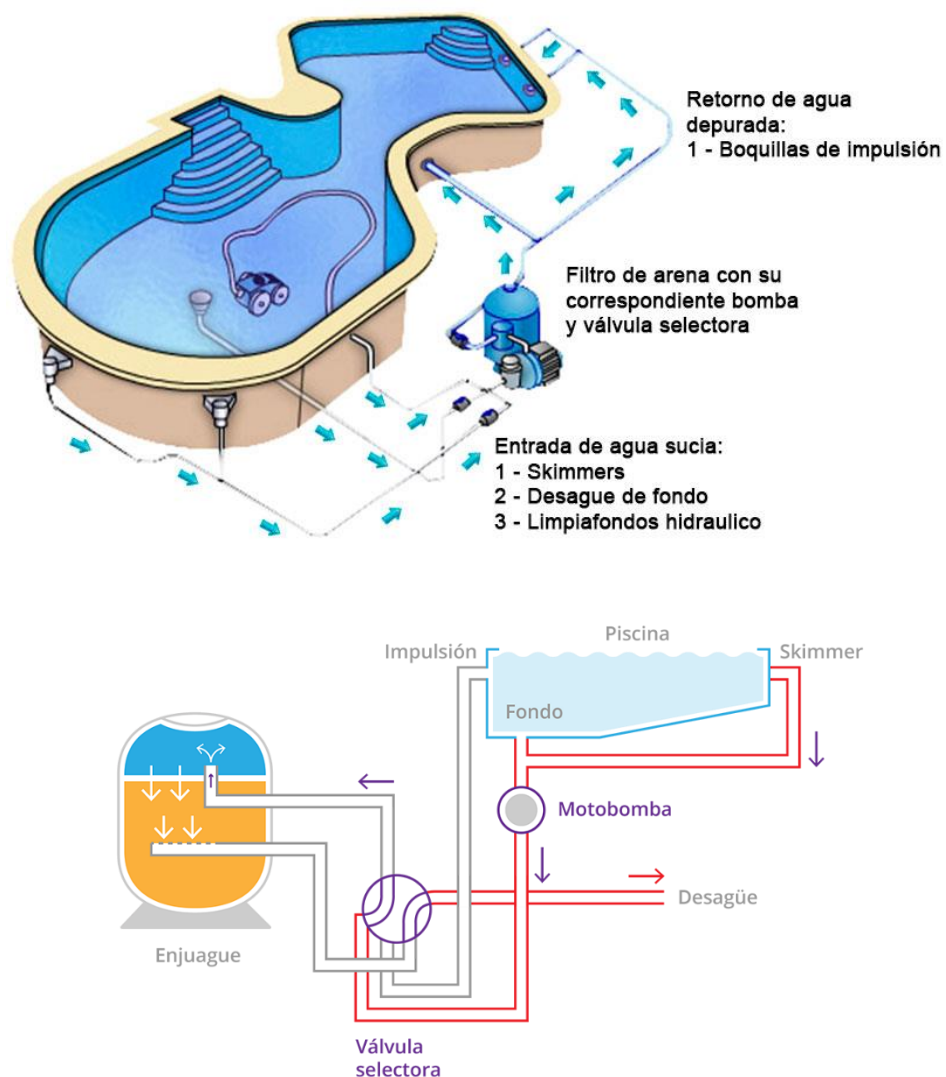


Figura 2.1.2. Circulació d'aigua de piscina en un filtre de sorra [4]

2.2. Vàlvula selectora de piscina

La vàlvula selectora és un component bàsic dels filtres de sorra per a la depuració de l'aigua de piscines residencials. Gràcies a la seva maneta superior, permet seleccionar còmodament la funció a cada moment: filtració, buidatge, tancat, rentat, recirculació i esbandida. També es denominen vàlvules multi-via pel seu disseny intern que els permet distribuir l'aigua entre les diferents entrades i sortides.

Estan disponibles en diferents connexions (1½", 2", ...) i configuracions (posició lateral o superior), en funció de la depuradora on van muntades: [\[5\]](#)

- Vàlvules manuals o automàtiques.
- Vàlvules amb connexió lateral o superior.



Figura 2.2.1. Tipus de vàlvules selectores per a filtres de piscines [\[6\]](#)

A continuació es mostren les connexions d'una vàlvula selectora. És important que l'usuari les identifiqui correctament quan la instal·li a la seva piscina:



Figura 2.2.2. Connexions de la vàlvula selectora amb el filtre

Per complementar aquesta informació, als annexes s'han inclòs plànols de models comercials, per tal de veure com estan construïdes internament i les juntes que contenen.

2.2.1. Funcions d'una vàlvula selectora

La vàlvula selectora més comuna és la de 6 vies, que com indica el nom, permet seleccionar entre 6 modes de funcionament [7]:

- **Filtració.** Posició per defecte, permet la circulació i filtració normal de l'aigua de la piscina. Quan es posa en marxa la bomba, l'aigua de la piscina és aspirada per l'embornal, netejafons o *skimmers* i arriba fins al filtre per a deixar totes les partícules que porti en suspensió.
- **Netejat.** Serveix per a realitzar una rentada de la sorra del filtre, tirant tota la brutícia que queda atrapada cap al desguàs. Aquest procés s'executa fins que l'aigua surti neta (normalment seran uns 3 minuts).
- **Esbandida.** Després de rentar el filtre sempre s'ha de fer una esbandida per a eliminar completament la brutícia residual i no retornar aigua bruta a la piscina. Un cop l'aigua bruta s'ha enviat al desguàs, es pot començar novament el procés de filtració.
- **Buidat.** S'usa quan es vol buidar la piscina, enviant l'aigua directament al desguàs sense passar pel filtre.

- **Recirculació.** Quan es posa en marxa la bomba en aquesta posició, l'aigua de la piscina és aspirada i circula sense passar pel filtre de la depuradora. S'usa únicament quan es vol remoure l'aigua, per exemple per repartir homogèniament els productes químics.
- **Tancat.** Deté la circulació de l'aigua cap al filtre, tancant el circuit de la depuradora. Únicament s'usa en cas de fugida o quan la piscina estarà molt temps inactiva sense cap mena de filtració de l'aigua (manteniment, obres, etc). Mai s'ha d'encendre la bomba tenint la vàlvula de sis vies en posició de TANCAT.

En aquesta imatge es pot veure a mode de resum els fluxos d'aigua a través de la vàlvula:

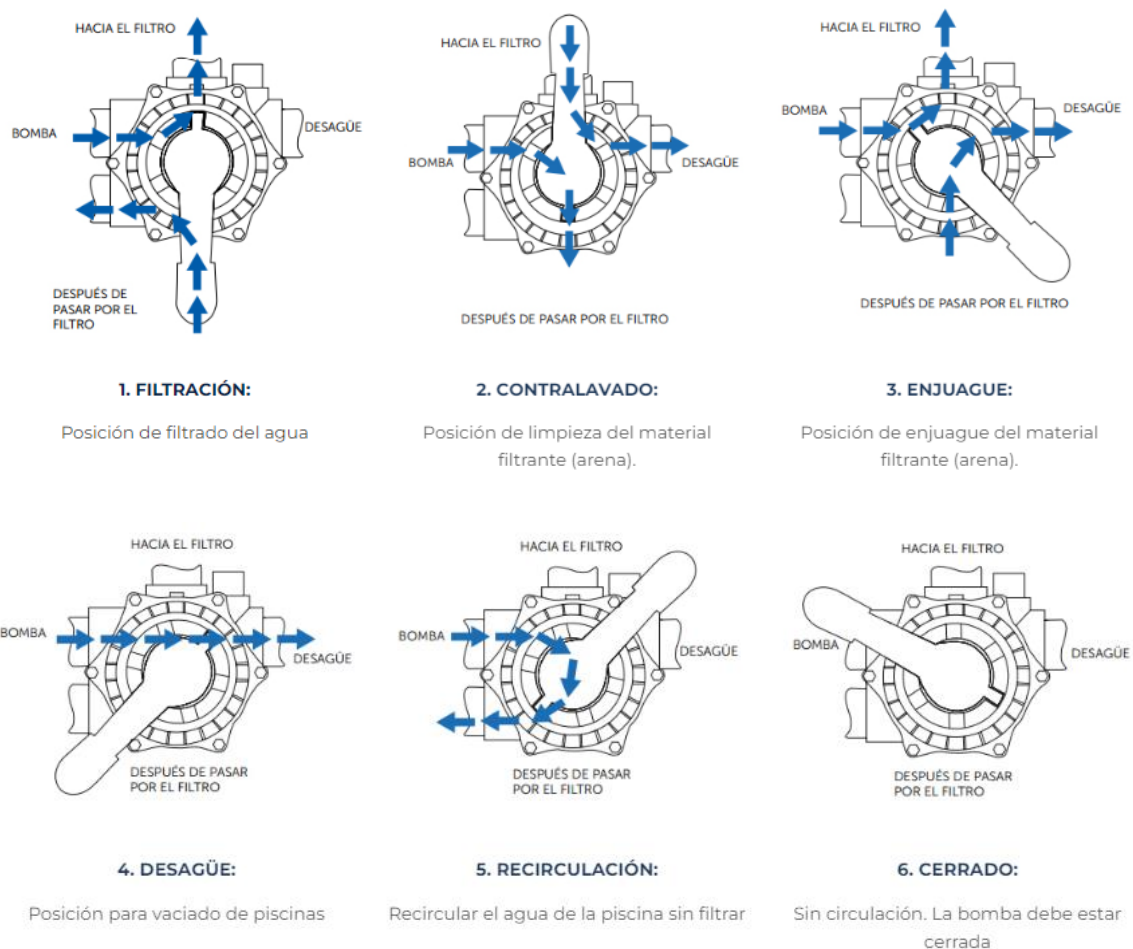


Figura 2.2.3. Circulació d'aigua per la vàlvula en les 6 posicions [8]

2.2.2. Revisió de l'estat de la vàlvula

Si l'estat de la vàlvula selectora no és l'adequat, no realitzarà les seves funcions de manera eficient, la qual cosa pot generar diversos problemes. Per això, s'ha de comprovar l'estat de la vàlvula selectora amb aquests passos:

- PAS 1. Apagar el motor i col·locar la vàlvula en posició de filtració.
- PAS 2. Tancar les vàlvules de bola de *skimmer* i deixar oberta la de fons.
- PAS 3. Encendre el motor.
- PAS 4. Desenroscar el visor de la vàlvula selectora. [\[6\]](#)

Un cop s'han seguit aquests passos, poden passar dues coses:

- Que no surti aigua, la qual cosa ens indica un ESTAT CORRECTE de la vàlvula.
- Que surti aigua, indicant un ESTAT DEFICIENT de la vàlvula. Això pot provocar pèrdua d'aigua pel desguàs a conseqüència que la junta estrellada o la campana no estiguin en bon estat. El més aconsellable és comprovar l'estat de junta i campana i canviar-les per unes de noves. Si la substitució de la junta no soluciona el problema, no hi ha més alternativa que optar per una vàlvula selectora nova. [\[9\]](#)

A més de poder comprar vàlvules selectores noves, hi ha pàgines web que permeten comprar recanvis de cadascuna de les peces numerades en el plànol, la qual cosa ajuda en gran mesura de cara a les reparacions i a allargar la vida útil de la vàlvula, tal i com mostra la Figura 2.2.4.

Posició	Imagen	Referencia	Descripción	Cantidad	Precio (Unidad)
1		13RP23012042	Recambio Coral Válvula selectora 2" Campana Recibelo el viernes 22 de julio	1	15,90€ IVA incluido
2		13RP23012044	Recambio Coral Válvula selectora 2" Tapa Recibelo el viernes 22 de julio	1	17,90€ IVA incluido
3		13RP23012046	Recambio Coral Válvula selectora 2" Junta tapa Recibelo el viernes 22 de julio	1	7,28€ IVA incluido
4		13RP23012049	Recambio Coral Válvula selectora Maneta Recibelo el viernes 22 de julio	1	7,90€ IVA incluido
5		13RP23012051	Recambio Coral Válvula selectora 2" Junta estrellada Recibelo el viernes 22 de julio	1	11,89€ IVA incluido
7		13RP01012046	Recambios Coral Junta tórica 63 mm (2 unidades) Recibelo el viernes 22 de julio	1	5,00€ IVA incluido

Figura 2.2.4. Recanvis de la Vàlvula Selectora lateral 2" Coral [10]

En aquesta imatge es pot apreciar els materials més utilitzats per als components principals de la vàlvula selectora (BOM, Build of Materials):

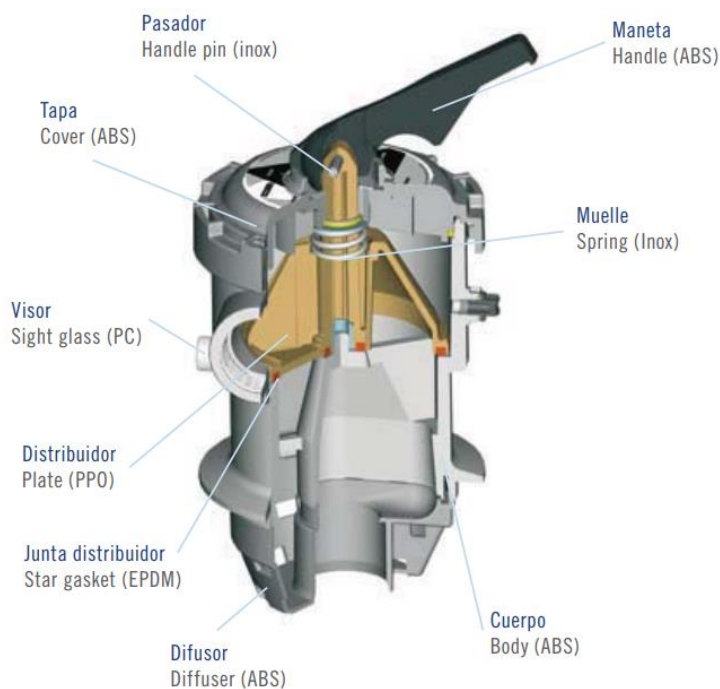


Figura 2.2.5. BOM de les Vàlvules selectores New Generation de Astrapool [11]

2.3. Producte: Juntes de vàlvules selectores

Les juntes per a vàlvules selectores són juntes de goma que han de tenir unes dimensions exteriors precises perquè càpiguen en les brides, i alhora els diàmetres interiors han de deixar totalment lliures les obertures d'entrada i sortida de la vàlvula per tal de no restringir el flux. Són components de suma importància en una vàlvula de piscina, ja que si es desgasten, trenquen o deformen, afectaran les funcions de les vàlvules i a la seva estanquitat. Per tant, és imprescindible que no surtin de la línia de producció amb deformacions o micro-esquerdes.

Els kits de recanvis permeten solucionar la gran majoria dels problemes de fugues d'aigua en vàlvules selectores, ja que acostumen a ser provocats pel mal estat de les juntes. És important col·locar les juntes correctament, evitant pinçaments, per a garantir el correcte funcionament de la vàlvula. Una bomba selectora conté tres tipus diferents de juntes: junta estrellada o distribuïdora (la que té radis), tòrica (la petita, també anomenada O-Ring) i de tapa (la gran). Les mesures estàndard són de **1 1/2"** i **2"**.

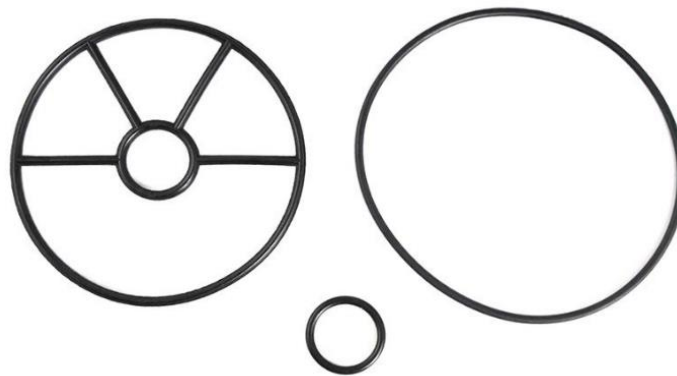


Figura 2.3.1. Tipus de juntes presents en una vàlvula selectora. [12]

Els materials més comuns per a la fabricació de juntes de goma són cautxús com ara SBR, NBR, EPDM, goma alimentària, Silicona, Viton, goma verge, Neoprè, entre altres [13]. Per tant, a l'hora de dissenyar el sistema mecànic per manipular les juntes estrellades, s'ha de tenir en compte que es tracta de materials elàstomers.

D'entre els tres tipus de junta, la que s'estudiarà en aquest treball és la **junta estrellada**, que s'encarrega de separar les cavitats dedicades a les 6 funcions de la vàlvula. Aquesta junta ha d'anar instal·lada directament sobre el distribuïdor, com es veu en la Figura 2.2.7:



Figura 2.3.2. Distribuïdor de vàlvula selectora 2" Classic AstralPool 4404120406 [14]

2.3.1. Exemples comercials

A continuació es presentaran alguns exemples comercials, per tal de veure detalls tècnics i homologacions que han de tenir les juntes de goma. Cal remarcar que s'ha trobat molta més informació detallada sobre vàlvules tòriques (O-Rings) que de vàlvules estrellades (*distribution joint* en anglès), però si s'utilitzen en les mateixes aplicacions, les normatives aplicarien de la mateixa manera en ambdós tipus.

- Global O-Ring. És una empresa especialitzada en elastòmers i juntes tòriques (O-Rings). Disposa d'una pàgina interactiva¹ que indica el grau de compatibilitat de diferents materials utilitzats per fabricar les juntes amb els químics seleccionats del llistat. Les juntes d'aquest treball s'han fabricat amb EPDM, i estan pensades per ser compatibles amb les substàncies químiques que s'afegeixen en el manteniment de les piscines.

¹ Global O-Ring. *Chemical Compatibility* [En línia]. Disponible a: <https://www.globaloring.com/chemical-compatibility/> [Últim accés: 2023]

Els números de peça de les juntes tòriques de *Global O-Ring and Seal* estan dissenyats per a descriure el material, la duresa, la grandària i qualsevol característica especial. Com a exemple, es mostra el número de peça d'una junta tòrica feta de nitril (N), amb una duresa de 70, amb una grandària 230 AS568 i curada amb peròxid:

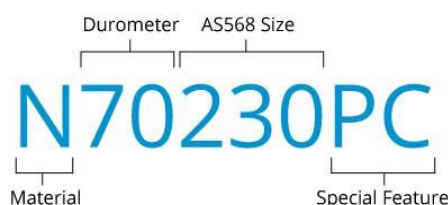


Figura 2.3.3. Exemple de denominació tècnica d'una junta tòrica [15]

- Elastotech. La seva pàgina web disposa informació detallada de les seves juntes tòriques, així com taules de normativa i de mescleres per a la producció de les seves juntes. Aquí s'explica que les toleràncies i els defectes de fabricació admissibles per a la producció de juntes tòriques són regulats per la DIN 3771, que segueix la norma internacional ISO 3601.

Diàmetre de la secció: ds (mm)	hasta a 2,20	de 2,21 a 3,10	de 3,11 a 4,42	de 4,43 a 6,15	de 6,16 a 7,50	de 7,51 a 9,00	de 9,01 a 11,00	de 11,01 a 13,50		
Tolerància (mm)	± 0,08	± 0,09	± 0,10	± 0,13	± 0,15	± 0,18	± 0,21	± 0,25		
Diàmetre intern: di (mm)	de 1,80 a 6,30	de 6,70 a 11,20	de 11,80 a 21,20	de 22,40 a 40,00	de 41,20 a 80,00	de 82,50 a 160,00	de 165,00 a 300,00	de 300,00 a 650,00	de 670,00 a 910,00	de 910,00 a 1180,00
Tolerància (mm)	± 0,13	± 0,16	± 0,19	± 0,95%	± 0,86%	± 0,78%	± 0,74%	± 0,67%	± 0,60%	± 0,55%

Taula 2.3.1. Toleràncies de la secció (ds) i el diàmetre interior (di) de la junta. [16]

Aquestes taules mostren de manera resumida alguns intervals de toleràncies. Per consultar el llistat complet de toleràncies, s'hauria de consultar la normativa i catàlegs dels fabricants². Tot i que parteixen de valors diferents de diàmetres interns, tots ells respecten la fórmula de la ISO 3601-1 per calcular la tolerància.

² Apple Rubber: <https://www.applerubber.com/src/pdf/iso-3601-metric-size-o-rings.pdf> [Última consulta: 2023]

Dyscar: https://dyscar.com/images/goma/torica/Tolerancias_En_Diametro.pdf [Última consulta: 2023]

Anyseals: http://anyseals.org/uploads/products/pdf/or_quality_es_aeu.pdf [Última consulta: 2023]

La fórmula que utilitza la norma ISO 3601-1 per calcular les toleràncies del diàmetre intern és la següent:

$$\Delta d_1 = \pm [(d_1^{0.95} * 0.009) + 0.11]$$

Per exemple, si el diàmetre intern nominal és de $d_1 = 2.5$ mm, aplicant la fórmula, la tolerància Δd_1 donarà ± 0.13 mm, tal i com diu la primera columna de la Taula 2.3.2.

2.3.2. Defectes en O-Rings

Els defectes identificats per la norma es poden atribuir a problemes que poden presentar-se en la fase de modelat dels O-Ring. **Per tant, com se sotmeten a processos similars, també apliquen a juntes estrellades:**

- Variació de forma: les dues meitats de l'O-Ring presenten dimensions diferents a causa d'un alineament imperfecte del motlle.
- Desalineació: les dues meitats de l'O-Ring presenten eixos diferents no alineats; aquest defecte pot ser causat pel desplaçament lateral corresponent entre les dues parts del motlle.
- Variació dimensional: les dues meitats de l'O-Ring presenten dimensions diferents; la causa pot ser el dimensionament incorrecte d'una de les dues parts del motlle.
- Junta imperfecta combinada: la presència excessiva de rebaves sobre el diàmetre intern i extern està lligada a la fase de modelat, concretament al desgast dels motlles, però també per defectes d'injecció del material o pel tancament incomplet de les dues parts del motlle.
- Contracció excessiva: l'O-Ring presenta absència de material en la zona de junta. La causa pot ser el motlle dimensionat incorrectament en funció de la mescla.
- Línies de Luder: consisteix en incisions superficials amb profunditat limitada i de forma allargada, causades pel lliscament plàstic de la mescla a l'interior del motlle.
- Enfonsaments en la zona de junta: pot ser provocada per defectes del motlle, per inclusions d'aire o per l'ompliment incomplet del motlle.

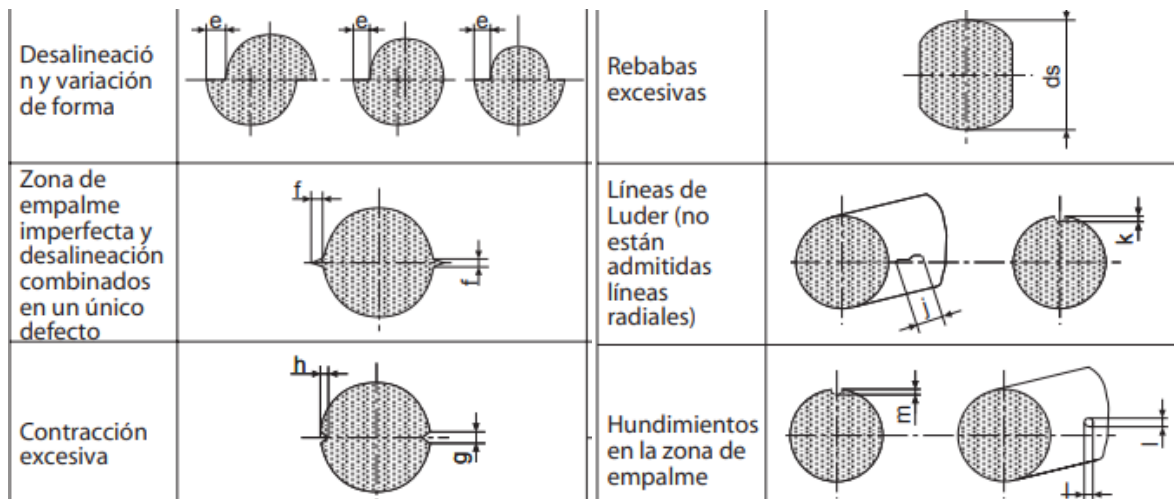


Figura 2.3.4. Toleràncies de forma i superfície segons la ISO 3601-3 [16]

2.3.3. Normatives per a O-Rings

A més de les normes DIN 3771 i ISO 3601 mencionades, que regulen les toleràncies dimensionals i de forma, aquestes normes regulen la composició dels materials que ha de tenir:

- UNE EN 681-1. Elements d'estanquitat d'elastòmer. Requisits dels materials per a juntes d'estanquitat en les tabulacions utilitzades per a proveïment i descàrrega de l'aigua. Goma vulcanitzada.
- UNE EN 681-2. Elements d'estanquitat d'elastòmer. Requisits dels materials per a juntes d'estanquitat en les tabulacions utilitzades per a proveïment i descàrrega de l'aigua. Elastòmers termoplàstics. [17]

En el cas de les juntes d'aquest treball, les gomes de EPDM es fabriquen per vulcanització.

Global O-Ring mostra una llista dels estàndards internacionals més utilitzats [18]:



Figura 2.3.5. Resum dels principals estàndards de juntes tòriques

Normatives per assajos

Hi ha un seguit de normes que regulen els assaigs de control de qualitat [19]. L'abast d'aquest treball no contempla dur-les a terme, però convé conèixer-les. Alguns exemples importants són:

- DIN 53516. Prova per a goma i elastòmers. Resistència a l'abradió.
- DIN 53519. Prova per a elastòmers. Determinació del grau de duresa de la goma (IRHD).
- DIN 53522 Prova per a goma i elastòmers. Prova de durada en flexió.
- DIN 53545. Prova per a elastòmers. Determinació del comportament a baixes temperatures.

Dimensions normalitzades

La correcta denominació d'una junta tòrica es dona a partir del seu diàmetre interior (ID) i del seu gruix o toro (ID x CS). Per exemple, si té un diàmetre interior de 15 mm i un toro de 3 mm, s'expressaria com 15 x 3.

En el cas de juntes distribuïdores, hi ha el diàmetre de l'anell extern (*Diameter*) i el diàmetre tant intern (ID) com extern (OD) de l'anell intern. També s'especifica el gruix de la goma (*Thickness*), i el nombre de forats, que coincideix amb el nombre de radis.

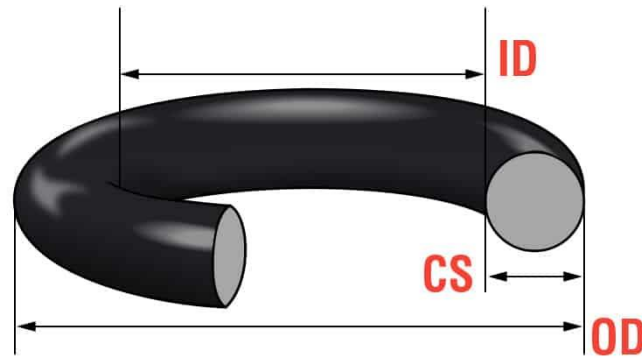
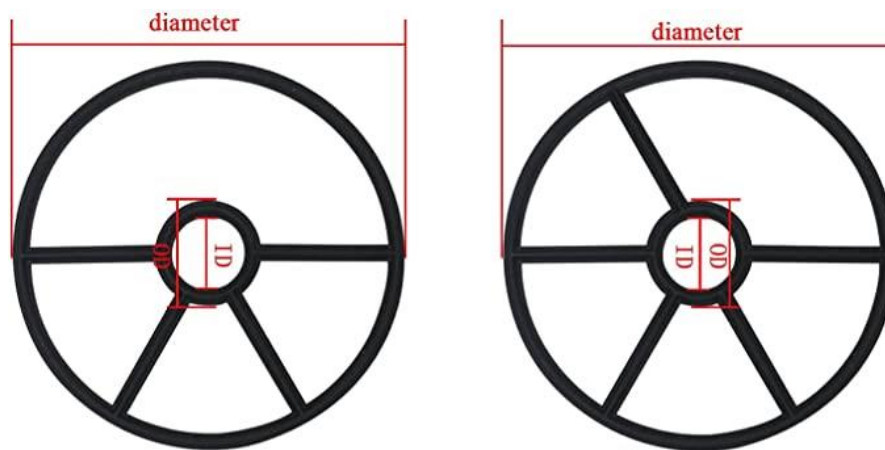


Figura 2.3.6. Mesures d'una junta tòrica



Diameter	ID	OD	Thickness	Number of holes	Suitable for sand tank size
12.8cm	2.4cm	3.5cm	0.7cm	4 holes	1.5 inch
16.8cm	2.4cm	3.4cm	0.7cm	4 holes	2 inch
12.8cm	2.4cm	3.2cm	0.7cm	5 holes	1.5 inch
16cm	1.8cm	3.5cm	0.8cm	5 holes	2 inch

Figura 2.3.7. Mesures d'una junta estrellada o distribuïdora [20]

Elastotech també mostra en la seva pàgina web un seguit d'homologacions que poden tenir les juntes tòriques. S'ha afegit als annexos una taula en cas de voler-se consultar.

2.3.4. Vida útil de les juntes

La Norma AS5316 especifica els requisits generals per a l'embalatge i emmagatzematge de juntes elastomèriques, i proporciona la vida útil recomanada per a productes fabricats amb elastòmers específics.

La Taula 2.3.4. indica que segons la ASTM (*American Society for Testing and Materials*), les juntes de EPDM poden estar emmagatzemades indefinidament, mentre que altres com les de NBR duren uns 15 anys.

Família de elastómeros	ASTM	Duración
AFLAS		Ilimitado
Caucho butílic, isobutileno isopreno	IIR	Ilimitado
Cloropreno (neopreno)	CR	15 años
Epiclorhidrina (Hidrina)	ECO	N / A
Etileno Acrílico (Vamac)	AEM	15 años
Etileno propileno, EPDM o EP	EP	Ilimitado
Fluorocarbono (Viton)	FKM	Ilimitado
Fluorosilicona	FVMQ	Ilimitado
Nitrilo hidrogenado, HNBR o HSN	HNBR	15 años
Nitrilo (Buna-N o NBR)	NBR	15 años
Perfluorelastómero	FFKM	Ilimitado
Politetrafluoroetileno (teflón)	PTFE	Ilimitado
Poliacrilato	ACM	15 años
Poliuretano (poliéster o poliéter)	AU / UE	5 años

Taula 2.3.2. Taula de recomanació de vida útil segons la noema AS5316 [21]

2.3.5. Condicions d'emmagatzematge de juntes tòriques

L'emmagatzematge, la neteja i el manteniment de les juntes tòriques han de realitzar-se segons les directives de la DIN 7716 per a que arribin en perfectes condicions als clients. Aquestes mesures redueixen considerablement l'envelliment prematur, l'enduriment o el desgast, i garanteixen una major vida útil. Algunes instruccions són [22][23]:

- Les juntes han de ser emmagatzemades a temperatures entre 10° i 25 °C, dins de bosses de polietilè tancades, i allunyades de fonts de calor, de la llum directa del sol i de fonts d'ozó.
- La humitat relativa ha de ser l'adequada a fi d'evitar la condensació i, com a norma general, hauria d'estar per sota del 65%.
- Les juntes no han d'estar exposades a tensions o càrregues que puguin deformar-les.
- No exposar les juntes tòriques al contacte amb certs metalls (coure, ferro i magnesi).
- No posar en un mateix envàs juntes tòriques de diferents materials.
- Usar el mínim de pólvores de talc per a evitar que les peces s'adhereixin entre si.
- Les juntes han de ser consumides segons el principi FIFO = *First In, First Out*.
- Revisar el seu estat periòdicament i aplicar el manteniment corresponent.

2.3.6. Concepte de junta d'estanquitat

Es denomina junta d'estanquitat a un component de material adaptable que segella les dos cares d'un tancament mecanitzat per a evitar fugues de fluids. Es poden trobar en infinitat de sistemes industrials, entre els quals hi han vàlvules, canonades i bombes hidràuliques.

L'acció d'estanquitat té lloc degut a que la junta queda comprimida i deformada a l'interior del seu allotjament, i gràcies a les seves propietats elàstiques exerceixen pressió sobre les parets, tot tapant les vies de fuga [24].

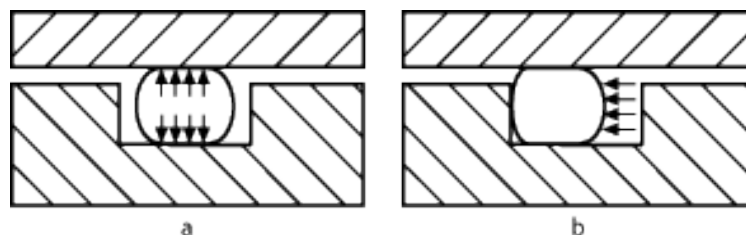


Figura 2.3.8. Posició de repòs (a) i d'estanquitat (b).

2.4. Propietats dels elastòmers

Els elastòmers són un tipus de polímers que compten amb la capacitat de deformar-se i tornar a la seva estructura original quan es deixa d'aplicar la força externa. Són materials de microestructura amorfa amb una temperatura de transició vítria³ molt per sota de la temperatura ambient, la qual cosa li atorga la seva característica gran elasticitat. [25]

Els elastòmers s'utilitzen en segells i juntes de tot tipus, ja que són components necessaris per al confinament de gasos o líquids. Compensen les irregularitats de les superfícies de contacte, que són causes potencials de fugues, i s'utilitzen en condicions estàtiques i dinàmiques.

Les parts elastomèriques tendeixen a adherir-se a superfícies a causa de les seves propietats inherents, la qual cosa augmenta els coeficients de fricció, propicia la acumulació de brutícia, i fa més difícil la seva neteja i manteniment. En conseqüència, tenen usos limitats.

2.4.1. Classificació

Hi ha diverses maneres de catalogar i classificar els elastòmers, però la principal és [26]:

- Elastòmers termoplàstics (TPE). Tendeixen a deformar-se en estar exposats a altes temperatures, la qual cosa permet modelar-los amb facilitat i permet fabricar peces per injecció. Avui en dia existeix una àmplia gamma (TPE-O, TPE-V, etc).
- Elastòmers termoenduribles o termoestables (TSE). Conserven la seva forma i propietats encara que estiguin exposats a altes temperatures, però si traspassen una temperatura límit, comencen a degradar-se. La silicona, la goma-cautxú natural i espuma de poliuretà són els exemples més comuns.

A més de la major facilitat i velocitat de processament, altres avantatges dels TPE respecte els TSE són la alta capacitat de reciclatge de la ferralla i els menors costos d'energia per al processament. A més, les peces de TPE es modelen en equips estàndard de processament de plàstics i en un temps de cicle considerablement més curts que els cautxús convencionals. [27]

³ La temperatura de transició vítria és aquella a la qual un polímer amorf passa d'un estat dur/vitri a un estat tou. Per tant, passen de tenir propietats pròpies d'un polímer a les d'un vidre

La norma ISO 18064: 2014 estableix sis classes de TPE en funció dels seus components [28]:

- Copolímers de bloc d'estirè, TPS (TPE-s)
- Elastòmers termoplàstics de poliolefina, TPO (TPE-o)
- Vulcanitzats termoplàstics, TPV (TPE-v o TPV)
- Poliuretans termoplàstics, TPU (TPU)
- Copolièster termoplàstic, TPC (TPE-E)
- Poliamides termoplàstiques, TPA (TPE-A)

2.4.2. EPDM vs TPE

Degut a la consciència climàtica d'aquests últims anys, les iniciatives a tot el món estan obligant els fabricants a considerar la gestió del final de la vida útil dels seus productes i complir amb la regla de les tres R: Reciclar, Reutilitzar i Reduir.

El EPDM natural és un cautxú termoendurible (TSE) i, per tant, té un processat més exigent, només es pot vulcanitzar una vegada i està limitat en termes de reciclabilitat. En contrast, els productes de TPE es poden reciclar per a tornar a produir, estalviant costos fins al 60%, i tenen un temps de cicle reduït. Com són més senzills de processar, presenta una major flexibilitat de disseny i menors costos de fabricació per a formes difícils d'aconseguir. Com es veurà més endavant, la vulcanització solucionarà els problemes de reciclabilitat de l'EPDM natural. [28]

2.4.3. Comportament mecànic dels cautxús

La Resistència dels Cautxús es defineix com la capacitat per a resistir esforços i forces aplicades sense trencar-se, adquirir deformacions permanents o deteriorar-se. Com es veurà a continuació, hi ha diverses magnituds físiques que la permeten quantificar, i es determinen a través d'assajos empírics. Els assajos per a determinar aquestes propietats suposen una despesa addicional en equip i personal qualificat, però permet seleccionar els productes més idonis i verificar en lots de producció que les peces tenen el nivell de qualitat desitjat. Les propietats mecàniques a tenir en compte són les següents [29]:

Tracció (*Tensile strength*, MPa). És, juntament amb la duresa, la característica que amb major freqüència s'inclou en les especificacions dels cautxús. Per a mesurar-la, s'utilitza un dinamòmetre (Instron) i s'estira des dels dos extrems a velocitat constant, fins al seu trencament. La tensió requerida per a trencar la mostra és la resistència a la tracció del material.

Normes d'assajos de tracció: ASTM D412 · DIN 53504 · ISO 37 · ISO 1798 · JIS K6251

- ASTM D412 · Assaig de tracció sobre cautxú vulcanitzat i elastòmers termoplàstics.
- ISO 1798:1999 · Resistència a la Tracció i Allargament al Trencament dels materials polimèrics flexibles cel·lulars.

Duresa. Indica la rigidesa enfront dels esforços que ha de suportar en servei, i és la característica que s'indica amb major freqüència en les gomes. Les raons són:

- Es pot determinar de manera senzilla i ràpida, i amb un equip poc costós.
- És un assaig no destructiu, que molt sovint es pot realitzar directament sobre l'article acabat.
- Encara que s'expressi en unitats empíriques, està relacionada amb una característica fonamental del material: el seu mòdul d'elasticitat o mòdul Young. [30]

Hi ha múltiples escales per a mesurar la duresa: IRHD, Shore A, Shore D, etc. Als annexos s'ha inclòs una taula per fer la conversió entre aquestes escales.

Resistència a l'esquinçament (*Tear strength*, N/mm). Mesura la resistència a la formació i propagació de laceracions (esquerdes) sota els esforços que ha de suportar en servei o en el propi procés de fabricació. La força s'aplica perpendicularment a la direcció de propagació de l'esquinçament, i els resultats s'expressen pel valor mitjà de la tensió de l'esquinçament, el quocient de la força, mesura en N, i del gruix de la proveta mesurat en mm.

Normes: ASTM D624 tipo C · UNE 53516

Elongació (%) o allargament per trencament. Mostra el canvi en la forma que experimenta qualsevol cosa sota tensió.. Es mesura dividint el llarg de la mostra després de l'estirament (L) pel llarg original (L0), i multiplicat per 100: $(L / L0) \times 100 = \%$. Dos mesuraments importants són l'elongació final i l'elongació elàstica.

- L'elongació final representa quant pot ser estirada una mostra abans que es trenqui, en mm.
- L'elongació elàstica és el percentatge d'elongació al qual es pot arribar, sense una deformació permanent de la mostra. És especialment important en elastòmers: han de ser capaços d'estirar-se entre el 200% i el 700%, i després recuperar la seva longitud original.

Normes: ASTM D412 · DIN 53504 · ISO 37 · EN ISO 1798 · JIS K6251

Abrasió (mm³). És la pèrdua de material produïda per fricció contra una altra superfície, mitjançant uns aparells anomenats abrasímetres. Els resultats s'expressen en mm³, és a dir, la pèrdua en pes dividida per la densitat del material. Per tant, com més baix sigui el valor, major resistència a l'abrasió té. Normes: DIN 53516 · UNE 53527

Deformacions romanents, fluència i relaxació d'esforços. Són 3 característiques relacionades entre si, ja que reflecteixen l'efecte d'un esforç o deformació aplicats durant un temps prolongat.

- Si s'aplica un esforç constant, a més de la deformació instantània resultant, té lloc una deformació addicional més lenta (fluència).
- Si s'aplica una deformació constant, l'esforç necessari per a produir aquesta deformació anirà disminuint gradualment (relaxació d'esforços).
- En suprimir la força deformant, la peça de goma experimentarà una recuperació instantània però incompleta, quedant una deformació residual (romanent).

Entre els assajos dissenyats per a l'avaluació d'aquestes característiques, el més difós és el de deformació romanent per compressió (en la terminologia anglesa "compression set").

Normes: ASTM D395 Met.B · UNE 53511 · UNE 53578 · ASTM D 1056-78 · DIN 53517 · UNE EN ISO 1856

Resiliència. És la relació entre l'energia restituïda després d'una deformació i l'energia total subministrada per a produir aquesta deformació, i depèn de la velocitat de deformació. Una forma senzilla de determinar-la és a través del rebot d'un pèndol després del seu impacte en la goma (resiliència per rebot).

Histèresis. És l'energia perduda durant un cicle donat de deformació i recuperació. La calor generada per una successió de cicles de deformació i recuperació, a causa de la conversió d'energia d'histèresi en calor, es mesura amb variació de temperatura.

- Resiliència = $ET \text{ (Energia Recuperada)} \times 100 : EA \text{ (Energia Inicial Aplicada)}$
- Histèresis = $100 - \text{Resiliència}$

Viscoelasticitat. La viscoelasticitat combina propietats elàstiques similars a les d'un ressort metàl·lic i d'absorció d'energia com les d'un líquid viscos, la qual cosa permet que l'elastòmer mantingui una forma constant després de la deformació i alhora absorbeixi energia mecànica. L'elasticitat segueix la llei de *Hooke* i augmenta amb l'increment de la tensió, mentre que la viscositat segueix la llei de Newton i augmenta a major velocitat de deformació.

Per a tenir informació més extensa sobre els tipus d'elastòmers i els assajos normalitzats, consultar l'article següent: [31]

2.4.4. Defectes dels elastòmers

Al estar fabricada amb gomes, les juntes presentaran defectes comuns en productes fabricats a partir de materials elastòmers [32]:

- Distribució no homogènia dels components utilitzats en el material, i contaminació de la mescla en forma de partícules, gel o inclusions.
- Alguns tipus de radiació (electrons, Raigs X, raigs β , raigs γ i la radiació ultraviolada) posseeixen suficient energia per a penetrar en els materials polimèrics i interaccionar amb els àtoms, trencant cadenes polimèriques C-C, o creant punts d'enllaç entre cadenes polimèriques contigües. Això causa descoloració superficial, l'augment de la fragilitat, i altres canvis en les seves propietats mecàniques i químiques difícilment observables, i es

coneix com a fotodegradació. Tot i que es pot evitar aquest efecte amb fotoestabilizants, van perdent la seva efectivitat amb el temps.

- Ozone cracking. Es poden formar esquerdes en diferents tipus d'elastòmers per l'efecte de l'ozó. Tot i que és un problema menys freqüent que fa uns anys per la millora de les mesures de seguretat, es pot produir en elements crítics per a la seguretat, com ara les línies de combustible i els segells i juntes de goma. Per sort, hi ha elastòmers resistents a l'ozó, com són l'EPDM, el Viton, el neoprè, el cautxú de silicona i els poliuretans. [33]

2.5. Juntes de EPDM

EPDM són les sigles en anglès de *Ethylene Propylene Diene Methylene*, que en castellà seria cautxú d'etilè propilè diè. El cautxú de EPDM és un elastòmer compost d'un 45%-75% d'etilè, i com més gran sigui aquest percentatge major serà la seva resistència química. Si es tracta amb peròxid, resisteixen encara millor a les temperatures extremes i als productes químics, i la vulcanització millora notòriament les seves propietats mecàniques. Les juntes de EPDM solen tenir un color negre mat [34]:



Figura 2.5.1. Mostres de juntes de EPDM amb rebaves

Certificacions de juntes tòriques de EPDM

Hi ha múltiples certificacions que apliquen als productes fabricats amb elastòmers segons la seva aplicació (farmacèutica, alimentària, etc) i els diferents mitjans als que estaran sotmesos. En aquest cas, cal considerar les certificacions per a aigua potable:

Certificacions per a aigua potable [35]:

- ACS, USP 32
- Per a aigua potable, fins a 85°C: KTW a GER, i WRAS a UK.
- KIWA BRL-K17504, per a aigua calenta i freda.
- UL 778, per a compressors de bombes submergides en aigua.
- NSF Standard 61 i WFI, “*water for injection*” (USA).

2.5.1. Característiques EPDM

Les juntes estrellades per vàlvules selectores de piscina amb les que es treballaran en aquest projecte estan fabricades amb EPDM., un cautxú sintètic de baixa densitat ($1 - 1.3 \text{ gr/cm}^3$) que presenta les següents propietats [36]:

- Excel·lent resistència a l'envelliment, fins i tot a la intempèrie o a temperatura elevada, a l'ozó i a l'oxidació.
- Bones propietats mecàniques i resistència a l'abració i desgast.
- Ampli rang de temperatura (-40/+120 °C).
- Molt bona resistència a l'aigua calenta i al vapor d'aigua.
- Molt bona resistència a àlcalis i àcids oxidants.
- Excel·lent resistència a la majoria de productes químics inorgànics o corrosius.
- Molt bona resistència als àcids minerals, detergents, èters fosfòrics, cetones, alcohols o glicols de baix pes molecular.
- Resistència no adequada a olis i hidrocarburs (no són adequats en contacte amb gasolines, greixos, olis i dissolvents hidrocarbonats).
- No apropiat per a dissolvents alifàtics, aromàtics i halogenats.
- Són bons aïllants elèctrics.

Existeixen tres grans processos comercials de polimerització (producció de polímers a partir dels components monòmers) de cautxú etilè-propilè: en solució, en suspensió i en fase gasosa. Al final d'aquests processos, s'obté el EPDM en forma sòlida (bales, pellets o grànuls) o com

a mescla amb olis [37]. Això permet que les aplicacions dels cautxús EPM/EPDM siguin molt diverses i comprenen molts sectors industrials, però es pot destacar el seu ús en [38]:

- Juntes d'estanquitat per a unir diferents parts d'un sistema de tuberies: brides, ràcords, vàlvules, bombes, canonades, etc.
- Segellaments i juntes d'electrodomèstics i automòbils
- Suports estructurals en edificacions, bandes de suport de bigues i jàsseres.
- Recobriments per a entorns que estiguin en contacte amb productes químics.
- Aplicacions exteriors, ja que resisteixen bé els canvis de temperatura, ambient marí, l'acció de l'ozó i la climatologia adversa.
- Juntes i compensadors d'expansió.
- Peces en contacte amb aigua, àcids oxidants i no oxidants diluïts.

2.5.2. Propietats mecàniques EPDM

A continuació es mostra un resum de les propietats principals de les gomes de EPDM. Si es volen consultar amb més detall, a l'Annex s'han inclòs taules més extenses:

PROPIEDADES	Métodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color			Negro
Densidad		g/cm ³	1,31 ± 0.05
PROPIEDADES TÉRMICAS			
Temperatura de Trabajo		°C	-40/+120
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Dureza	ASTM D2240	Shore A	70 ± 5
Tensión de rotura	ISO 37	MPa	≥7
Elongación a la rotura	ISO 37	%	≥300
Resistencia al desgarro	ISO 34-1	N/mm	≥20
Deformación remanente después de 22h a 70°C	ISO 815-1	%	≤30
ENVEJECIMIENTO			
Δ Dureza después de 70 h a 70°C	ASTM D573	Shore A	≤5
Δ Tensión de rotura después de 70 h a 70°C	ASTM D573	%	≤-15
Δ Elongación a la rotura después de 70 h a 70°C	ASTM D574	%	≤-40
Resistencia al ozono 48h	ASTM D1149 A	-	Sin grietas

Taula 2.5.1. Taula de propietats resumides i mètodes d'assaig en peces de EPDM [39]

En materials dúctils, el criteri de fallida a partir del qual es dissenyen les peces és el límit elàstic, ja que si es segueix incrementant la càrrega externa, entren en la zona de fluència i es produeixen deformacions permanents que poden afectar al rendiment del component (plastificació). Formalment, la norma ASTM A370 defineix que el límit elàstic es determina incrementant la deformació en un 0.2% respecte el límit de proporcionalitat [40].

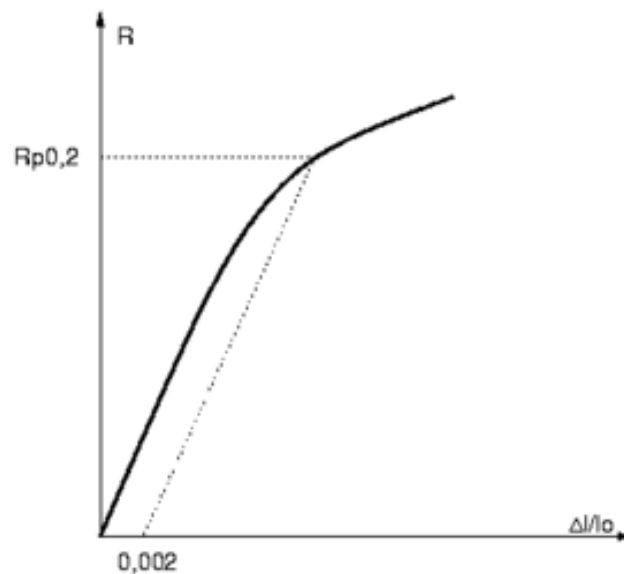


Figura 2.5.2. Determinació del límit elàstic a partir del límit de proporcionalitat

En la zona lineal, el material segueix la llei d'elasticitat de Hooke, on l'allargament experimentat és proporcional a la força aplicada:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} * \mathbf{x} \quad , \text{ on}$$

F: força aplicada en Newton (N)

K: constant d'elasticitat del material (N/m)

x: allargament del material (m). Equival a fer $x = l - l_0$ (longitud final – inicial)

El pendent d'aquesta zona de proporcionalitat, en la qual la deformació augmenta linealment en incrementar la tensió experimentada, s'anomena mòdul d'elasticitat o de Young.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad , \text{ on}$$

σ : tensió experimentada (Força/Àrea = N/mm² = MPa)

E: mòdul de Young (GPa)

ε : deformació del material (adimensional). Com representa el percentatge de variació en la longitud del material, equival a dividir l'allargament x entre la longitud inicial.

El resultat d'un assaig a tracció es plasma en un diagrama tensió o esforç – deformació, com el de la Figura 2.5.3. Inicialment el material respon a la llei de Hooke, i si és dúctil, comença a plastificar quan es supera el límit elàstic (punt B). Si es continua aplicant més tensió, es deformarà permanentment fins arribar a la tensió última (punt D), on la resistència del material cau fins al punt de ruptura (punt E).

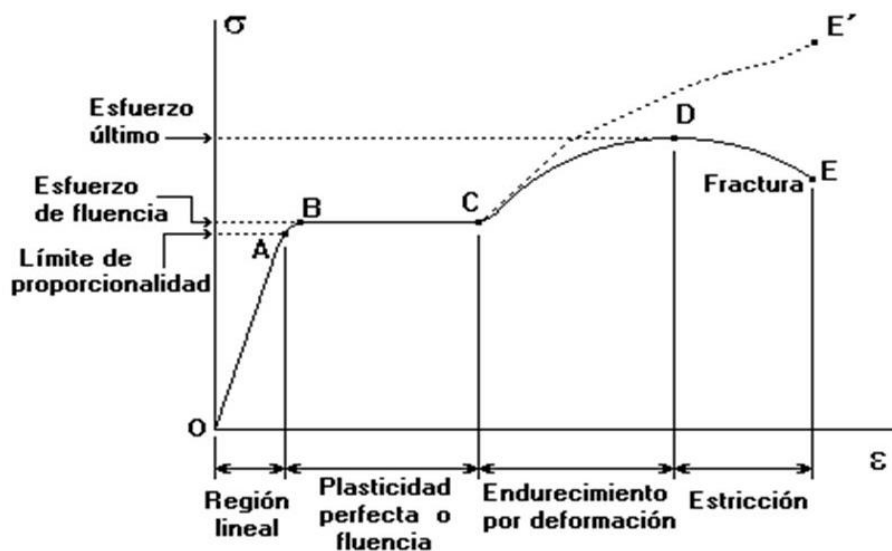


Figura 2.5.3. Exemple de diagrama tensió – deformació de materials dúctils

Els materials fràgils, a diferència dels dúctils, no poden plastificar, de manera que enlloc de deformar-se permanentment, fallen per ruptura del material. Els vidres i ceràmics presenten aquest comportament.

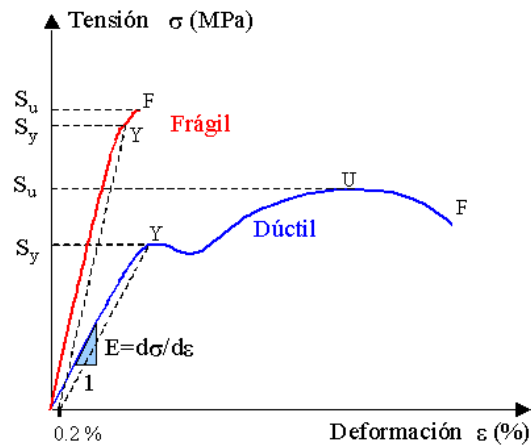


Figura 2.5.4. Diagrama tensió – deformació de materials dúctils vs fràgils

Com més pronunciat sigui el pendent de la zona lineal, més rígid és el material (cal aplicar més tensió per deformar molt poc el material). Ja que els elastòmers tenen molta elasticitat, aquest pendent és molt poc pronunciat, donat que experimenten grans deformacions enfront de càrregues lleugeres. Aquest pendent tan reduït fa que tinguin límits elàstics molt petits, i que la tensió de ruptura sigui un paràmetre a tenir més en compte en elastòmers.

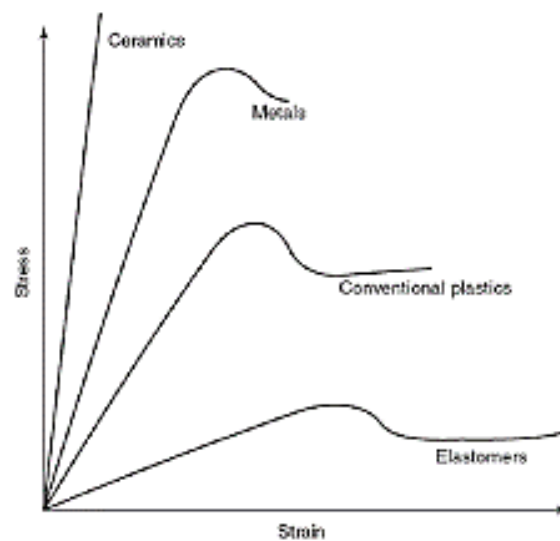


Figura 2.5.5. Diagrama tensió/deformació d'elastòmers, plàstics, metalls i vidres

En el cas de l'EPDM, la transició de zona elàstica a plàstica és tan imperceptible que el límit elàstic (*Yield Strength*) pot ser imperceptible, de manera que cal fixar-se en la tensió de ruptura a tracció (*Tensile Strength*).

Young's modulus	6	MPa
Tensile strength	17.5	MPa
Elongation	375	%
Hardness	65	Shore
Yield strength	0	MPa
Thermal conductivity	0.26	W/m*K
Glass temperature	-54.5	°C
Density	1430	kg/m ³

Taula 2.5.1. Valors reduïts del mòdul de Young i el límit elàstic del EPDM [41]

A més de la composició particular amb la que s'ha elaborat o additivat el EPDM, dos factors que afecten a les corbes són l'envelliment i la temperatura. L'envelliment redueix l'elongació màxima, i la reducció de temperatura endureix el material i el fa més rígid, fins que s'assoleix la temperatura de transició vítria, punt en el que la corba és la pròpia d'un vidre.

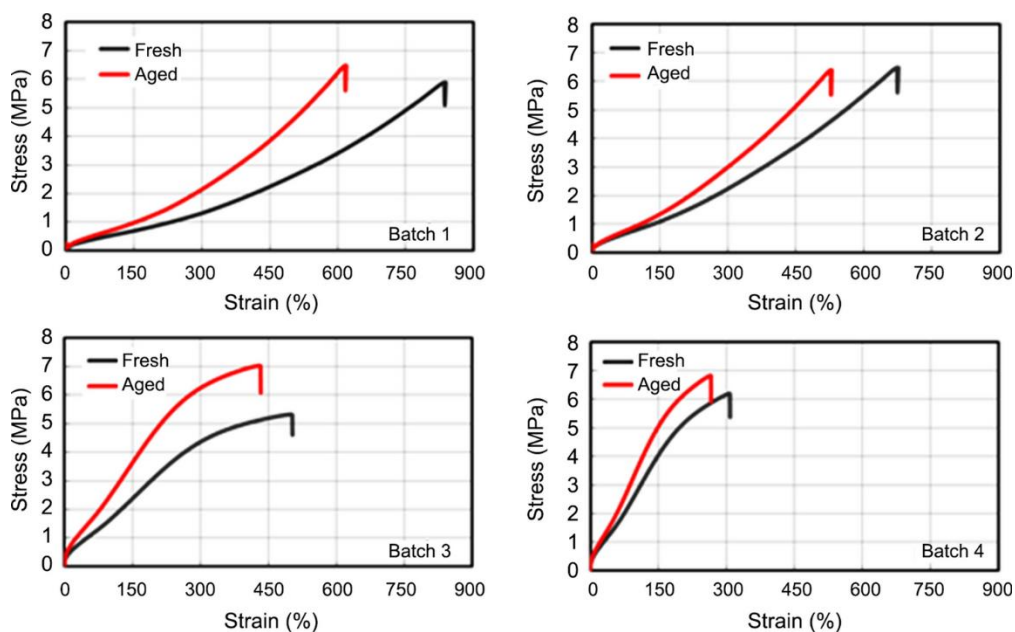


Figura 2.5.6. Reducció de la elongació màxima en peces envellides de EPDM [42]

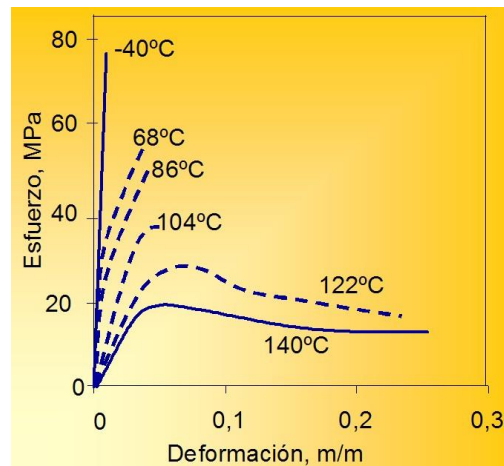


Figura 2.5.7. Augment de rigidesa i fragilitat dels elastòmers en refredar-se [43]

2.5.3. Vulcanització

Les peces de materials elastòmers no es fabriquen per injecció com els polímers termoplàstics, sinó que passen per un procés anomenat vulcanització. És un procés summament important en la indústria, ja que permet obtenir un material molt més resistent i flexible que el material original (gomes naturals o sintètiques) i menys enganxós per a no adherir-se a superfícies.

La vulcanització es defineix com un procés químic en el qual es converteix una goma o un polímer relacionat, en un material molt més resistent, impermeable i durador mitjançant l'aportació de calor i l'addició de sofre o altres additius curadors. Els additius s'integren formant ponts o enllaços químics creuats entre les cadenes de polímers que conformen la goma. Per a aconseguir que la vulcanització sigui més ràpida, s'afegeixen acceleradors a les gomes, juntament amb el sofre.

És un procés irreversible, és a dir, no hi ha manera de tornar a les característiques originals de la goma, i encara que existeixen maneres de retirar la major quantitat de sofre possible per a reciclar-los, les característiques del material vulcanitzat són molt similars a les d'un plàstic termoestable, la qual cosa li impedeix fondre's per a poder ser modelat novament. [44]

Els compostos estàndard de juntes de EPDM generalment es curen amb dos components [45]:

- Sofre, la substància més utilitzada. Li atorga millors propietats flexibles, però són més propensos a endurir-se i tenen una deformació per compressió inferior a altes temperatures.
- Peròxid. Les peces tenen una millor resistència a la calor i una deformació per compressió més baixa. Compleix amb l'ús prolongat, especialment per a sistemes de mànegues industrials, però és més costós i més difícil de produir que si es cura amb sofre.

Es verifica que la vulcanització s'ha efectuat correctament sotmetent les peces a torsió i flexió per observar si s'han format esquerdes o porus. Com es mostra en la imatge següent, no es recomana doblegar excessivament l'anell, ja que crea un efecte de voladís que augmenta la força de tensió en la vora exterior de l'anell i pot provocar danys en l'articulació.

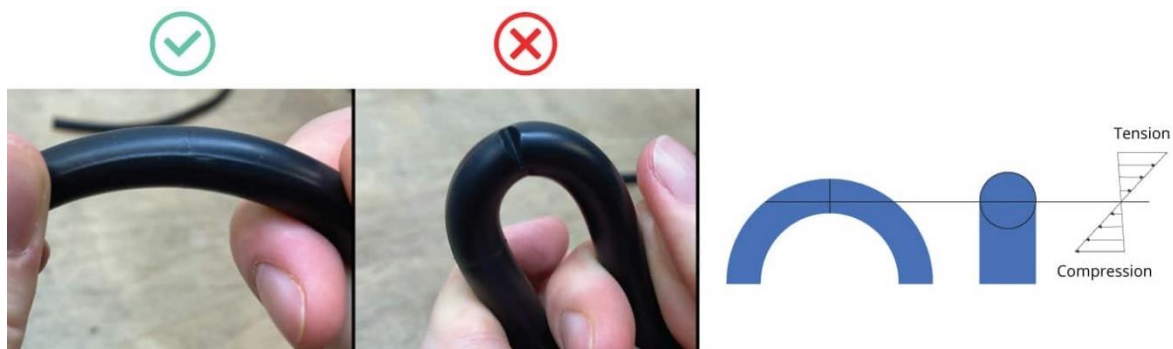


Figura 2.5.8. Manera correcta d'efectuar la prova de flexió [46]

La vulcanització provoca canvis molt significatius a nivell molecular, on les molècules de cautxú llargues s'uneixen entre si per mitjà de **reticulacions** espaiades al llarg de les cadenes polimèriques. Aquesta xarxa de reticulacions fa que el cautxú es torni insoluble en qualsevol solvent i no es pugui processar en màquines com mescladores, extrusores o molins, ni en les etapes de modelatge o conformat. Per tant, és essencial que es vulcanitzi un cop el producte té la forma geomètrica final.

La densitat de les reticulacions afecta a les propietats aconseguides amb la vulcanització:

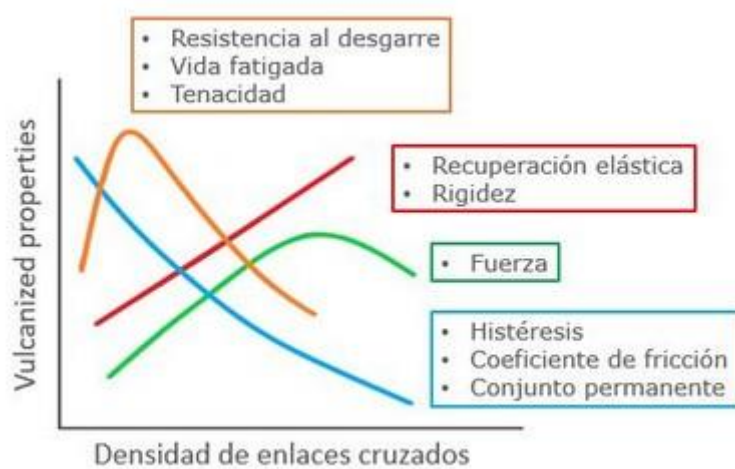


Figura 2.5.9. Efectes de la densitat de reticulacions sobre propietats mecàniques [47]

2.5.4. TPE-V o TPV: compost de EPDM vulcanitzat

Un avanç significatiu en els elastòmers termoplàstics a base de poliolefines va resultar del descobriment que el cautxú EPDM, quan es reticula selectivament sota cisallament (vulcanització dinàmica), dona com a resultat un elastòmer termoplàstic amb propietats mecàniques i capacitat de fabricació, molt superior als obtinguts d'una mescla simple de materials elàstics i plàstics.

Els termoplàstics vulcanitzats (TPVs) són una sèrie d'elastòmers d'alt rendiment que combinen les característiques desitjables del cautxú vulcanitzat (flexibilitat i baixa compressió), amb la facilitat de processament dels termoplàstics. Entre ells es troba el EPDM vulcanitzat, el material de les juntes estrellades tractades en aquest Treball. [48]

2.5.5. Reciclatge del EPDM vulcanitzat

Els residus de cautxú vulcanitzat que es generen en la indústria del cautxú han estat sempre un gran inconvenient en els processos. A causa de la reticulació en les cadenes que té lloc en el procés de vulcanització, no poden ser reincorporats de la mateixa manera en la cadena productiva. En el cas del EPDM vulcanitzat, es pot reciclar de diferents maneres:

- **Polvoritzat de EPDM.** Els residus de EPDM vulcanitzats en pols (W-EPDM) actuen com a càrrega en EPDM verge, substituint una part del material. No obstant això, suposa canvis significatius en les propietats i la quantitat de deixalla en pols que es pot mesclar amb el material verge és limitada. És per això que se sol utilitzar com a una base econòmica de cautxú per a mescles industrials.
- **Desvulcanització.** Si la vulcanització és el procés pel qual el sofre (additiu) forma enllaços amb els carbonis de l'estructura del cautxú (reticulacions), la desvulcanització tracta de trencar els enllaços formats del sofre i els carbonis, però sense arribar a trencar els enllaços carboni-carboni de la cadena, la qual cosa provocaria la degradació del material. Es pot realitzar per ultrasons o microones [49], però el procés més efectiu és un termo-mecànic: no utilitza productes químics en el procés i, per tant, preserva la integritat de la formulació original del cautxú que es recicla, i es pot repetir la desvulcanització sense disminucions significatives en les propietats mecàniques. [50]

Com a curiositat, s'afegeix a la bibliografia una Patent de reciclat i desvulcanització de cautxús vulcanitzats (entre els quals es troba el EPDM), on descriu amb detall el procés termo-mecànic empleat [51]

3. Objectius i especificacions tècniques

Després de realitzar la recerca del marc teòric, aquest apartat és la primera fase del disseny de la solució. En tot projecte d'enginyeria cal identificar les necessitats dels clients i traduir-les a especificacions tècniques que descriguin detalladament com fer-ho.

Els objectius estratègics del projecte són:

- Identificar de manera ràpida, efectiva i fiable les juntes defectuoses de la línia de producció, amb una eficàcia i eficiència major de la que és possible en un sistema format exclusivament per operaris.
- Retirar les juntes defectuoses frenant la línia de producció el mínim possible.
- Proposar solucions que no tinguin una complexitat tècnica excessiva per a que sigui viable implementar-les en la línia de producció

3.1. Especificacions productives

Per tal de dissenyar un sistema de detecció de defectes automàtic, cal conèixer els paràmetres de producció que té l'empresa PRELAST. Els més destacables, i els que condicionen el disseny de la solució són:

- Volum de producció (anual, mensual, setmanal, diari, per hora i per minut)
- Dimensions de la nau industrial per saber l'espai disponible
- Proporció aproximada (%) de peces defectuoses respecte les bones
- Proporció (%) dels defectes més comuns
- Temps de cicle de cada estació

L'espai disponible a la nau definirà la distribució de planta de la instal·lació, el volum de producció definirà quins temps de cicle han de tenir les estacions del sistema de detecció de defectes per a no frenar la producció, i la proporció de defectes indica en quins defectes s'ha de centrar la detecció.

La màxima prioritat per a les empreses que fabriquen juntes estrellades o tòriques no és la quantitat mensual produïda, sinó la seva qualitat i capacitat de segellat i estanquitat. És per això que es poden fabricar centenars al dia, però al control de qualitat s'avaluen peça per peça.

Observant les mostres de peces defectuoses proporcionades per FLUIDRA, s'ha pogut observar que els defectes més comuns són gomes trencades i deformades, mentre que les rebaves excessives i fractures queden en un segon lloc.

3.2. Especificacions físiques

Per tal de manipular les juntes sense malmetre-les, cal tenir clars els paràmetres físics més importants:

- Resistència a tracció (*Tensile Strength*): 7-20 MPa, a l'esquinçament: 20-60 N/mm
- Elongació a la ruptura = 300-600 %
- Densitat = 0.9 g/cm³
- Diàmetre anell extern (*diameter*) = 132 mm (4 radis) i 134 mm (5 radis)
- Diàmetres anell intern (4 radis) = 37 mm (OD) i 28 (ID) mm
- Diàmetres anell intern (5 radis) = 28 mm (OD) i 19 (ID) mm
- Gruix (*thickness*) = 4.5 mm, Alçada = 6 mm

Cal tenir en compte que tot i que el EPDM té una elongació a la ruptura gran, si les juntes estrellades s'estiren tant, s'acabaran trencant per algun punt d'unió dels radis.

3.3. Defectes a detectar: elaboració de l'AMFE

L'Anàlisi Modal de Falles i Efectes (AMFE) és una eina útil per classificar els defectes que poden aparèixer en un producte o procés, definir amb quina instrumentació s'han de detectar, i establir un full de ruta per saber com procedir quan apareixen.

En el cas de les juntes estrellades, alguns defectes com esquerdes i trencaments de la goma succeiran inevitablement, i poden estar causats per una gran varietat de factors. Ja que el

volum de producció anual és molt elevat i l'EPDM vulcanitzat es pot reutilitzar, convé descartar les peces defectuoses i no gastar recursos i diners en solucionar els seus defectes. Per tant, enlloc de centrar-se en estudiar **perquè** surten aquests defectes i idear solucions per reduir-los, l'objectiu d'aquest projecte és **detectar-los** de forma automàtica, precisa i fiable, i separar adequadament les peces defectuoses de les bones.

En aquest informe s'han vist defectes de forma a l'apartat 2.3 i defectes propis dels materials elastòmers al 2.6. La fotodegradació descrita al 2.6 sorgeix de l'ús i exposició prolongada de les juntes, de manera que no es podrà detectar en la línia de producció, i com les juntes estrellades van a l'interior de la vàlvula, no presentaran aquest problema.

En canvi, els defectes dimensionals i de forma del 2.3 sí són detectables, i tenen un gran impacte en l'encaix de la junta en la vàlvula selectora. Per tant, s'han de tenir en compte. Altres defectes que també caldrà considerar són la ruptura de la goma i les micro-esquerdes, que afecten al rendiment de la goma i poden estendre's fins a trencar completament la junta.

Per tant, cal dissenyar una solució que detecti automàticament els defectes següents:

- Trencaments de la goma
- Deformacions de forma i dimensionals
- Rebaves excessives
- Micro-esquerdes

3.3.1. Definició del sistema de detecció de defectes per fases

Sabent que es produeix un nombre elevat d'unitats anuals de juntes, l'etapa de detecció d'errors ha de funcionar amb un temps de cicle bastant reduït per no formar un coll d'ampolla i retardar la línia de producció. Per tal d'optimitzar el procés, és precís especificar els defectes que es volen detectar i classificar-los segons la facilitat de detecció:

- Trencaments de la goma: La seva detecció per càmeres artificials és quasi instantània. Caldrà determinar la velocitat a la qual la càmera ho pot detectar, ja que serà una etapa ràpida.
- Deformacions: Requereix de càlculs dimensionals i control de metrologia; per tant, cal més temps d'observació i processat, així com menor velocitat en les cintes transportadores.

- Rebaves excessives: Requereix de bona il·luminació i un bon enfoc, ja que la tonalitat de color de la junta i les rebaves és quasi la mateixa. També requerirà de càlculs dimensionals per saber quan les rebaves són excessives, fent necessària menys velocitat en les cintes.
- Esquerdes: Es requereix d'un sistema mecànic que flexioni la peça en múltiples direccions per obrir les esquerdes, i un sistema de guiat i orientació conjunt de càmera i il·luminació per a captar les esquerdes en diferents angles i parts de la peça. Per tant, cal que la peça estigui en repòs, i es pot predir que serà el defecte que més temps de processat requereixi.

Analitzant aquesta informació, un bon enfoc és dissenyar el sistema de detecció per **fases**: si la Fase 1 determina que la junta és defectuosa, es separa de la línia de producció, i si no detecta el defecte que es vol observar, es passa a les fases següents per observar els altres defectes d'interès. Si passa exitosament per les 4 fases, es podrà donar per bona i passarà a la secció d'empaquetat i emmagatzemat. Aquest enfoc per fases permetrà retirar les peces amb defectes més visibles en un flux de peces i a una velocitat majors del que podrien fer els operaris, i alhora l'estació de detecció de micro-esquerdes, que serà el defecte més difícil de detectar, rebrà menys peces entrants, reduint així la seva càrrega de treball.

Degut al elevat volum de producció, surt més a compte descartar les peces defectuoses que intentar reparar-les totes. Per tant, totes les sortides de les fases aniran a parar a la secció de gestió de residus a excepció de la fase 3, on només caldrà que un operari talli les rebaves amb una fulla i enviar les peces a la fase 4.

Relacionant les fases amb els defectes a observar, quedarien definides de la manera següent:

- Fase 1 (detecció en moviment). Descarta ràpidament les peces visiblement trencades.
- Fase 2 (metrologia). Mesura les deformacions dins de les toleràncies acceptades.
- Fase 3 (il·luminació). Per observar si les rebaves són excessives, caldrà tenir les peces en adequadament il·luminades per mesurar les rebaves del contorn de la junta.
- Fase 4 (detecció automàtica d'esquerdes). Es flectarà i girarà la junta en múltiples direccions (cal especificar la ruta de moviments) per observar esquerdes. La càmera i la il·luminació hauran de disposar d'un sistema de guiat per seguir el moviment de la peça.

Les juntes estan fetes d'un material elastòmer, de manera que es deformen, es dobleguen sobre si mateixes i s'enganxen a les superfícies quan s'empenyen per pistons o similars (com

una goma de pollastre gruixuda). Per tant, cal un **adaptador** especial a col·locar en l'extrem del pistó *pusher* (com una peça amb forma de pala d'excavadora), un **utilatge** per a braços robòtics o que les **cintes transportadores** es puguin **inclinat** per desviar el flux de material quan la peça sigui defectuosa.

3.3.2. Galeria d'exemples dels defectes a observar

La il·luminació d'aquestes fotos ressalta els defectes més visibles, com ruptures i deformacions.

Cara A (inferior)

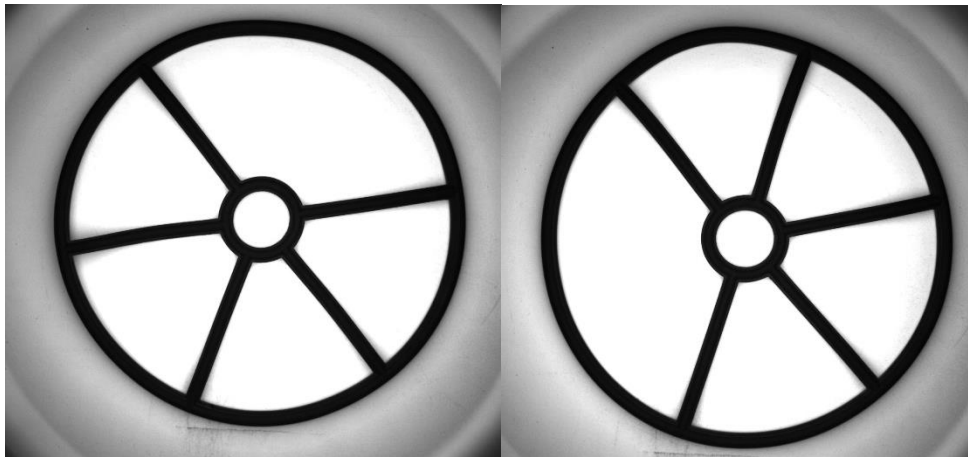


Figura 3.1. Esquerra, radi deformat. Dreta, goma deformada

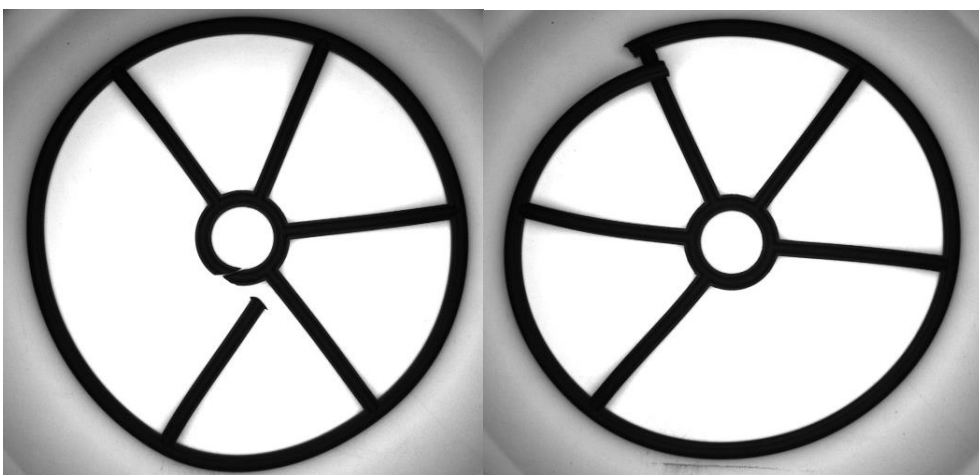


Figura 3.2. Esquerra, radi trencat. Dreta, goma trencada

Cara B (superior)

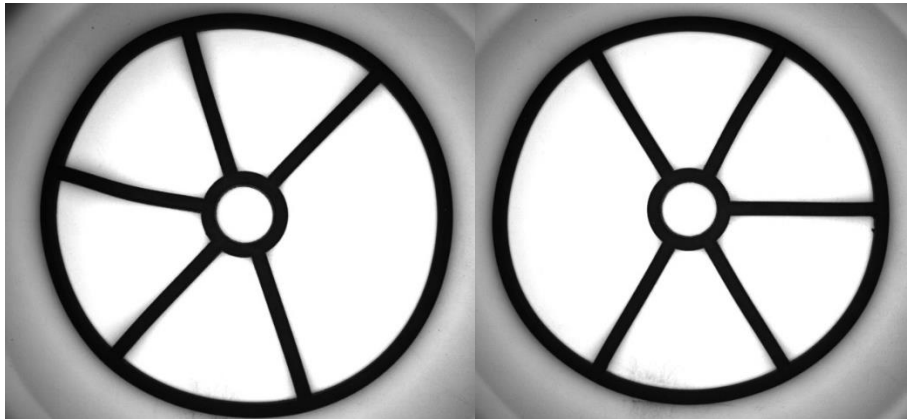


Figura 3.3. Esquerra, radi i goma deformada. Dreta, goma deformada

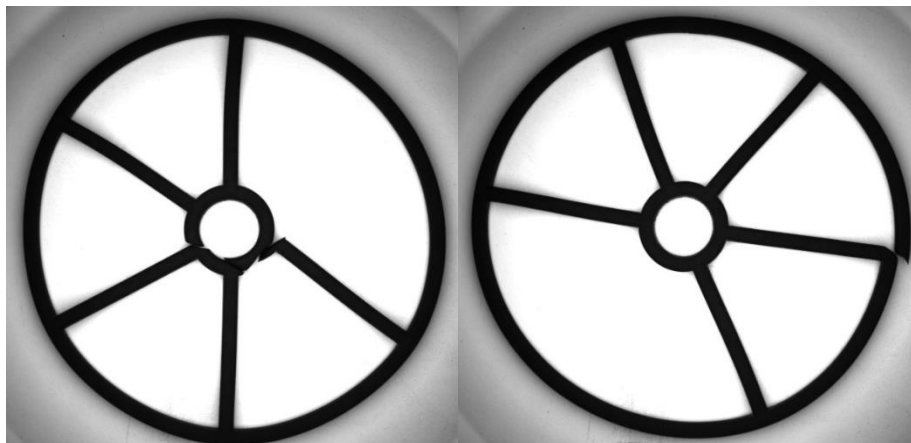


Figura 3.4. Esquerra, radi trencat. Dreta, goma trencada

Amb una lent coaxial P22 - 6 mm, es pot apreciar com la cara B és la cara amb relleu i la cara A és la plana.



Figura 3.5. Esquerra, cara B (superior). Dreta, cara A (inferior).

En fotografia, l'obturador (*Shutter* en anglès) és el dispositiu que controla el temps durant el qual arriba la llum al dispositiu fotosensible. Aquest temps és conegut com la velocitat d'obturació, i juntament amb l'obertura del diafragma (obertura), és el principal mecanisme per a controlar la quantitat de llum que arriba a l'element fotosensible⁴.

A continuació es mostren unes imatges captades amb una càmera Dome d'alta velocitat E182, per a diferents valors de Shutter (el de valor 2000 rep més llum que el de 1500):

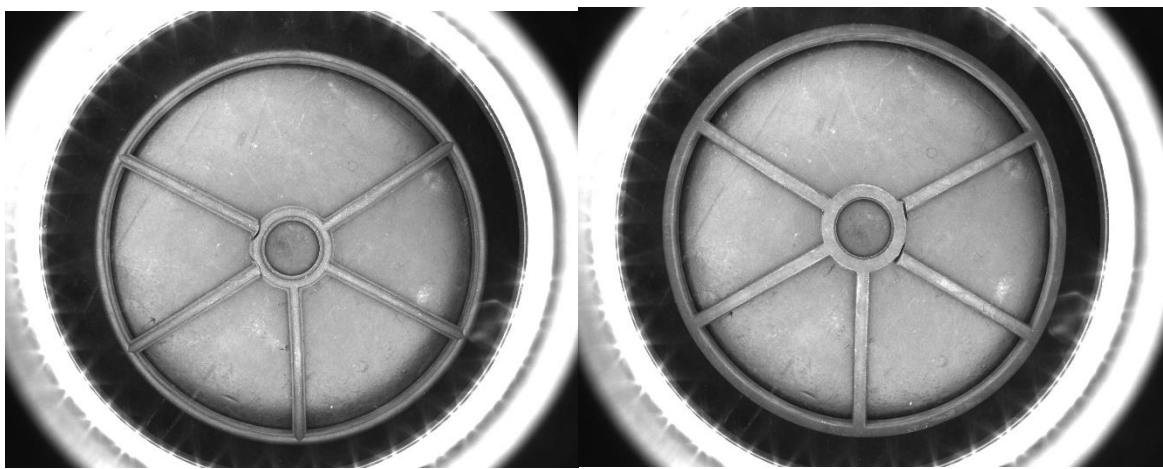


Figura 3.6. Cares captades per una lent 4.5 mm, Shutter 1500 (Esquerra, B. Dreta, A).

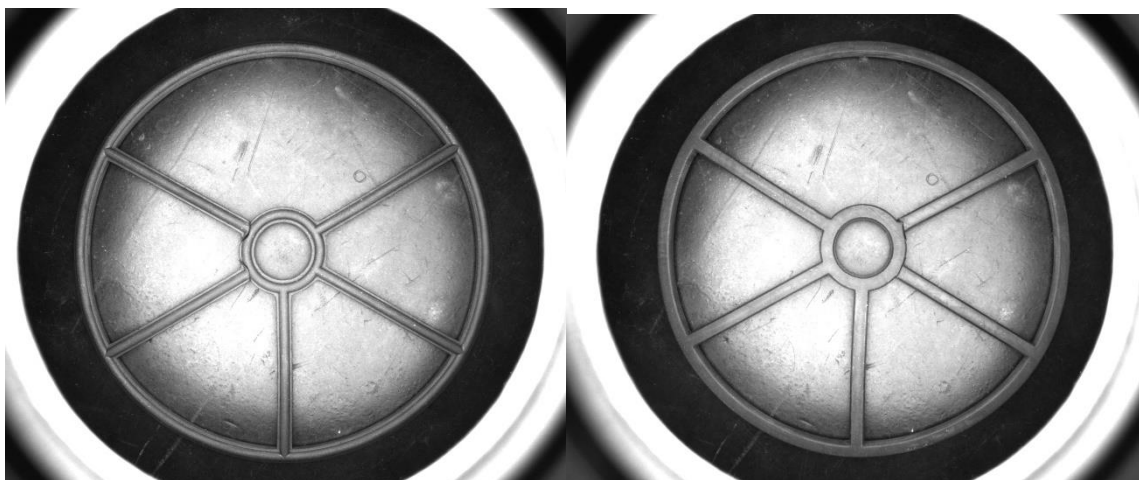


Figura 3.7. Cares captades per una lent 6 mm, Shutter 2000 (Esquerra, B. Dreta, A).

⁴ Wikipedia. *Shutter (fotografia)* [online]. Disponible a: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shutter_\(photography\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Shutter_(photography))

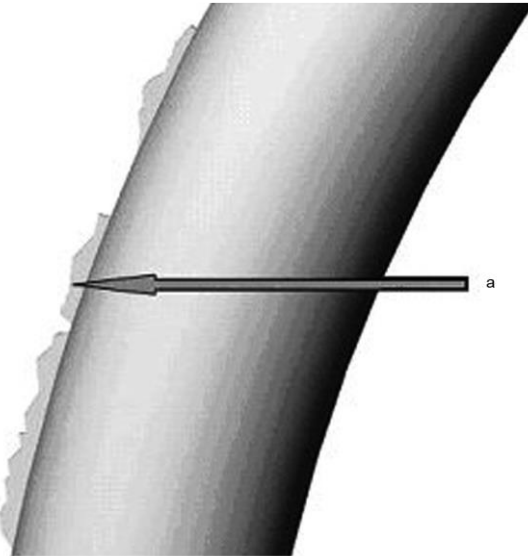


Figura 3.8. Exemple de rebaves excessives

Com es pot apreciar, una bona il·luminació és essencial per ressaltar les micro-esquerdes:

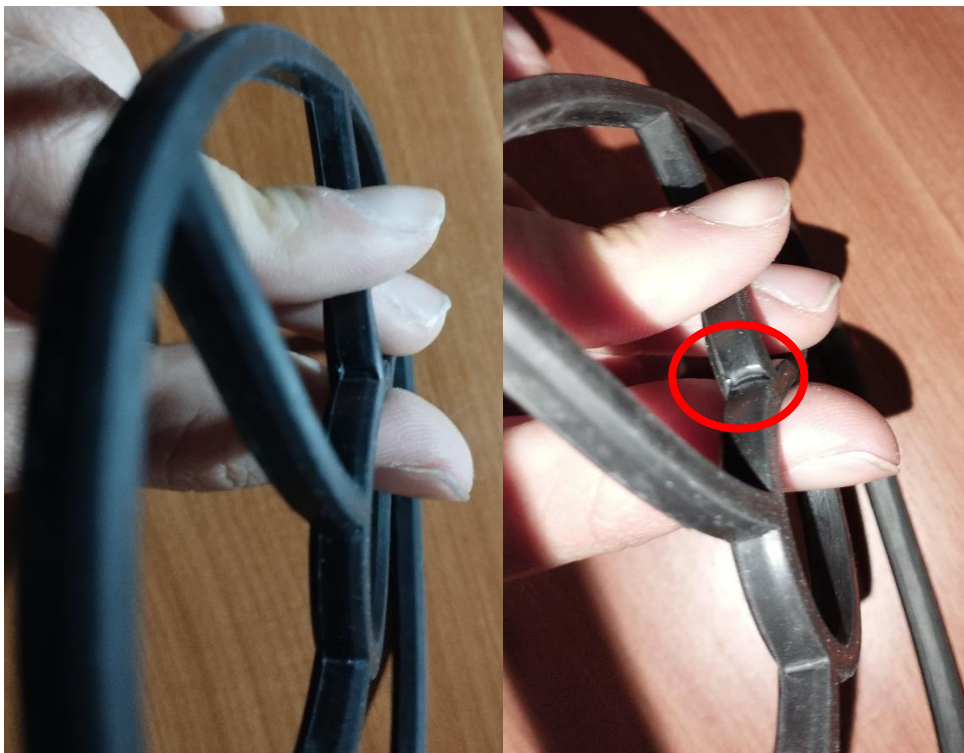


Figura 3.9. Exemple de fractura a la zona d'unió dels radis amb l'anell intern. Font pròpia

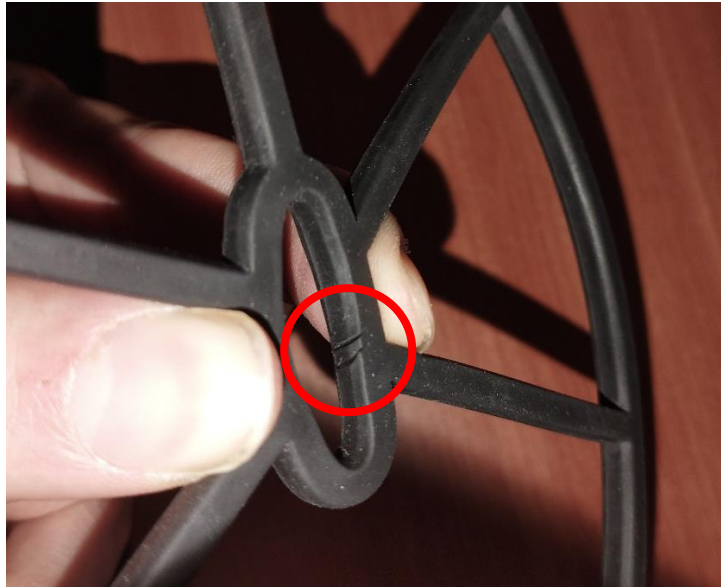


Figura 3.10. Exemple de micro-fractures al anell intern. Font pròpia

3.3.3. Elements d'una taula AMFE

La taula AMFE desenvolupada mostra la situació actual de l'empresa en la detecció de defectes, i com millora gràcies a les accions preses en l'automatització de la detecció de defectes.

- Mode de fallada: quin és el defecte observat
- Causa i efecte de la fallada
- Mètode de detecció: a simple vista o instrumentació requerida
- Mesures de control actual: peça per peça, per lots, etc.
- NPR: Gravetat (G)* Freqüència (O)*Detectabilitat (D)
- Responsable de les mesures de control: operaris, tècnic de qualitat
- Accions preses per automatitzar la detecció de defectes
- A quina [fase](#) del sistema correspondrà la detecció d'aquest defecte
- NPR millorat: es busca reduir la puntuació en la Detectabilitat (D)

GRAVETAT	CRITERI	VALOR
Molt baixa	Aquesta fallada té repercussions imperceptibles sobre el rendiment del sistema.	1
Baixa	La fallada pot originar un lleuger inconvenient al client, però és fàcilment corregible.	2-3
Moderada	La fallada pot causar que el client observi deteriorament en el rendiment del sistema, causant insatisfacció.	4-6
Alta	La fallada pot ser crítica i inutilitzar el sistema, causant elevada insatisfacció.	7-8
Molt Alta	Fallada molt crítica que afecta a la seguretat del producte, incomplint les normatives de seguretat.	9-10

Taula 3.1. Categorització de la gravetat dels defectes

FREQÜÈNCIA	CRITERI	VALOR
Molt baixa	No s'associa aquest defecte a processos similars, ni s'ha produït en el passat.	1
Baixa	Defectes aïllats en processos similars o quasi idèntics. És poc probable que succeeixi.	2-3
Moderada	El defecte ha aparegut ocasionalment en processos similars. Probablement aparegui algunes vegades.	4-6
Alta	El defecte s'ha presentat amb certa freqüència en processos similars en el passat, i és esperable que es presenti.	7-8
Molt Alta	Defecte quasi inevitable, és segur que es produirà freqüentment.	9-10

Taula 3.2. Categorització de la freqüència dels defectes

DETECTABILITAT	CRITERI	VALOR
Molt alta	El defecte és obvi i resulta altament improbable que els controls no el puguin detectar.	1
Alta	El defecte, tot i que obvi i fàcilment detectable, podria escapar-se en un primer control.	2-3
Moderada	El defecte és detectable i possiblement es vegi abans que arribi al client.	4-6
Baixa	El defecte resulta difícil detectar-lo amb els procediments actuals.	7-8
Improbable	El defecte no pot detectar-se.	9-10

Taula 3.3. Categorització de la detectabilitat dels defectes

Si l'NPR pren un valor de 200 o major, la detecció d'aquest defecte és una operació crítica. Com es veurà en la taula a continuació, el defecte crític és el de les micro-esquerdes.

AMFE: ANÀLISIS MODAL DE FALLES I EFECTES POTENCIALS (PRODUCTE)																		
Producte: Junta estrellada de vàlvula selectora		Data AMFE Inicial:			Nom del departament: Control de Qualitat			Proveïdor de matèries primeres:			Full: 1							
Codi del component/producte:		Data AMFE última revisió:			Supervisor:			Data de Fabricació:										
Component	Núm. Fallada	Falles potencials				Estat actual					Accions correctores recomanades	Responsable	Situació de millora					
		Mode de fallada	Efecte	Causes	Mètode de detecció	Mesures de control actuals	Gravetat (G)	Ocurrença (O)	Detectabilitat (D)	NPR inicial			Fase del control de qualitat	Accions preses	Gravetat (G)	Ocurrença (O)	Detectabilitat (D)	NPR final
Juntes estrellades de vàlvula selectora	1.1	Radis trencats en les unions amb el contorn intern	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Les tensions internes superen la tensió de ruptura de l'elastòmer	A simple vista o amb càmeres d'alta velocitat	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (molt ràpida)	100	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, control estadístic, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 1 (detecció en moviment)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 1 a la Fase 2.	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	1 (instantani)	50
	1.2	Contorn extern trencat en punt d'unió dels radis	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Les tensions internes superen la tensió de ruptura de l'elastòmer	A simple vista o amb càmeres d'alta velocitat	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (molt ràpida)	100	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, control estadístic, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 1 (detecció en moviment)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 1 a la Fase 2.	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	1 (instantani)	50
	1.3	Deformació dels radis	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Contraccions irregulars per refredament de la vulcanització	Càmera de visió artificial de toleràncies dimensionals	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	7 (difícil d'apreciar a simple vista)	315	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 2 (metrologia)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 2 a la Fase 3.	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (requereix càlculs dimensionals amb la càmera)	90
	1.4	Deformació del contorn extern	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Contraccions irregulars per refredament de la vulcanització	Càmera de visió artificial de toleràncies dimensionals	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	7 (difícil d'apreciar a simple vista)	315	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 2 (metrologia)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 2 a la Fase 3.	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (requereix càlculs dimensionals amb la càmera)	90
	1.5	Rebaves sense treure	Peça incompleta	Errors humans dels operaris	Càmera de visió artificial amb control d'il·luminació	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	4 (correctible)	5 (1 de cada 100 unitats)	5 (requereix observació atenta o il·luminació controlada)	100	Treure manualment les rebaves, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 3 (il·luminació lineal)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 3 a la Fase 4.	4 (correctible)	5 (1 de cada 100 unitats)	3 (requereix guiat de càmeres i il·luminació)	60
	1.6	Micro-esquerdes	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Causa d'esquerdes en elastòmers:	Sistema flector amb guiat d'il·luminació i càmeres de visió artificial	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	7 (fallada per fatiga imminent)	5 (1 de cada 100 unitats)	10 (requereix flectar la peça en múltiples angles i observació atenta)	350	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 4 (sistema de detecció automàtic d'esquerdes)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 4 a la secció d'empaquetat.	7 (fallada per fatiga imminent)	5 (1 de cada 100 unitats)	5 (requereix flectar la peça en múltiples angles i guiat de càmeres i il·luminació)	175

Taula 3.4. Taula AMFE abans i després d'implementar la detecció automàtica de defectes. Font pròpia

Amb el nou sistema implantat, gràcies a les càmeres de visió artificial, la detectabilitat (D) resultarà molt més evident (als operaris els costaria veure-ho o requeriran d'instrumentació dedicada) i certera (no es troba condicionada per coses com el cansament i errors humans), fent que el resultat del NPR sigui menor per a tots els defectes. És especialment important que el NPR de les micro-esquerdes, el defecte crític que frena més la línia de producció, es redueix a la meitat.

4. Generació i plantejament d'alternatives de solució

En aquest apartat es consultaran les tecnologies disponibles al mercat més adequades per a ser implementades en cadascuna de les etapes de la detecció de defectes, per tal de desenvolupar diferents alternatives de solució.

4.1. Sistemes de flexió de peces per a la detecció d'esquerdes

Com s'ha vist en la definició del sistema de detecció de defectes, les micro-esquerdes requereixen que les juntes siguin manipulades, flexionades i estirades per a que les càmeres les puguin observar, i si es vol que sigui un procés automàtic, caldrà dissenyar un sistema mecànic que realitzi aquestes tasques.

Les zones on apareixen les esquerdes i la manera de flectar la peça per observar-les determinarà els mecanismes que caldrà utilitzar. A més, s'ha de tenir en compte que no tapin massa superfície de la peça per a que les càmeres puguin observar detalladament les juntes.



Figura 4.1.1. Zones de la junta estrellada on poden aparèixer defectes. Font pròpia

Un cop s'han identificat aquestes zones i observat múltiples mostres amb aquests defectes, s'ha determinat que el desgast i les microfractures poden aparèixer en les cares de les dues circumferències/anells, i en els punts d'unió dels radis a les circumferències. S'ha marcat en verd les zones d'aparició més freqüents d'entre aquestes possibilitats:



Figura 4.1.2. Zones d'aparició de miro-esquerdes. Font pròpia

A mode de *Brainstorming*, inicialment es poden plantejar múltiples mecanismes i màquines per a flectar la junta per detectar micro-fractures:

- Corrons (“rodillos” en castellà) sobre els quals flectar la junta
- Pinces paral·leles per obrir-se a l'interior de l'aro central de la junta
- Un utilatge de forma sobre la qual doblegar la junta

4.1.1. Esquerdes de la cara inferior i superior: Corrons

Els corrons permetran doblegar la junta d'una manera similar a com es veu en aquesta imatge:



Figura 4.1.3. Exemple de peça de goma doblegada per corrons

Aquesta curvatura s'adapta a la forma plana de la junta, i la flecta per ressaltar les fractures i marques de desgast de diferents zones. Si ens basem en la Figura 5.1.1, permet veure-les en:

- Les cares de la circumferència exterior (vermell)
- Les cares de la circumferència interior (groc) si són bastant visibles
- La cara superior (blau, també la inferior si es dona la volta a la junta)

Malgrat això, com no experimenta cap tipus de torsió, les fractures dels radis (verd) no s'obren, la qual cosa facilitaria la seva detecció. A més, cal tenir en compte que els corròns funcionen millor per peces allargades, i han de tenir un diàmetre adequat a la mida de la junta. Això determina l'angle de doblegat, la qual cosa afecta a l'enfoc de la càmera i la quantitat de detalls que pot captar en una posició fixa.

També és important la orientació de la junta, ja que els radis no estan disposats simètricament. La orientació de la imatge de l'esquerra permet doblegar la junta equitativament per les dues meitats, però la imatge dreta mostra com només es doblega la meitat sense radis. Aquest problema té un pes major en juntes de 4 radis que en juntes de 5, ja que l'arc de goma sense radis té una longitud major.



Figura 4.1.4. Esquerra: flexió uniforme de la goma, Dreta: flexió descompensada. Font pròpia

A priori, és una solució que presenta problemes, ja que no permet observar les fractures dels radis, cal voltejar la junta per observar les dues cares, i presenta problemes importants en la subjecció de la peça pel fet de no ser suficientment allargada. Si s'implementés una solució com la de la Figura 5.1.5, caldria fer un escanejat lineal amb les càmeres per seguir la rotació de la peça, i idear algun sistema per mantenir la junta fixa al corró en tota la superfície.

4.1.2. Esquerdes centrals: Pinces d'obertura (*internal gripper*)

Utilitzar pinces robòtiques per flexionar l'aro central de la junta permetrà veure microfractures en les àrees següents:

- La unió dels radis amb la circumferència interior (verd)
- Les cares de la circumferència interior (groc)
- La cara superior si les esquerdes són visibles (blau)

De la extensa varietat de *grippers* disponibles al mercat [52], les opcions més indicades són pinces de pressió pneumàtiques o elèctriques, i d'accionament paral·lel o concèntric, ja que permeten subjectar la junta des de l'interior o l'exterior. La Figura 5.1.6 mostra dos exemples de l'empresa Schunk:



Figura 4.1.5. A l'esquerra, pinça concèntrica [53]. A la dreta, pinça paral·lela [54]

Per tal d'implementar pinces en la manipulació de juntes, cal tenir en compte que les pròpies pinces tapen part de la goma a observar. Per tant, si es vol observar la cara externa de l'aro interior, la pinça ha d'agafar la junta per dins, i si es vol observar la cara interna, per fora:



Figura 4.1.6. A l'esquerra, subjecció interna. A la dreta, subjecció externa. Font pròpia

A l'hora d'escollir la pinça, cal tenir en compte que el diàmetre del forat intern és petit (37 mm per la junta de 4 radis i 28 mm per la de 5 radis). Per tant, en la posició d'obertura mínima, els dits de les pinces han de tenir un gruix menor a aquest valor. Per aquest mateix motiu, és més senzill que unes pinces paral·leles hi càpiguen a que ho facin unes pinces concèntriques, fent que aquestes últimes es descartin. A més, si les opcions que hi ha al mercat no compleixen amb aquesta limitació, la impressió 3D permet fabricar a mida els dits.

A part del gruix dels dits, els paràmetres que caldrà consultar en una pinça paral·lela són:

- **Carrera.** És la distància que hi ha entre els dits des de la posició de mínima obertura fins la de màxima obertura.
- **Velocitat.** És una mètrica important en operacions amb temps de cicle reduït. Els *grippers* pneumàtics solen ser més ràpids que els elèctrics, però en canvi en els elèctrics es poden programar obertures parcials.
- **Precisió.** És la diferència entre la posició programada i la real que acaba assolint el robot. Resulta molt important en assemblatges d'alta precisió per a que tot encaixi.
- **Repetibilitat.** És la dispersió dels punts assolits pel robot en operacions repetitives: per tant, és especialment important en aplicacions de *pick & place*.
- **Força.** La força de les pinces elèctriques s'ajusta per programa, mentre que en les pneumàtiques cal ajustar la pressió i poden haver variacions per pèrdues en la xarxa d'aire.

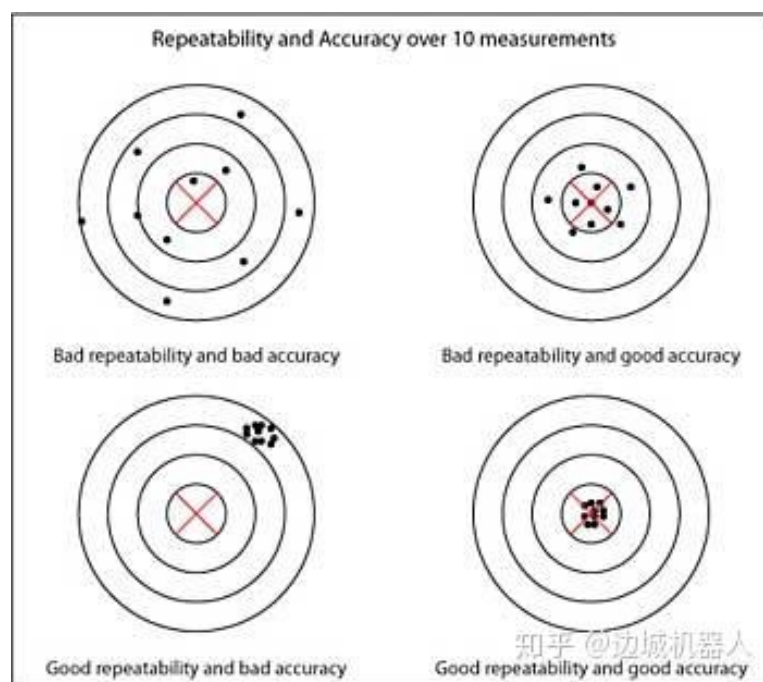


Figura 4.1.7. Combinació dels errors de precisió i repetibilitat

Com es requerirà programar una obertura parcial de la pinça, i l'elevat volum de producció precisa d'una alta repetibilitat, la millor opció són **pinces paral·leles elèctriques**. A banda de la seva alta programabilitat, no cal que estigui directament connectada a un PLC, sinó que es controlar amb un micro-controlador integrat amb connexió remota, la qual cosa suposa un important avantatge per les empreses quant a costos i facilitat d'implementació [55]. En la nota al peu s'adjunten vídeos que mostren el seu funcionament⁵.

4.1.3. Esquerdes als radis: torsió de la junta

En múltiples mostres han aparegut esquerdes en la zona d'unió dels radis amb els aros, la qual cosa els debilita considerablement. Per obrir aquestes esquerdes, un operari giraria i flectaria la peça en múltiples direccions, però es pot fer el mateix si es subjecta la peça pel centre i es torsiona sobre aquest eix. D'aquesta manera tots els radis es dobleguen de la mateixa manera i s'obren els punt d'unió. Per tant, es poden observar esquerdes en:

- La circumferència exterior, ja que es deforma en torsionar la junta (vermell)
- La unió dels radis amb les dues circumferències (verd)
- La cara superior si les esquerdes són visibles (blau)

Per mantenir fixa la junta i observar fractures en altres zones, es poden utilitzar les mateixes pinces paral·leles que en l'apartat anterior, però és possible que el diàmetre intern sigui tan petit que no puguin entrar per l'interior. Una bona alternativa són les pinces pneumàtiques expansives o pinces d'expansió (*pinzas de fuelle* en castellà), que en comprimir-se, la manxa (*fuelle*) es deforma i es fa més ample. Aquesta expansió permet que la manxa subjecti per pressió totes les cares internes de la zona on es col·loqui, que en el cas de les juntes estrellades, es tractaria de l'aro intern.

⁵ Robòtica Colaborativa MKS. *Pinza paralela para robot serie PGE DH Robotics* [En línea]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=QXB8702nMcE> [Última consulta: 2023]

SMC España. *Pinza neumática compacta de apertura paralela, serie JMHZ2* [En línea]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=fj0VTUBB0qk> [Última consulta: 2023]



Figura 4.1.8. Exemples de pinces d'expansió [56]

Aquestes imatges mostren com la torsió de la peça obre els punts d'unió dels radis:



Figura 4.1.9. Deformació de la goma per torsió de les juntes. Font pròpia

Hi ha dues maneres de generar aquesta torsió, tal i com il·lustra la Figura 5.1.10: mantenint el centre fixat amb les pinces d'expansió i fer que una pinça robòtica giri la junta subjectant un extrem (esquerra), o bé rotar la junta i tenir una peça allargada fixa que freni el gir (dreta).



Figura 4.1.10. Maneres de generar torsió en una junta de goma. Font pròpia

La primera opció assegura que la junta gira només en el pla horitzontal i no es doblega en altres direccions, mentre que en la segona és més senzill que es desviï. Tot i així, a nivell de costos d'implementació, la segona opció és molt més econòmica, ja que enlloc de necessitar un braç robòtic addicional, només requereix d'una peça allargada fixada a la taula de treball.

No obstant això, cal tenir en compte que hi ha juntes de diferents dimensions: de 4 radis amb forat central gran, i de 5 radis amb forat central petit:

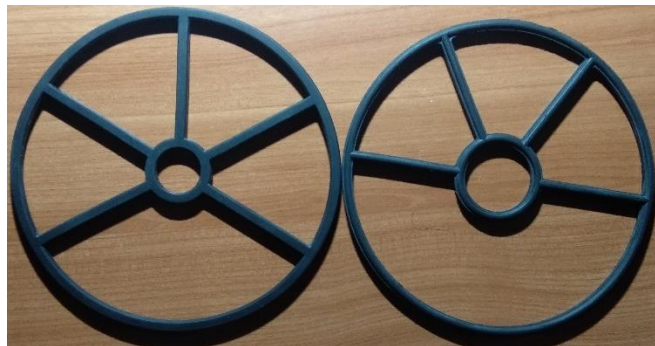


Figura 4.1.11. Tipus de juntes que surten de la línia de producció. Font pròpia

Això obligaria a utilitzar pinces expansives de diferents dimensions, ja que el rang d'obertura no és suficient per adaptar-se als dos diàmetres. O bé es disposa d'un sistema de selecció de la pinça expansiva adequada, com una torreta revòlver, o s'opta per una pinça paral·lela que agafi la goma des de l'interior, ja que compta amb suficient carrera per als dos casos.

Si es combina la subjecció de la junta pel centre, ja sigui per pinces paral·leles o expansives, amb unes pinces robòtiques que subjectin la junta des de dos extrems com si fos una mà, s'aconseguirà flectar la junta sense necessitat de corrons, tot i que no tant uniformement.



Figura 4.1.12. Flexió de la junta amb subjecció central sense corrons. Font pròpia

En resum, cal estudiar les alternatives següents:

ACCIÓ CONTRA LA JUNTA	ZONES D'OBSERVACIÓ D'ESQUERDES			MECANISMES IMPLEMENTATS	VIABILITAT TÈCNICA
Flexió de tota la junta	■	■	■	Corrons amb subjecció de junta	Subjecció complicada
				Pinces paral·leles per la subjecció central + pinces robòtiques per la flexió	Calen sensors per a que les dos pinces no col·lionin
Flexió de l'aro central	■	■	■	Pinces d'obertura externes	Que les pinces agafin la junta entre els radis
				Pinces d'obertura internes	Poden caldre pinces dissenyades en 3D
Torsió dels radis	■	■	■	Pinces d'expansió/paral·leles per la subjecció central + pinces per generar la torsió	Calen sensors per a que les dos pinces no col·lionin
				Pinces d'expansió/paral·leles per la subjecció central + peça allargada fixa	Les pinces d'expansió han de generar suficient força per a que la junta no s'escapi

Taula 4.1.1. Comparació de les diferents alternatives per a la detecció d'esquerdes. Font pròpia

Com es pot veure pels colors, cal implementar dos accions diferents sobre la junta per a cobrir totes les seves àrees/colors. A la viabilitat tècnica s'analitzarà si és un sistema massa complex i convé relegar la detecció de fractures a operaris.

4.2. Transport de juntes tòriques

4.2.1. Tipus de cinta transportadora

El sistema empleat per a transportar les juntes selectores per la línia de producció són cintes transportadores (*conveyors*). Hi ha molts tipus diferents, però es classifiquen en dos grans grups: de terra (*floor*) o de sostre (*overhead*) [57].

En el cas de les juntes selectores, s'han de transportar en grans quantitats, de manera que se solen utilitzen cintes de terra.

Les cintes transportadores de terra més utilitzades són les de banda (*belt*) i les de corrons per gravetat (*roller*) per la seva simplicitat. Degut a la mida reduïda de les juntes i a la necessitat d'una superfície plana, la més indicada és la *belt conveyor* (si fos per corrons, haurien d'estar massa junts entre ells per transportar les juntes i que no es caiguin pels forats).

Als annexos s'aprofundirà més en els detalls tècnics dels *belt conveyors*, ja que en aquest projecte no es dissenyarà cap cinta des de zero, sinó que s'escolliran a través de càlculs.



Figura 4.2.1. Esquerra, cinta transportadora de banda. Dreta, cinta de corrons

Les cintes compten amb accessoris especialment útils per ajudar als operaris amb el manteniment i les condicions de seguretat en la fàbrica. En el cas d'aquest projecte, els botons d'aturada d'emergència i els senyals lluminosos resulten útils per detectar i aturar el tram/fase de la línia que presenti problemes.

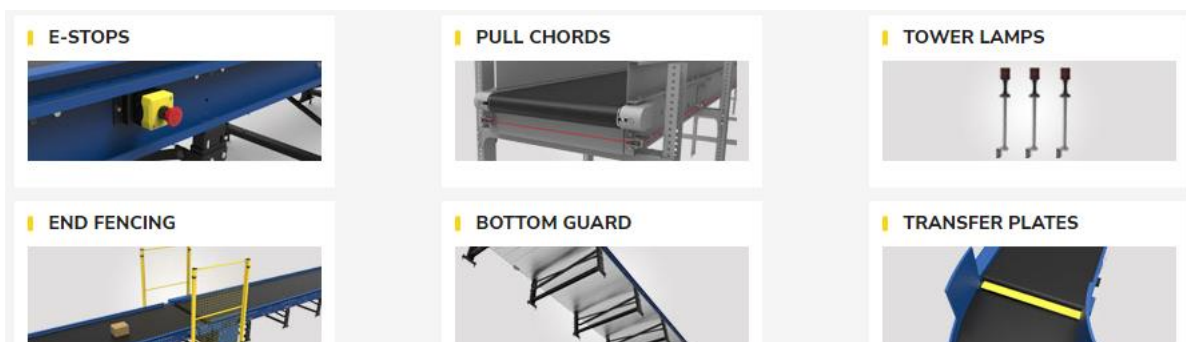


Figura 4.2.2. Accessoris per a cintes transportadores

Per a que les càmeres puguin detectar les juntes en la cinta transportadora, no cal que estiguin perfectament centrades, ja que tal i com s'ha vist en l'explicació de la fase de guiatge de la visió artificial, es poden alinear les eines respecte la posició de la peça. Un exemple que ho il·lustra són les aplicacions *pick & place* d'alta velocitat, on moltes unitats desalineades passen per la cinta cada segon. La aplicació de la figura següent mostra com uns robots Delta de ABB són capaces de agafar amb ventoses unitats des de qualsevol posició sobre la cinta transportadora:



Figura 4.2.3. Exemple de Pick & Place d'alta velocitat

4.2.2. Tipus de *sorting systems*

A l'hora de dissenyar el sistema de transport de juntes, no només cal definir quin tipus de cinta s'emplica, sinó també el sistema de classificació/separació (*sorting system*). En aquest projecte, només aplicarien quan les juntes bones estiguin empaquetades en caixes.

Alguns dels tipus utilitzats a la indústria són [58][59][60]:

	<p><i>Sliding Shoe Sorter</i>: Aquest sistema és el més adequat per a la classificació a alta velocitat. Està construïda amb llistons d'alumini i utilitza "sabates" lliscants per a desviar els productes. El contacte suau que fa amb el producte el fa adequat per a manipular productes fràgils.</p>
--	--

	<p><i>Narrow Belt Sorter</i>: Consta de diverses cintes estretes separades per corróns emergents. Desvia els productes a altes velocitats en angles de 90 graus, i gràcies a la seva construcció compacta, és ideal per a instal·lacions amb espai limitat.</p>
	<p><i>Pusher/Diverter Sorters</i>. Utilitza un braç <i>pusher</i> per a desviar els productes a una altra línia de transport perpendicularment a la línia principal. És viable per a instal·lacions amb espai limitat, però són de velocitat lenta a mitjana perquè el mecanisme de desviament ha de tornar a la posició d'origen abans d'interceptar el següent paquet.</p>
	<p><i>Sweep Sorter</i>. Funciona de manera similar al <i>Pusher Sorter</i>, però utilitza paletes bidireccionals per desviar els productes. És més adequada per a manipular bosses de polietilè estàndard i altres paquets i envasos petits. Són silenciosos, i ofereixen una distribució de planta flexible.</p>
	<p><i>Belted Pivot Wheel Sorter</i>. Utilitza dos jocs de rodes pivotants per a desviar els productes als dos costats de la línia principal. És la més adequada per a paquets de grandària mitjana.</p>
	<p><i>Cross-belt Sorter</i>. Consisteix en una cadena de carros muntats en la via principal, actuant com petites cintes transportadores bidireccionals. El classificador pot disposar-se en línia recta o en bucle, realitzant un elevat nombre de classificacions per minut i proporcionant una alta densitat de desviaments.</p>
	<p><i>Tilt Tray Sorter</i>. Igual que un <i>Cross-Belt Sorter</i>, consta de peces individuals per a facilitar una classificació d'alta densitat i alta velocitat. Aquest classificador està compost de safates inclinables per a dispensar el producte en una tremuja (tolva).</p>

Taula 4.2.1. Resum dels principals tipus de Sorting Systems

4.3. Separació de les peces defectuoses

Per tal de separar les peces defectuoses, hi ha diverses opcions:

- Accionar un “*conveyor pusher*”. Degut a la seva flexibilitat i viscositat, quan les juntes s'emputxen contra una superfície, es dobleguen sobre si mateixes i s'adhereixen més a les superfícies, oferint molta més resistència a ser desplaçada. Per aquesta raó, un *conveyor pusher* amb terminació en forma de pala d'excavadora la recollirà sense que es doblegui.
- Ús de *Pick and Place*. Els robots industrials per a aplicacions de *pick and place* tenen una gran velocitat, mida reduïda, preu econòmic i baixa capacitat de càrrega. A més, disposen de *conveyor-tracking* (gràcies a la visió artificial i una correcta il·luminació, coneixen la posició de les peces mòbils en tot moment, i s'adapta a la velocitat de la cinta transportadora per agafar-les en moviment).

4.3.1. Conveyor Pushers

Els *pushers* de cintes transportadores (*conveyor pushers*) s'utilitzen per a transferir lateralment productes d'una cinta transportadora a una altra disposada en un angle de 90°. Poden estar controlats pneumàticament o per servomotors elèctrics, i depenent de l'aplicació i les dimensions de la cinta, poden estar pensats per a muntar-se per sota, a sobre o lateralment [61].

En el cas de les juntes selectores, s'ha de partir la base que es treballa amb *conveyor belts* d'una certa alçada respecte el terra. Per tant, cal ajustar la seva alçada per a que la part inferior del *pusher* quedi alineada a la superfície de la cinta.



Figura 4.3.1. Exemples diversos de conveyor pushers

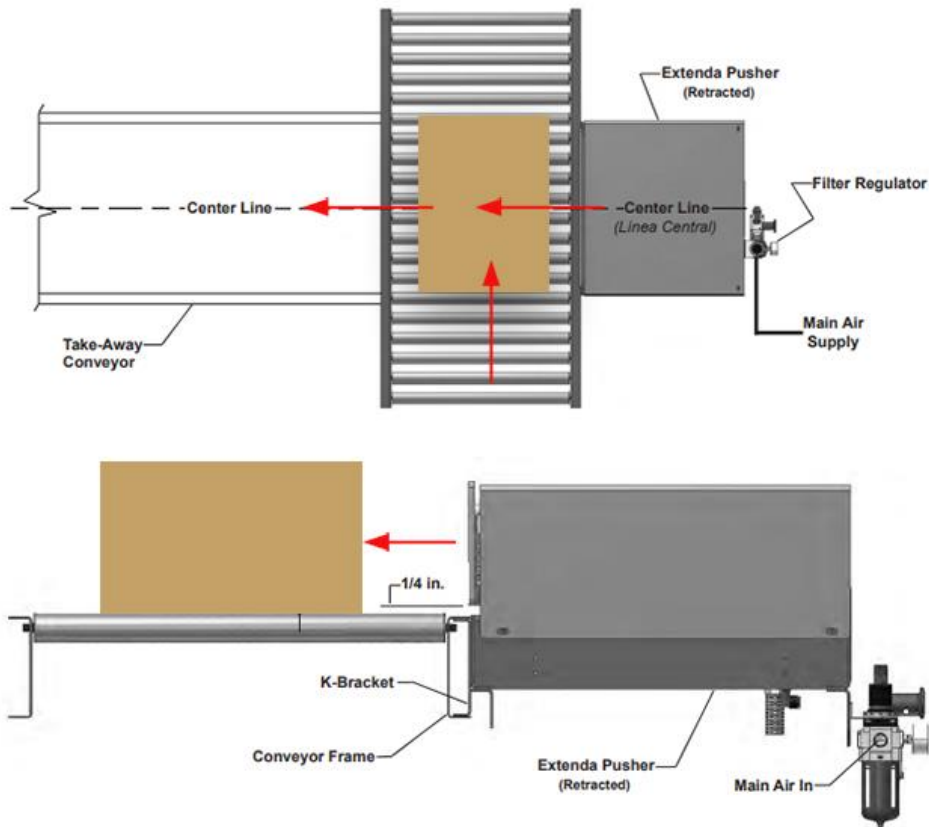


Figura 4.3.2. Instal·lació d'un conveyor pusher en una cinta específica [62]

Les especificacions que poden tenir els *pushers* pneumàtics són:

SPECIFICATIONS

AIR CYLINDER: 2" dia. bore.

LENGTH OF STROKE: Up to 36" available.

PUSHER PLATE: 1/8" aluminum channel.

MAXIMUM CYCLE RATE: Up to 75 cycles/min (cycle rate is dependent upon product size and weight).

FRL: Included, w/ 3/8" ports.

COMPRESSED AIR: 0.5 cu. ft./min. at 80 to 100 PSI per cycle.

PNEUMATIC CONTROLS: Pneumatics slow down cushion at rest position

CAPACITY: Maximum product weight is 100 lbs (rates are affected by product weight.)

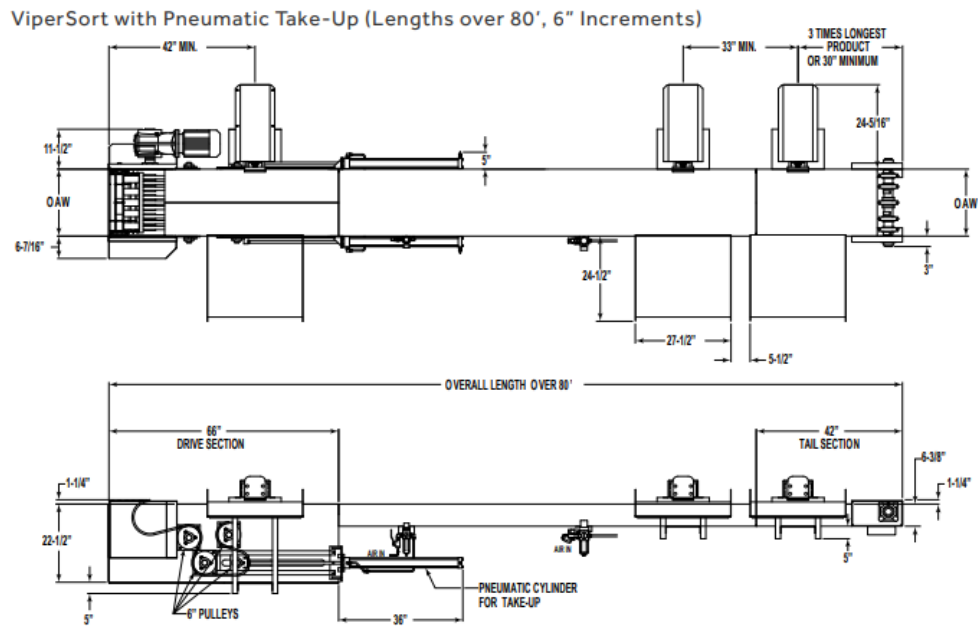
ENCLOSURE: NEMA 1 houses terminal strip for all wiring connections.

WIRING DIAGRAM: Housed inside of terminal box.

ELECTRICAL CONTROLS: 24 VDC single solenoid valve. 2 hall-effect sensors.

OPTIONAL: 120 volt, single or double solenoid valve

Figura 4.3.3. Especificacions del pusher Primo Sort High Speed Sorter [63]



VIPERSORT

Standard Specifications - Pusher

RATE – Up to 120 items per minute depending on item size and weight.

CAPACITY – Maximum unit package weight 25 lbs. See Rate.

PACKAGE SIZE – 24 in. long maximum. If over 24 in. contact factory.

AIR CYLINDER – High speed 32mm dia. bore x 325mm stroke guided cylinder.

AIR REQUIREMENTS – Working pressure 60 PSI. Free air consumption at 60 PSI, 0.1 cu. ft. per cycle.

AIR VALVE – 24VDC double solenoid 4-way air valve.

AIR FILTER/REGULATOR WITH LOCKOUT – Supplied for main air supply line with 3/4 in. NPT ports. Maximum of 6 diverts per regulator.

CHUTE – Adjustable 27 1/2 in. wide x 24 in. long x 12 ga. formed steel chute; powder-painted.

STROKE SENSOR – Two 24VDC sensors, adjustable for setting stroke length and determining home position.

Figura 4.3.4. Especificacions pushers Vipersort Right-Angle Sortation Conveyors [64]

4.3.2. Arquitectures de robots

Les arquitectures més utilitzades en la indústria són robots cartesianes, robots articulats (braços robòtics), SCARA i Delta, però no tots ells són adequats per a aplicacions de *Pick & Place*. La millor solució serà la que millor s'adapti al cas particular de les juntes de EPDM. Com les juntes estrellades són lleugeres i tenen una superfície gran, no cal un alt grau de precisió i robustesa per agafar-les; en canvi, sí cal que tinguin una **alta velocitat i cicle de treball reduït** per fer front a la elevada producció. A més, tal i com s'ha plantejat en el disseny del sistema de detecció de fallades, hi haurà múltiples estacions d'inspecció de defectes, de manera que a cada etapa caldrà un robot per separar les peces defectuoses. Per tant, el **cost** també serà un factor important a l'hora d'escollir la millor solució.

Robots cartesianes

Els robots cartesianes només es mouen sobre eixos lineals, la qual cosa els fa molt precisos i fàcils de programar i controlar. A més, tenen una estructura rígida, una gran àrea de treball i molta capacitat de càrrega, al cost de ser màquines voluminoses amb un manteniment rigorós. Això els fa especialment aptes per a tasques repetitives, com la descàrrega de màquines.

No obstant això, no tenen la suficient rapidesa com per treballar en una fàbrica de juntes i és una solució sobredimensionada per a agafar peces tant lleugeres, de manera que queden descartades en aquest projecte.



Figura 4.3.5. Exemples de robots cartesianes

Robots articulars

Els robots articulars, gràcies als graus de llibertat de les seves articulacions, tenen una alta maniobrabilitat i accessibilitat en racons difícils, i pel volum que ocupa la màquina, el seu abast de treball és extens. Tot i així, és difícil preveure la seva trajectòria, són complicats de programar, cal controlar les càrregues i inèrcies, i els errors de posicionament augmenten a mesura que el braç s'estén.

Aquests robots no disposen de la velocitat i repetibilitat que es requereix en la línia de producció, però sí són útils per girar en qualsevol orientació les juntes a inspeccionar en detall. Per tant, convé considerar aquesta opció en el disseny de la solució.

En els últims anys, s'han desenvolupat robots col·laboratius, que tenen limitació de força, un disseny amb més corbes i sensòrica externa per a poder treballar conjuntament amb un operari. Suposen una opció interessant per a processos on es necessita l'expertesa i criteri d'un ésser humà.

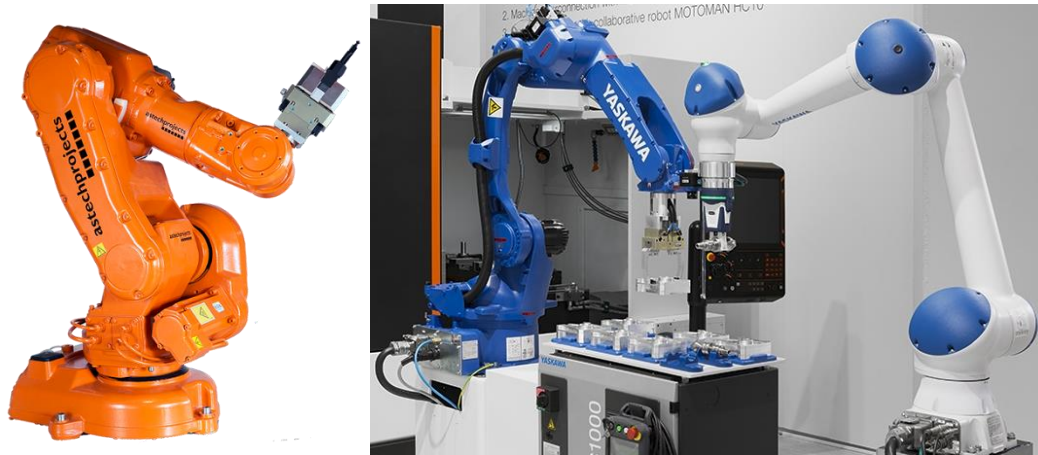


Figura 4.3.6. Exemple de robot articulat tradicional (esquerra) i col·laboratiu (dreta) [65]

No obstant això, els robots més adequats pel *Pick-and-Place* són els SCARA i els Delta per les seves capacitats de velocitat.

SCARA

És un tipus de robot amb tres juntes de revolució i una única junta prismàtica (dos graus de llibertat de rotació i un de translació). L'articulació prismàtica només serveix per a pujar o baixar el EOAT (End Of Arm Tool), i les juntes de revolució li confereixen una envoltant de treball toroidal. Destaquen per la seva alta rapidesa, precisió i repetibilitat, la qual cosa els fa aptes per *Pick & Place* en cintes transportadores d'alta velocitat, i permet desenvolupar solucions de mida reduïda, simples i econòmiques.

S'utilitzen per a operacions d'assemblatge senzilles que no requereixen una capacitat completa d'orientació de les peces manipulades, però si es requereix de sis graus de llibertat per a la inclinació o orientació completa de les peces, resulta més pràctic recórrer a un robot articulat que permeti una major flexibilitat operativa.

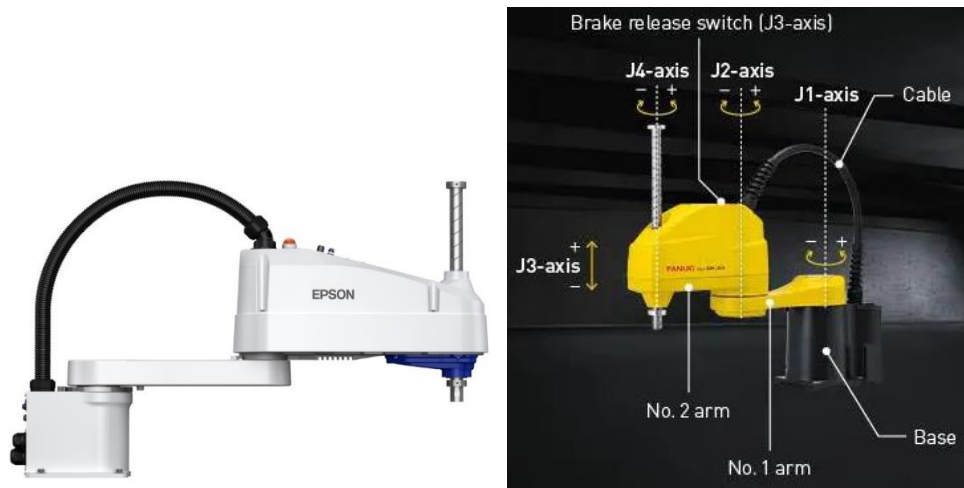


Figura 4.3.7. Exemples de robots SCARA

Delta

El EOAT està connectat a 3-4 braços articulats que es mouen conjuntament com a articulacions per a que el EOAT tingui quatre graus de llibertat i una àrea de treball en forma de cúpula. L'acció simultània de les articulacions fa que sigui adequat per a aplicacions de recollida i col·locació ràpida en les indústries farmacèutica, alimentària i electrònica, ja que poden fer moviments delicats, ràpids i precisos.

Tenen un rang de moviment major que els robots SCARA, però solen ser més costosos i voluminosos, i lleugerament menys robustos (poden aixecar càrregues menors). A més, com s'instal·len de cap per avall, cal un sostre o una estructura equivalent d'on puguin penjar.

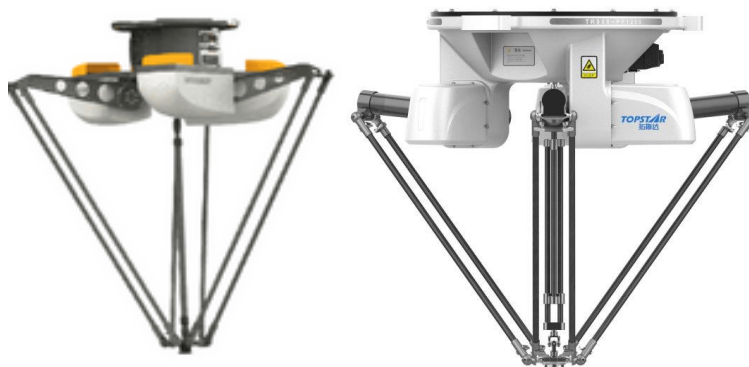


Figura 4.3.8. Exemples de robots Delta

La necessitat de repetibilitat, que és un dels factors més importants en una línia de producció d'alt volum, limita la capacitat de velocitat. Això es deu a que després de moure la seva massa a gran velocitat, la vibració triga a dissipar-se, de manera que ha de reposar un cert temps. Aquesta vibració s'incrementa amb l'augmenta de càrrega útil i l'abast. En aquest aspecte, els robots Delta no són tan precisos com els robots SCARA. Per exemple, el Kawasaki YF03N, un Delta de càrrega útil de 3 kg, presenta una repetibilitat de $\pm 0,1$ mm, i el FANUC SR-3iA, un SCARA de la mateixa càrrega útil, ofereix una repetibilitat de $\pm 0,01$ mm. [66]

Per tant, els robots SCARA resulten més adequat per retirar les juntes estrellades defectuoses de la línia de producció. A l'apartat de selecció de l'alternativa més adequada, caldrà consultar els fabricants més importants del sector, que són ABB, FANUC, Omron i Yaskawa.

4.3.3. Sistema de subjecció: *grippers*

Els *grippers* per a robots són eines/utillatges de fi de braç (End of Arm Tool, EOAT) que fan d'interfície física entre el braç robòtic i la peça de treball. Per tant, com entren en contacte directe amb la peça, han de tenir la forma i disseny adequats per a manipular les peces adequadament i sense ocasionar danys.

Hi ha quatre tipus principals de *grippers*: pinces de buit, pinces pneumàtiques, pinces hidràuliques i pinces servo-elèctriques. La opció més idònia d'entre aquestes quatre ve determinada per l'aplicació de manipulació requerida i del tipus de material de la peça de treball. [67]

- *Vacuum grippers* (subjecció per buit). Disposa de ventoses de poliuretà o cautxú que atrapen els objectes per buit quan es succiona l'aire amb un sistema pneumàtic. En alguns casos, també utilitzen una capa de goma-escuma en lloc de ventoses (*foam rubber suction cups*) per a superfícies irregulars i rugoses. Aquest sistema destaca per la seva flexibilitat i delicadesa a l'hora d'agafar les peces, raó per la qual és àmpliament utilitzat en la indústria. Es pot trobar informació extensa sobre ventoses en aquesta referència: [68]



Figura 4.3.9. Esquerra, foam rubber suction cups, Dreta, Vacuum gripper

Degut a les grans cavitats que tenen les juntes tòriques i estrellades, no es podrien utilitzar cap tipus de ventoses per manipular-les.

- *Hydraulic grippers.* Les pinces hidràuliques són les que poden aplicar més força, per la qual cosa s'utilitzen en indústries pesades. Malgrat la seva força i gran fiabilitat, necessiten molt de manteniment, una neteja freqüent del líquid hidràulic (normalment són olis o aigua) i instal·lacions grans (tuberies, electrovàlvules, PLC i bombes de pressió).



Figura 4.3.10. Exemple de pinces hidràuliques paral·leles

- *Pneumatic Grippers.* Són molt utilitzades per ser lleugeres i compactes, de manera que es poden instal·lar en espais reduïts. Redueix el consum d'electricitat en comparació a altres aplicacions, i tenen un temps de resposta superior als elèctrics, Tot i així, cal incorporar electrovàlvules, tubs i un controlador (PLC).



Figura 4.3.11. Exemple de pinces paral·leles pneumàtiques

- *Servo-electric grippers.* Les pinces servo-elèctriques són cada vegada més utilitzades en la indústria, gràcies al seu control senzill i flexibilitat. Els moviments de les mordasses es controlen mitjançant motors electrònics, que poden estar connectats a microprocessadors integrats per estalviar espai i PLCs. Un altre avantatge és que no tenen conductes d'aire i són netes, reduint les necessitats de manteniment i allargant la seva vida útil.



Figura 4.3.12. Exemple de pinces paral·leles elèctriques

- *Soft grippers.* Recentment, s'han desenvolupat pinces de materials tous que s'adapten a la forma de l'objecte que agafen, augmentant en gran mesura la seva versatilitat i la delicadesa a l'hora d'agafar peces complicades. Alguns exemples són de pinces flexibles o de bola flexible.

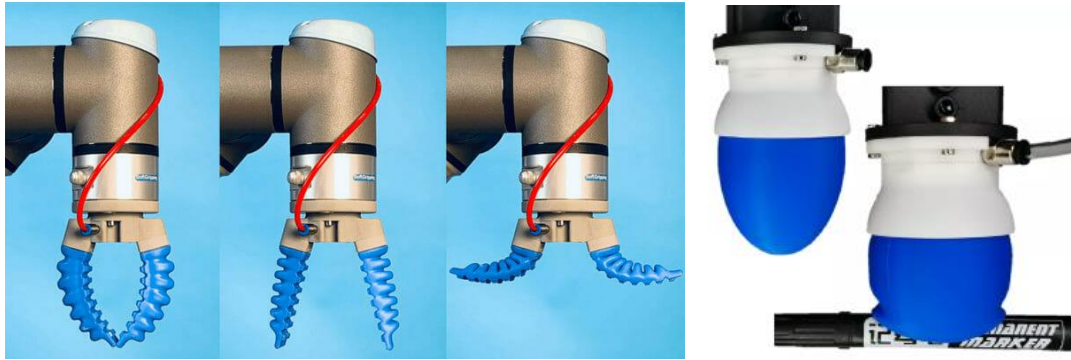


Figura 4.3.13. Exemples diversos de soft grippers

4.4. Fabricació Additiva pel disseny del manipulador de juntes

Degut al gran volum de juntes que es transporten, en una jornada de treball, el sistema de retirada de peces defectuoses pot arribar a fer molts cicles al dia, desgastant els mecanismes i superfícies de les pinces. Aquest alt desgast requereix de sistemes cars amb una llarga vida útil, o de sistemes amb recanvis barats i freqüents, però al cap i a la fi, sempre caldrà disposar de recanvis al magatzem.

La gestió de recanvis en magatzems suposa un important sobrecost per les empreses, ja que estan obligats per llei a subministrar recanvis dels seus productes, i cada any que passen al magatzem incrementa el seu cost d'estoc (depreciació comptable). Amb el pas dels anys, els productes es devaluen, es fan obsolets i generen menys beneficis, la qual cosa empitjora cada cop més el balanç de l'empresa. Tots aquests problemes es fan més notoris en empreses grans, on disposen d'un gran nombre de referències de productes diferents amb recanvis únics.

La impressió 3D soluciona tots aquests problemes: la fabricació Just in Time (JIT) permet disposar de recanvis en un marge de temps molt més reduït, la qual cosa redueix el temps de substitució d'eina i elimina la necessitat d'emmagatzematge de recanvis. A més, implementant els principis de la fabricació additiva i la optimització topològica es minimitzarà el material necessari per fabricar els dits de les pinces, reduint el seu cost.

4.4.1. Característiques de la Fabricació Additiva

Hi ha tres tipus de tecnologia de fabricació, en funció de com es modifica el material per donar forma al producte: per substracció de material (mecanitzat), per conformació (injecció de plàstics i fosa de metalls) i per addició (fabricació additiva).

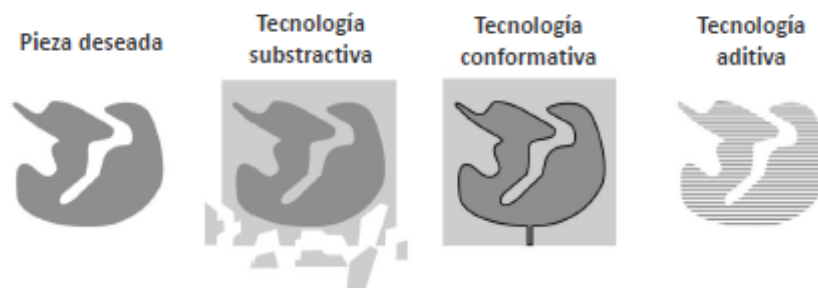


Figura 4.4.1. Tipus de fabricació segons la modificació del material

La impressió 3D utilitza tècniques de fabricació additiva on s'afegeix material per crear des de zero una estructura tridimensional, normalment capa a capa. Les impressores 3D solen ser més ràpides, barates i fàcils d'usar que altres tecnologies de fabricació per addició, però les toleràncies dels objectes produïts dependran del seu preu d'adquisició. Són especialment útils per la fabricació de prototips i de productes completament personalitzats al client.

Per la manera d'afegir material, la impressió 3D fabrica productes en una sola peça, per molt complexa que sigui la forma. Això no seria possible amb el mecanitzat, ja que caldrien múltiples etapes de producció per arribar a la forma desitjada, i en la injecció de plàstics es complicaria el disseny dels motllos. Per tant, la complexitat no té cost afegit en la Fabricació Additiva.

La Fabricació Additiva també es caracteritza per oferir rapidesa en el procés de prototipat i fabricació:

- *Rapid Prototyping*: fabricació ràpida d'un prototip visual (*alfa*) o funcional (*beta*).
- *Rapid Manufacturing*: fabricació ràpida de peces definitives, amb les característiques físiques i de funcionalitat que es busquen.
- *Rapid Tooling*: fabricació ràpida d'utilatges i motlles d'injecció.

Aquestes característiques li confereixen els següents avantatges respecte altres tecnologies:

- Cicles de desenvolupament de producte més ràpid (menor *Time To Market*)
- Canvis en els models de negoci existent i creació de nous negocis
- Filosofia *Just In Time* (JIT)
- Diseny i personalització com a valor afegit
- Sostenibilitat mediambiental

4.4.2. Materials utilitzats

En la impressió 3D es poden utilitzar una gran varietat de materials: els termoplàstics són els més comuns, seguits de metalls i ceràmics, i aliatges per aconseguir altes prestacions [69]. Aquest projecte es centrarà en l'aplicació dels plàstics, ja que solen ser més econòmics i s'adeqüen més a aplicacions on no es pateixen grans tensions.

La majoria dels termoplàstics utilitzats en la injecció de plàstics poden ser processats per utilitzar-se en fabricació additiva. Es divideixen en estructura semi-cristalina i amorfa, i segons si són de gamma alta o baixa, tal i com mostra la piràmide següent:

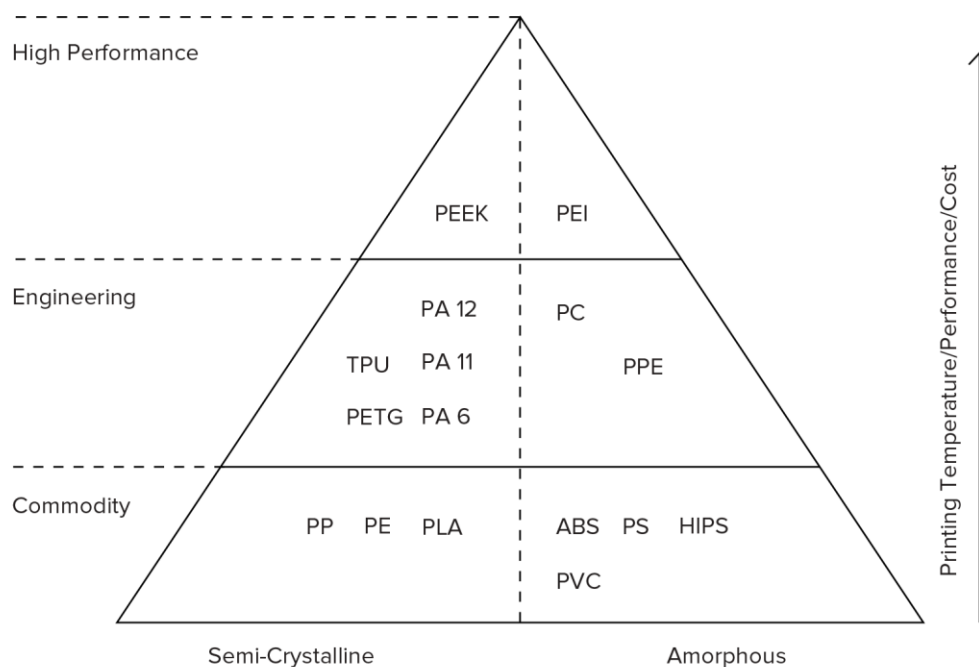


Figura 4.4.2. Classificació dels polímers utilitzats en fabricació additiva

D'entre aquests plàstics, es descarten els que no són adequats per a aplicacions mecàniques (PP, PS), ja que no es pot permetre que les pinces es trenquin mentre manipulen les juntes. Per tant, materials amb alta resistència a l'impacte com l'ABS o PC són una millor opció. El Nylon ofereix a més una alta resistència a l'abradió i químics, fent-lo adequat per entorns industrials exigents. Finalment, el PETG inclou una molt bona reciclabilitat.

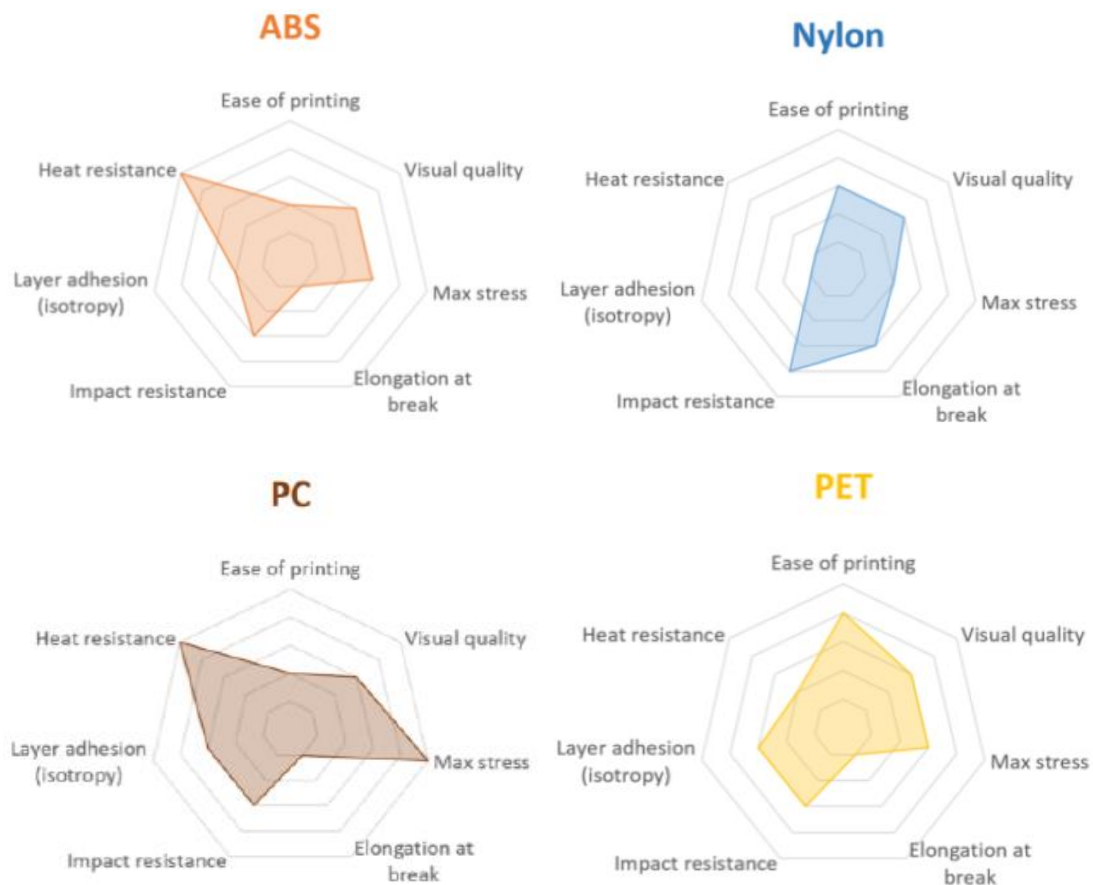


Figura 4.4.3. Propietats dels materials contemplats per fabricar les pinces

Com les propietats mecàniques d'aquests quatre materials serveixen per aquesta aplicació, la decisió del material a utilitzar dependrà d'altres factors com la tecnologia d'impressió que s'acabi escollint (ja que hi ha tecnologies que només poden imprimir amb plàstics concrets), el preu de la matèria primera, i el seu impacte mediambiental. Com es veurà a la viabilitat ambiental, hi ha materials com l'ABS que produeixen olores i bastant fum durant la impressió, de manera que els tres altres materials són millors alternatives [70]:

PETG. El PETG és més resistent i més senzill d'imprimir que el ABS. Té bona resistència química i a la fatiga, baixa temperatura d'impressió, i un preu econòmic. Se sol utilitzar per fabricar recipients de menjar i ampolles reciclables, ja que és apte per a ús alimentari. L'inconvenient principal és que la seva superfície tova la fa propensa al desgast, de manera que caldrà canviar les pinces més sovint. [71]

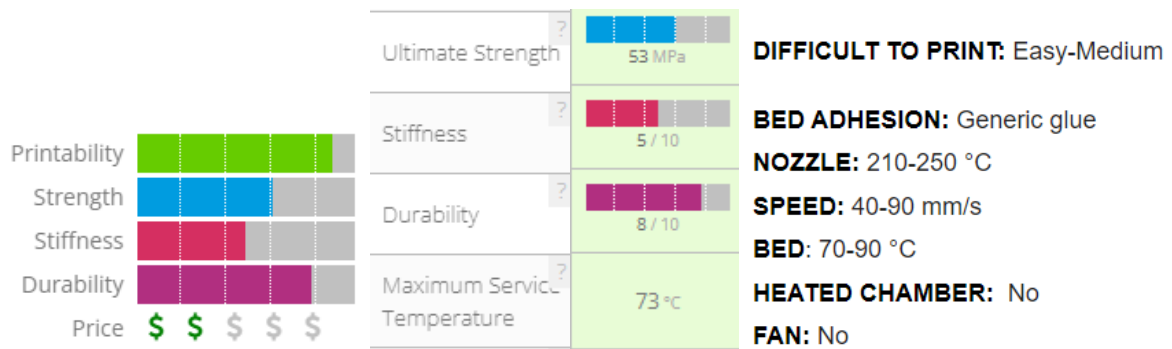


Figura 4.4.4. Propietats més importants del PETG com a material d'impressió 3D

Es pot reforçar amb fibra de vidre (Carbon Filled) per millorar les propietats mecàniques en gran mesura, però incrementa el cost del filament i requereix un extrusor resistent a l'abrasió.

Policarbonat (PC). És un material d'alta resistència (*strength*) i durabilitat, resistència al impacte i a la fatiga, i adequat per ambients industrials durs. També requereix altes temperatures d'impressió, de manera que també es veu afectat pel warping. També és un material molt higroscòpic com el Nylon, i pot resultar més difícil d'imprimir. [72]

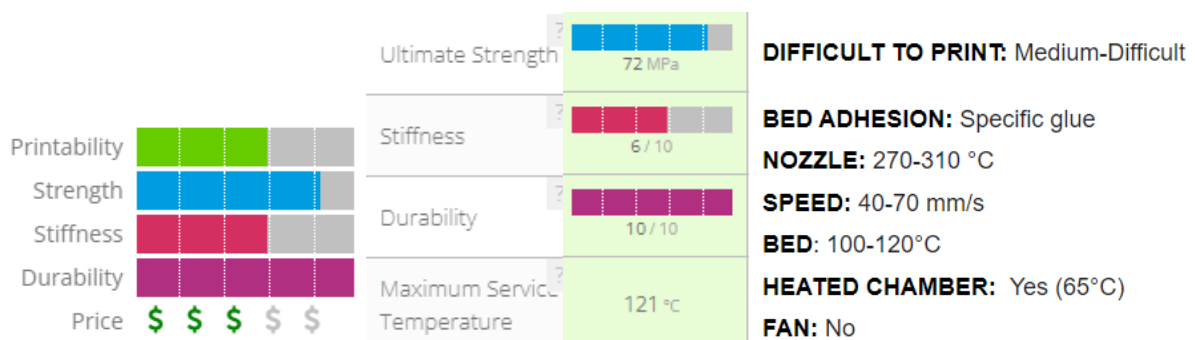


Figura 4.4.5. Propietats més importants del PC com a material d'impressió 3D

Nylon. És un material dur, amb una alta resistència a l'impacte i a la fatiga, sense olor al imprimir, altament reciclable i amb una destacable resistència a l'abrasió. Com requereix altes temperatures d'impressió, és propens al fenomen del warping, i té l'inconvenient de ser higroscòpic (absorbeix la humitat ambiental), de manera que no és apte per ambients humits. [73]

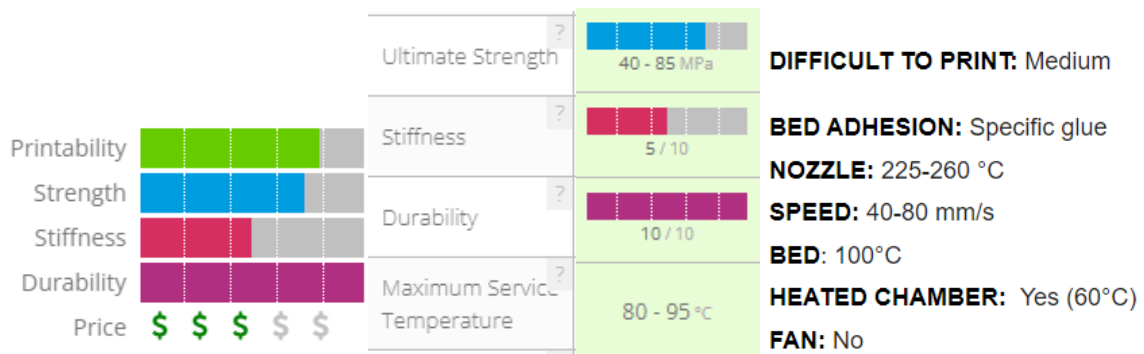


Figura 4.4.6. Propietats més importants del Nylon com a material d'impressió 3D

A l'hora d'escollir el Nylon, cal especificar quina poliamida es vol. Les més utilitzades en impressió 3D són PA11 i PA12:

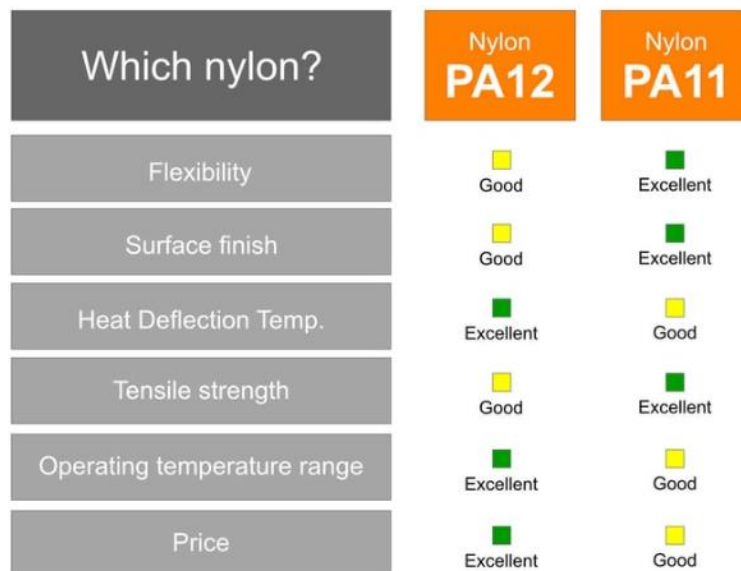


Figura 4.4.7. Comparació de Nylon PA11 i PA12

Com prové d'oli de ricí, un recurs natural i renovable de fabricació, el PA11 té clarament un menor impacte ambiental. A més, també té una bona resistència tèrmica, és estable a la llum i agents atmosfèrics i posseeix una elasticitat impressionant.

Quant al PA12, encara que no és tan ecològic (component sintètic provinent de materials petrolífers), pot suportar dràstiques caigudes de temperatura, fins i tot mantenint la seva resistència durant períodes amb temperatures sota zero. En general, és rígid, resistent a les esquerdes i a la abrasió, i ha demostrat una gran qualitat a llarg termini.

Per tal d'aportar una solució amb el menor impacte ambiental possible, el **Nylon PA11** serà la opció a escollir. [74]

També existeixen poliamides reforçades amb fibra de vidre (*Glass-Filled*), i de carboni (*Carbon-Filled*).

Material	Característiques
Polyamide 12 (PA 12)	Bones propietats mecàniques Bona resistència química Superfície mat i rugosa
Polyamide 11 (PA 11)	Comportament totalment isotròpic Alta elasticitat
Aluminium-filled nylon (Alumide)	Aspecte metàl·lic Alta rigidesa
Glass-filled nylon (PA-GF)	Alta rigidesa Alt desgast i resistència a la temperatura Comportament anisotròpic
Carbon-fiber filled nylon (PA-FR)	Excel·lent rigidesa Alta relació pes-força Altament anisotròpic

Figura 4.4.8. Diferents tipus de filaments de poliamides

A més de millorar les propietats mecàniques, soluciona la vulnerabilitat a la humitat (*moisture*) del material base, de manera que és una alternativa que **val la pena considerar**. [75]

4.4.3. Processos utilitzats

Hi ha un gran nombre de processos de fabricació additiva desenvolupats en els últims anys, i s'agrupen en funció de la manera en què s'aporta material i energia per fabricar el producte: per punt (0D), per línia (1D), i per superfície (2D).

		Aporte de energía		
		0D	1D	2D
Punto		FDM		
		LENS		
		UDM	-	-
		EBAM		
		ADAM		
Aporte de material	Línea	APD	PJ DOD NPJ	-
	Lecho	SLA, SLS, EBM, DMLS LOM	BJ	DLP MJF CDLP CLIP

Figura 4.4.9. Diferents tecnologies d'impressió 3D segons l'aportació d'energia i material⁶

Els més utilitzats en la indústria són els següents:

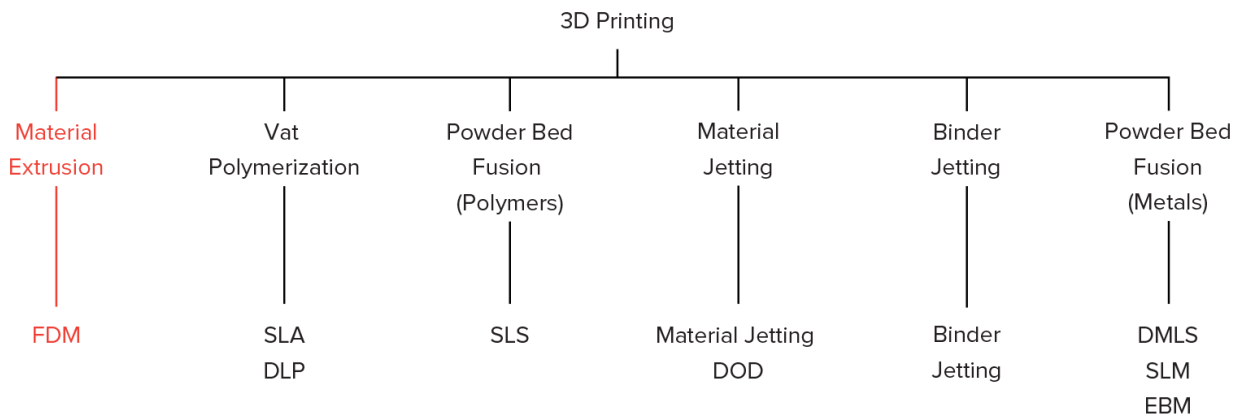


Figura 4.4.10. Mètodes d'impressió 3D més utilitzats

⁶ FDM (Fused Deposition Modelling), SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering), EBM (Electron Beam Melting), DMLS (Direct Metal Laser Sintering), PJ (PolyJet), BJ (Binder Jetting), DLP (Digital Light Processing), MJF (Multi Jet Fusion), CDLP (Continuous Digital Light Processing), CLIP (Continuous Liquid Interface Production), LOM (Laminated Object Manufacturing), DOD (Drop on Demand), NPJ (Nano Particle Jetting), LENS (Laser Engineering Net Shape), EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing), UDM (Ultrasonic Deposition Modelling), ADAM (Atomic Diffusion Additive Manufacturing), APD (Augmented Polymer Deposition).

- **Extrusió de material (FDM):** El filament fos es dispensa selectivament, capa a capa, a través d'una boquilla u orifici. És el tipus d'impressora 3D predominant en el mercat.

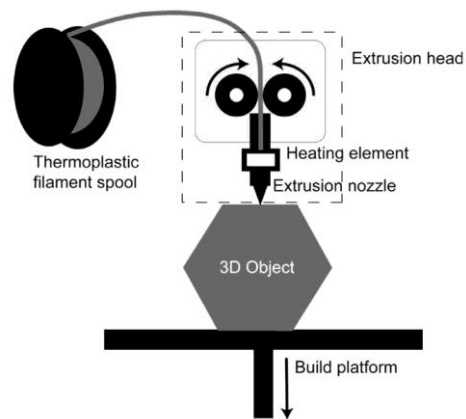


Figura 4.4.11. Esquema de funcionament d'una impressora FDM

Un dels defectes més comuns en el FDM és el *warping*, on el material es contrau per refredament i les cantonades s'aixequen i desenganxen de la placa d'impressió. Per a evitar-ho, cal utilitzar una placa calefactada (heat build plate) com a base d'impressió. [76]

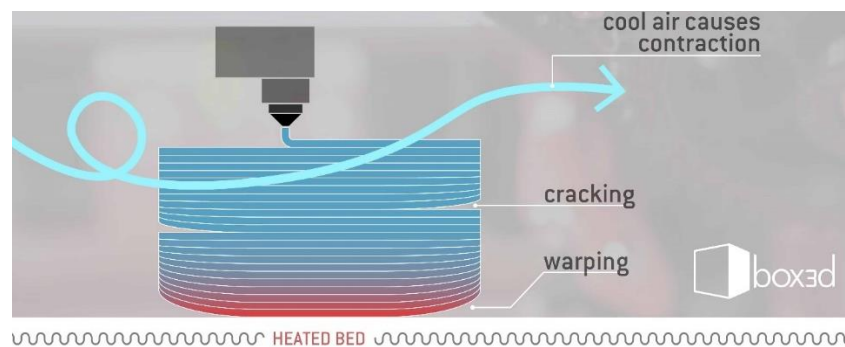


Figura 4.4.12. Representació dels efectes warping i cracking en les capes d'impressió

- **Esterolitografia (SLA i DLP):** utilitzen una font de llum UV per curar (solifidicar) resina líquida capa a capa. SLA utilitza un làser d'un sol punt per curar la resina, mentre que DLP utilitza un projector de llum digital per curar cada capa alhora.

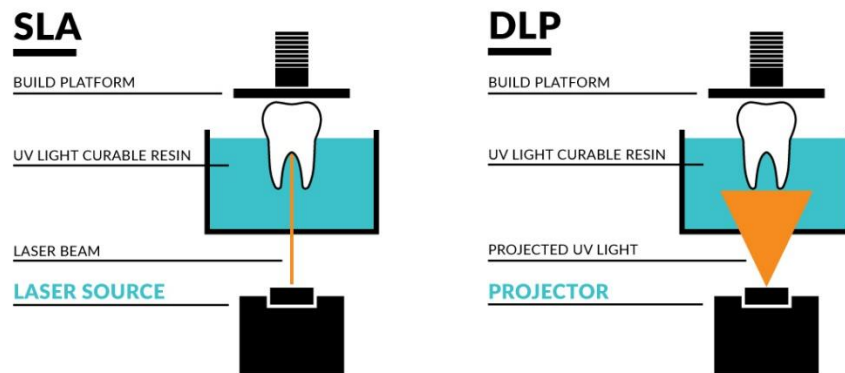


Figura 4.4.13. Diferència d'aportació d'energia entre SLA i DLP

- **Fusió de llit en pols (SLS i MJF):** Un làser sinteritza selectivament les partícules de pols de polímer (normalment Nylon), fusionant-les juntes i construint una part capa per capa. Cal diferenciar la sinterització de la fundició (*melting*), ja que en la sinterització es manté la forma dels grans, tal i com mostra la imatge:

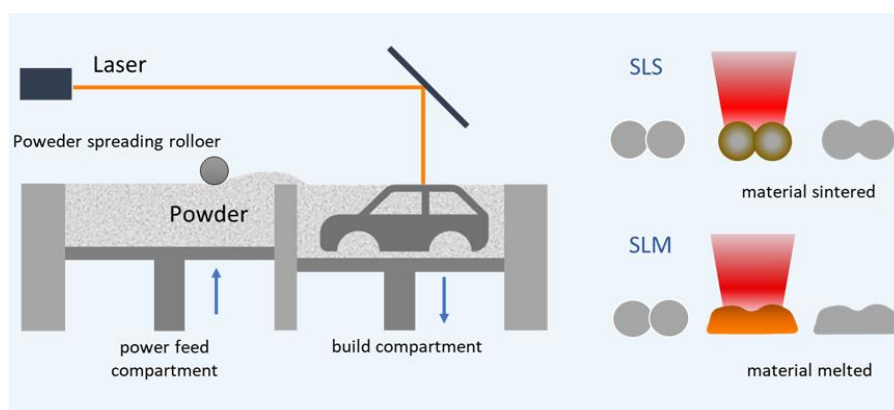


Figura 4.4.14. Diferència entre sinteritzar i fondre partícules de pols

La principal diferència entre MJF i SLS és la font de calor: SLS utilitza un làser per escanejar i sinteritzar cada secció transversal, mentre que en MJF es dispensa una tinta (agent de fusió) que absorbeix la llum d'una làmpara infraroja i fusiona aquestes zones.

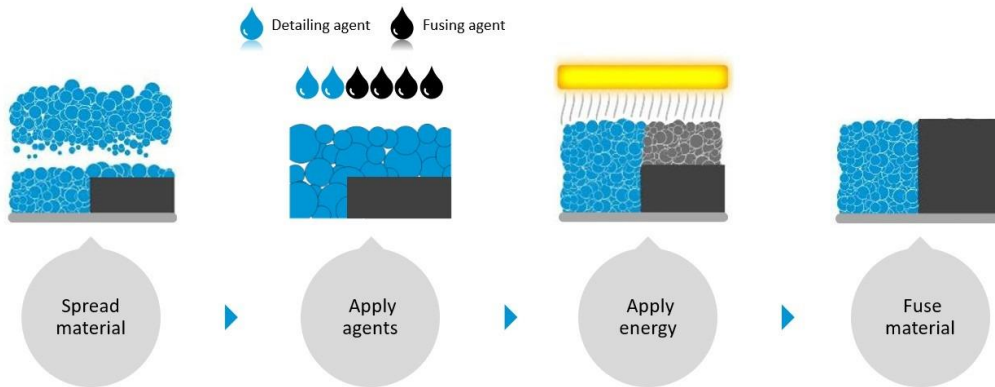


Figura 4.4.15. Passos de la impressió per MJF

- **Material Jetting (MJ):** un capçal d'impressió dispensa gotetes d'un material fotosensible que es solidifica sota llum ultravioleta (construint una part capa per capa).

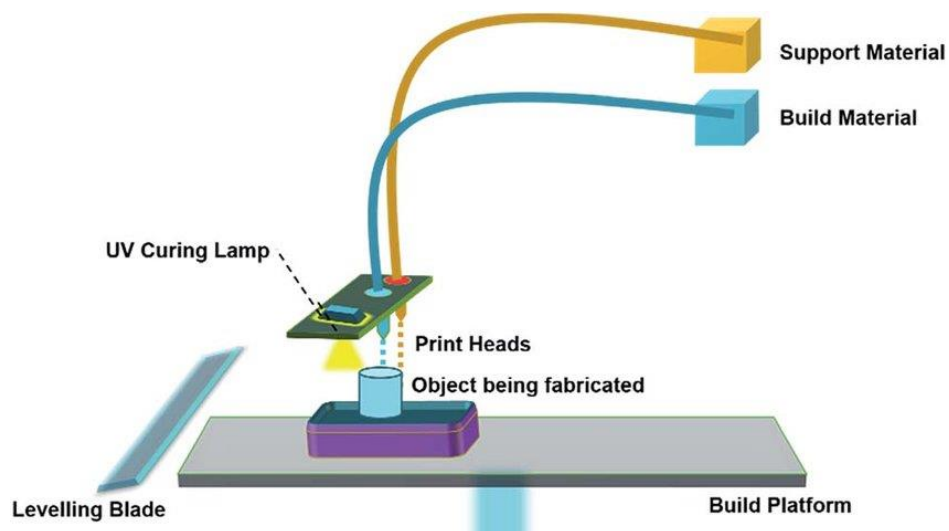


Figura 4.4.16. Aportació de materials en la impressió MJ

- **Binder Jetting (BJ)**: un aglomerant (binder) es diposita selectivament al llit en pols, unint aquestes àrees per formar una part sòlida d'una capa a la vegada.

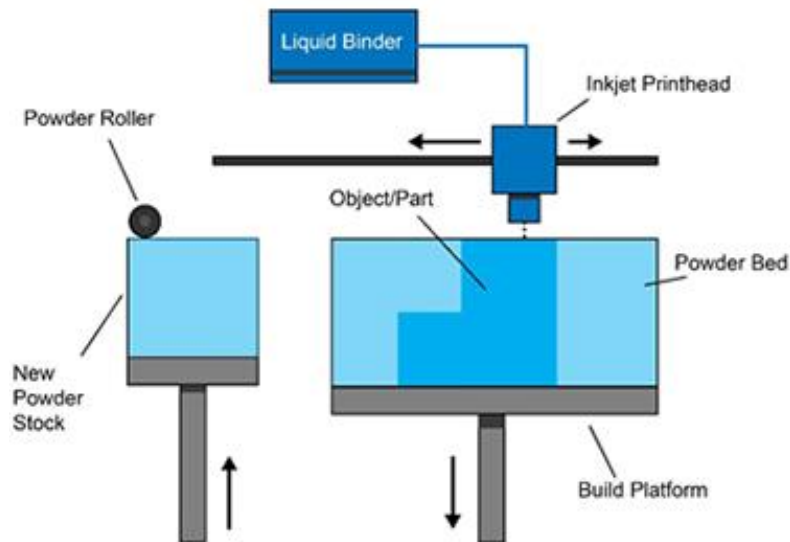


Figura 4.4.17. Esquema de funcionament d'una impressora Binder Jetting

4.4.4. Elecció de la tècnica d'impressió 3D òptima

Cada procés parteix de matèries primeres en diferents estats (plàstics en filaments, líquids o en pols) i genera peces amb propietats mecàniques, la qual cosa els fa adequats per aplicacions diferents. Per sort, existeixen un seguit d'esquemes i pautes que serveixen d'ajuda als dissenyadors per triar la tecnologia que millor s'adapta a les especificacions que es busquen [77][78]:

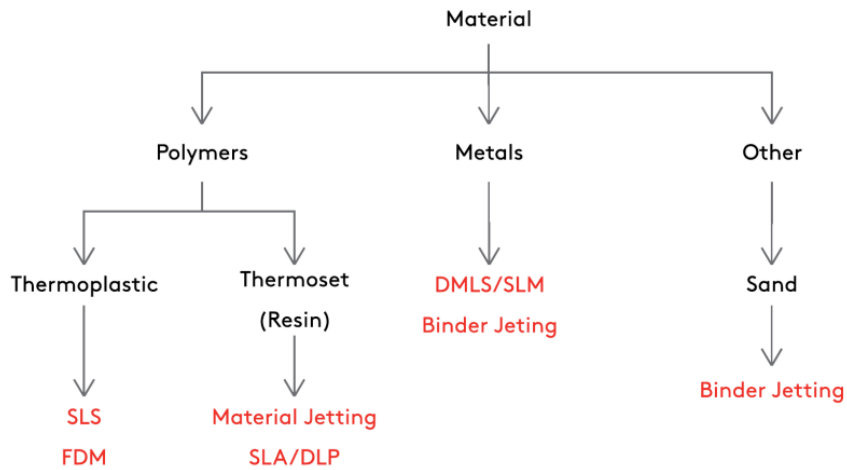


Figura 4.4.18. Elecció de tecnologies d'impressió 3D segons el material a imprimir

S'escull com a tipus de material els polímers **termoplàstics** per ser un material econòmic i altament disponible, a més de tenir les propietats mecàniques suficients per aquesta aplicació. Fabricar dits de pinces metàl·lics per manipular juntes de goma seria una solució cara i amb propietats mecàniques sobredimensionades.

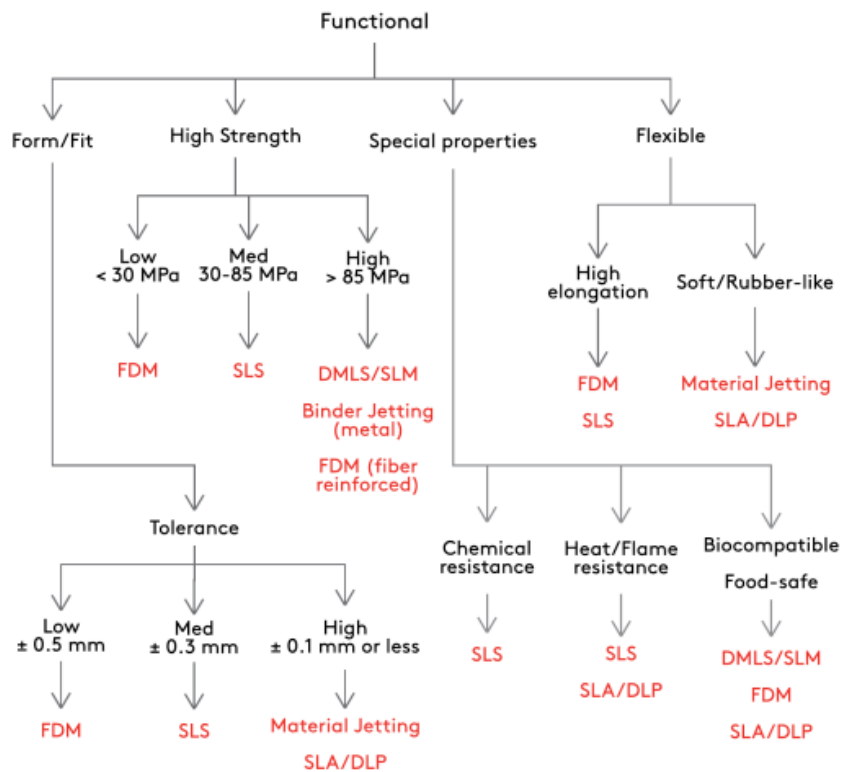


Figura 4.4.19. Elecció de tecnologies 3D segons les propietats funcionals

Les funcionalitats que es busquen són baixa força (no aixecarà molt de pes), resistència a químics i el desgast, i rigidesa estructural per no deformar-se. Per tant, el FDM i el SLS són les tecnologies més adequades. El SLA/DLP es descarten per aquest motiu, ja que per manipular juntes toves, les pinces han de ser rígides o no les podran agafar amb fermesa.

	Gruix típic de la capa
FDM	50 - 400 μm (most common: 200 μm)
SLA/DLP	25 - 100 μm (most common: 50 μm)
SLS	80 - 120 μm (most common: 100 μm)
Material Jetting	16 - 30 μm (most common: 16 μm)
Binder Jetting	100 μm
DMLS/SLM	30 - 50 μm

Figura 4.4.20. Tecnologies 3D segons el gruix de capa aconseguit

Un gruix menor de les capes permet tenir un acabat més uniforme. Tot i que l'aspecte visual no és el més important en un utilatge, es podran imprimir millor detalls petits i formes complexes, com per exemple per generar textures a la superfície dels dits per augmentar la adherència amb la peça. En aquest aspecte, el SLS té major precisió dimensional i millor acabat.

	Precisió dimensional	Volum d'impressió	Suport
FDM	$\pm 0.5\%$ (límit inferior ± 0.5 mm) - escriptori $\pm 0.15\%$ (límit inferior ± 0.2 mm) - industrial	200 x 200 x 200 mm per a impressores de sobretaula. Fins a 900 x 600 x 900 mm per a impressores industrials	No sempre és necessari (material soluble)
SLA/DLP	$\pm 0,5\%$ (límit inferior: $\pm 0,10$ mm) - escriptori $\pm 0,15\%$ (límit inferior $\pm 0,05$ mm) - industrial	145 x 145 x 175 mm per a impressores de sobretaula. Fins a 1500 x 750 x 500 mm per a impressores industrials	Sempre necessari
SLS	$\pm 0.3\%$ (límit inferior: ± 0.3 mm)	300 x 300 x 300 mm (fins a 750 x 550 x 550 mm)	No és necessari
Material Jetting	$\pm 0,1\%$ (límit inferior de $\pm 0,05$ mm)	380 x 250 x 200 mm (fins a 1000 x 800 x 500 mm)	Sempre necessari
Binder Jetting	$\pm 0,2$ mm ($\pm 0,3$ mm per a la impressió de sorra)	400 x 250 x 250 mm (fins a 1800 x 1000 x 700 mm)	No és necessari
DMLS/SLM	± 0.1 mm	250 x 150 x 150 mm (fins a 500 x 280 x 360 mm)	Sempre necessari

Figura 4.4.21. Necessitat de suports en diferents tecnologies d'impressió

És important tenir en compte la necessitat de suports, ja que caldrà un operari que els retiri un cop es fabriquin les pinces. En aquest aspecte, el SLS no en necessiten, mentre que el SLA/DLP sí. Per a peces de geometries complexes i voladissos, el FDM en necessiten.

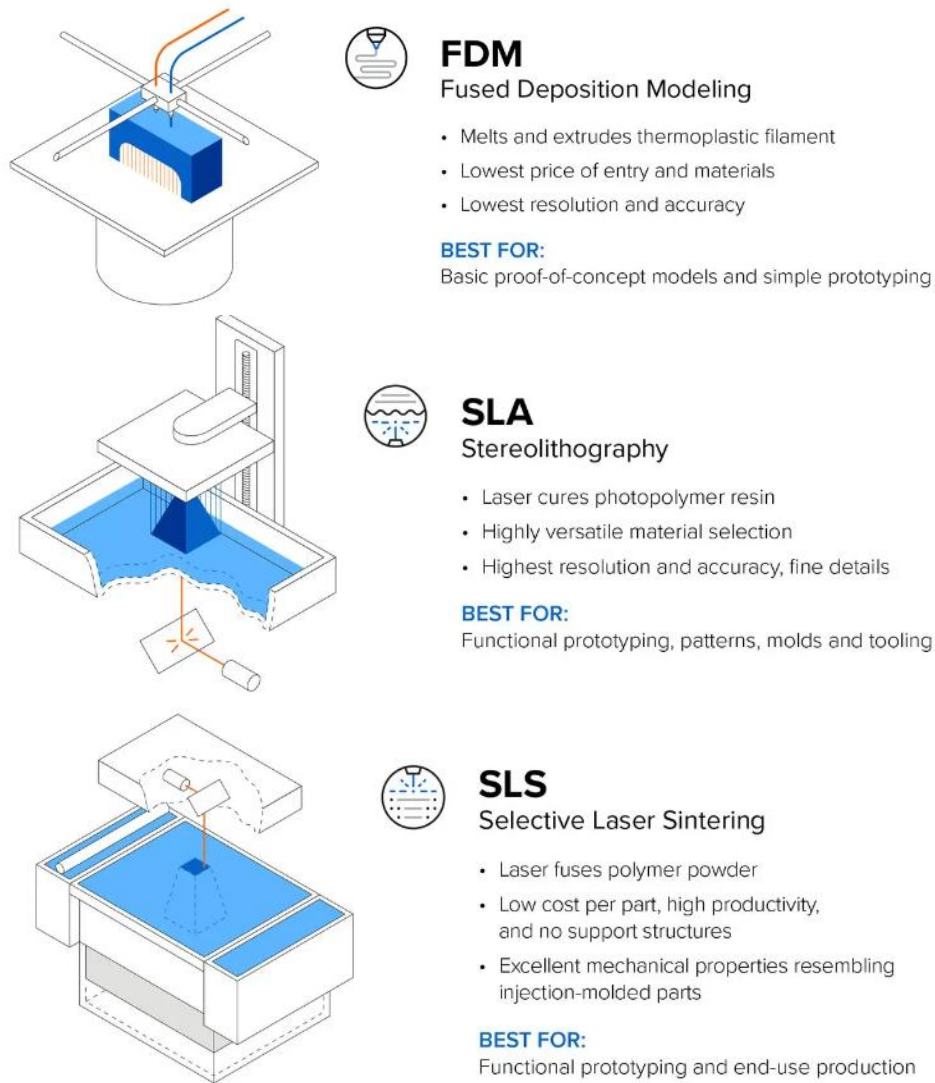


Figura 4.4.24. Aplicacions òptimes de les tecnologies FDM, SLS i SLA

Com es pretén crear prototips funcionals i utilatges que s'acabin implementant en la producció, el SLS resulta millor per l'aplicació d'aquest projecte. [79]

Conclusió final: filaments de PC per a impressió FDM o Nylon PA11 en pols per a SLS. En cas de desenvolupar-se en ambients humits, filament de PETG per a FDM.

4.4.5. Principis de la fabricació additiva a aplicar en el *gripper* a dissenyar

Aprofitant que es poden fabricar formes complexes sense un cost tècnic afegit, la fabricació additiva implementa tècniques per optimitzar l'ús de material útil:

- **Latticing:** les estructures reticulades (*lattice structure*) són patrons repetits que omplen un volum o una superfície. Fabricar una peça amb aquestes estructures permet reduir la massa de la peça i obtenir major resistència a esforços en determinades direccions.

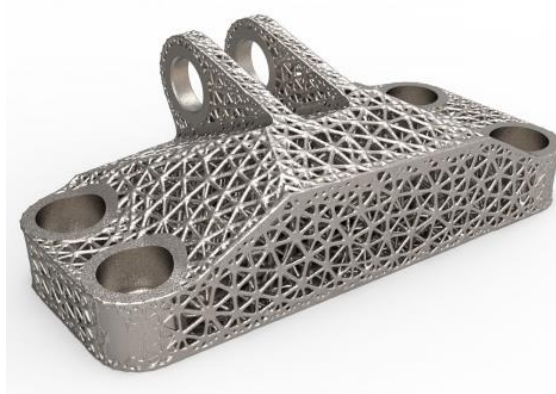


Figura 4.4.25. Peça impresa en 3D amb estructura lattice

- **Optimització topològica.** El seu principal objectiu és alleugerir l'estructura i alhora conservar les propietats mecàniques, ja que s'elimina el material que menys contribueixi a resistir els esforços.



Figura 4.4.26. Evolució de la forma de la peça per optimització topològica

- **Acabats en relleu:** Per augmentar la rugositat de les pinces, a l'hora de dissenyar les cares en contacte amb les peces, s'hi poden afegir relleus de formes geomètriques. Un exemple de les geometries que es poden posar seria els tetraedres de les espumes acústiques que es penjen a les parets. Les puntes de les piràmides poden ser punxegudes o arrodonides. Per tal de minimitzar el desgast, convé fer el relleu amb puntes arrodonides.

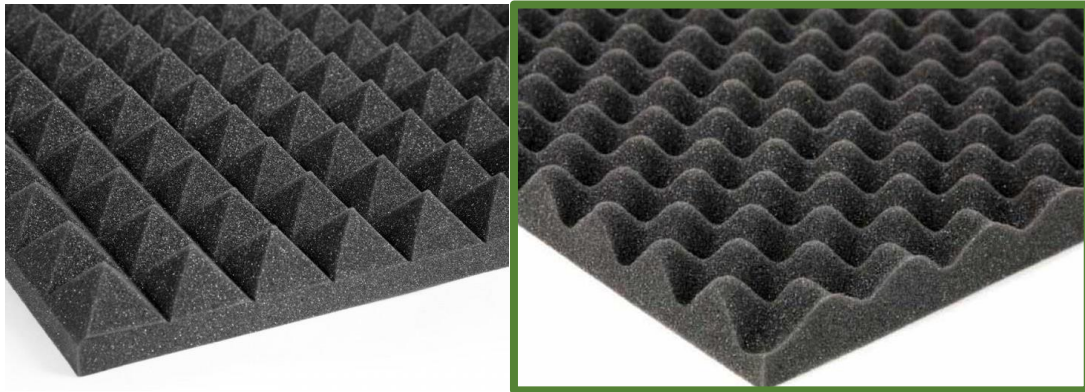


Figura 4.4.27. Elecció de l'acabat en relleu més adequat

El patró pot ser unidireccional o bidireccional. Per tal d'assegurar que la junta no llisqui cap avall, un relleu horitzontal es centra més en frenar aquest moviment, mentre que el relleu bidireccional és menys selectiu a l'hora de generar fricció.

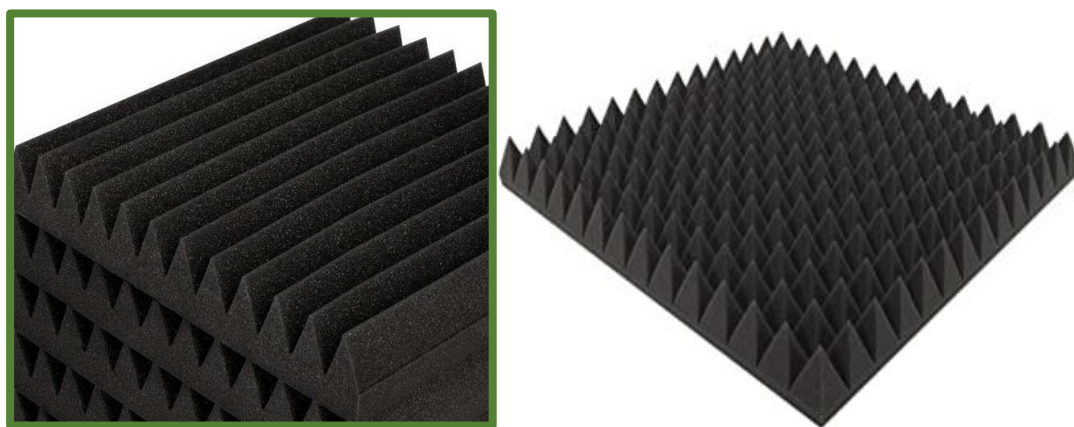


Figura 4.4.28. Elecció del patró més adequat del relleu

Directius de disseny per a la impressió 3D

Alguns consells que ajudaran a adaptar el disseny de la peça a la impressió 3D són:

- Utilitzi transicions graduals en els canvis de superfície
- Asseguri's de no tenir diferències significatives en la secció transversal i el volum de la peça.
- Opti per cantonades més arrodonides, ja que les cantonades esmolades poden crear tensions residuals en la peça i concentracions d'esforços
- Eviti el vinclament (*warping*) eliminant les parets primes i sense suport, especialment si són innecessàriament altes.
- Aplani els angles poc profunds de les superfícies per a evitar l'escalonament (*stair-stepping*).
- Realitzi l'anàlisi de fabricabilitat al més aviat possible per basar el disseny en els resultats
- Eviti sobredimensionar les peces, ja que això condueix a la impressió amb capes més fines i requisits addicionals de mecanitzat secundari.

Cal tenir en compte que una mateixa regla de disseny no és aplicable a totes les tecnologies d'impressió 3D: per exemple, tecnologies com a FDM i SLA utilitzen estructures de suport, mentre que d'altres no. Les característiques d'enginyeria, com el gruix de les parets, els forats i els límits de tolerància, també han de dissenyar-se de manera diferent per a les diferents tecnologies. Per aquest motiu, empreses com Xometry han creat guies generals amb especificacions tècniques per a cada tecnologia de fabricació (es poden consultar als annexos).

5. Anàlisi de viabilitat

5.1. Viabilitat tècnica

5.1.1. Viabilitat del sistema de flexió de peces per a la detecció de micro-esquerdes

Com s'ha pogut veure en l'apartat 4.1, cal combinar diferents tecnologies i maneres d'agafar les juntes per observar totes les zones que poden tenir micro-esquerdes. A mode de disseny visual, es plasmen en aquest dibuix totes les configuracions que caldria dissenyar per a comprovar una sola peça:

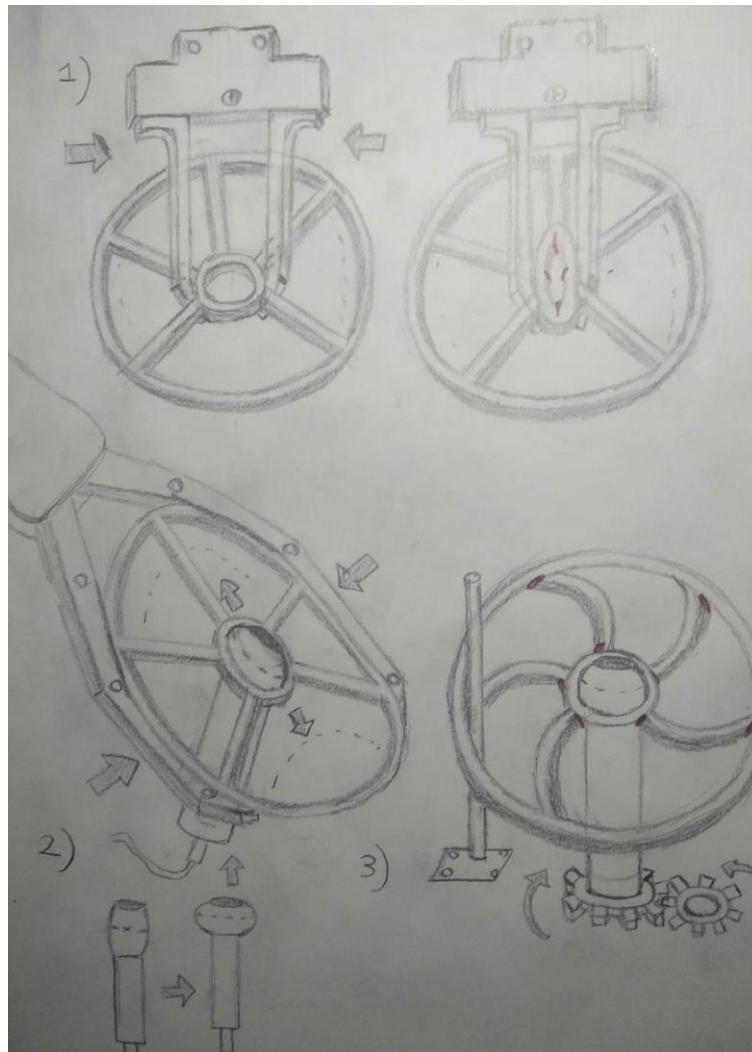


Figura 5.1.1. Sistemes per flexionar l'aro intern (1), flexionar la junta sencera (2) i torsionar els radis (3). Font pròpia

Com es pot observar, la implementació tècnica de totes aquestes configuracions és desafiant, i no es poden executar simultàniament: per la manera de subjectar la peça, primer caldria realitzar la configuració 1 en una primera etapa, i després la 2 i la 3, aprofitant que en ambdós casos es subjecta pel centre amb una pinça expansiva. Aquest canvi en la manera de subjectar la peça, i el fet de requerir de múltiples configuracions per observar totes les esquerdes, generen una llarga llista d'accions que augmenten molt el temps de cicle d'aquesta etapa de detecció de defectes. Per si fos poc, és una avaluació peça per peça en una línia de producció que genera moltes juntes diàries, de manera que és inviable a nivell productiu.

A nivell productiu, la millor solució serien els corrons, ja que permeten un flux continu de matèria i no caldria avaluar les juntes una per una. L'inconvenient seria que les observa des d'una vista única: pot captar amb una càmera lineal les esquerdes per flexió completa de la junta (1), però se li poden escapar les esquerdes de l'aro intern (2) i dels radis (3), que **són les que apareixen amb major freqüència.**

A més, hi ha el problema de mantenir les juntes adherides en tot moment en la superfície dels corrons, i una goma amb aquesta geometria no té tanta solidesa estructural com per mantenir la seva forma si es volgués passar per múltiples corrons, ja que es cargolaria sobre si mateixa per la seva elasticitat.



Figura 5.1.2. Configuració de múltiples corrons per a la flexió de juntes

Analitzant tots aquests punts, el millor és relegar l'etapa de detecció de micro-esquerdes a un operari. Els éssers humans poden flexionar, rotar i torsionar les peces de totes les maneres que s'han analitzat en aquest projecte en poc temps, sense necessitat d'afegir temps d'espera per canviar la manera d'agafar les juntes. A més, és complicat que generin la força suficient com per trencar juntes sense defectes, mentre que els robots en una malfunció sí poden.

En les tres etapes anteriors (juntres trencades, deformades i amb rebaves excessives), la detecció de defectes serà automàtica a través de càmeres de visió artificial, i les peces defectuoses es retiraran pel sistema de separació de peces més idoni.

5.1.2. Viabilitat dels sistemes de separació de peces

Els *conveyor pushers* són útils per separar de la línia de producció caixes o productes d'una certa grandària que es transportin en files d'un sol element, i com cal esperar a que faci el recorregut complet i torni a la posició de repòs per emputxar la següent peça, no és apte per a línies ràpides. Per tant, no és viable en una línia amb un flux ràpid de juntes petites i distribuïdes de manera no uniforme en la cinta. En el moment que s'estiri per emputxar una peça, s'emporta les que es troben a la mateixa alçada i bloqueja les que venen després.

Com s'ha vist en les arquitectures de robots, el millor sistema és un robot Pick & Place, concretament robots SCARA per la seva velocitat i repetibilitat, i pel fet que no necessiten un sostre per instal·lar-se com els Delta. El que cal comprovar és que tinguin un rang de moviment suficientment ampli com per cobrir tot l'ample de la cinta transportadora, tot i que a major extensió del braç, major temps de recorregut tindrà. Hi ha braços SCARA que totalment estirats tenen un rang de 1100-1200 mm, i les cintes transportadores poden anar dels 400 a més de 2000 mm d'ample. El més còmode a nivell d'instal·lació és un robot SCARA al lateral de la cinta però en cas de tenir una cinta molt ample, caldrà optar per un SCARA muntat a sobre de la cinta per no estirar en excés el braç. Si està situat al centre, el seu abast es duplicarà, ja que podrà agafar juntes dels dos extrems de la cinta.

5.1.3. Viabilitat del *gripper*

Ventoses

Per a que les ventoses tinguin una bona succió, cal que la superfície de contacte sigui plana i no hi quedin buits per on es pugui escapar aire. La forma de la junta estrellada fa que sigui una opció poc viable per dos motius:

- La junta selectora té forats al centre i entre els radis, de manera que una ventosa de diàmetre similar a la junta no serà capaç de mantenir la succió correctament. El mateix passa amb un *gripper* de succió de goma-espuma.
- El gruix de la goma és tan reduït que s'haurien d'utilitzar mini-ventoses de 4.5 mm de diàmetre o menor per subjectar la junta des de diversos punts:

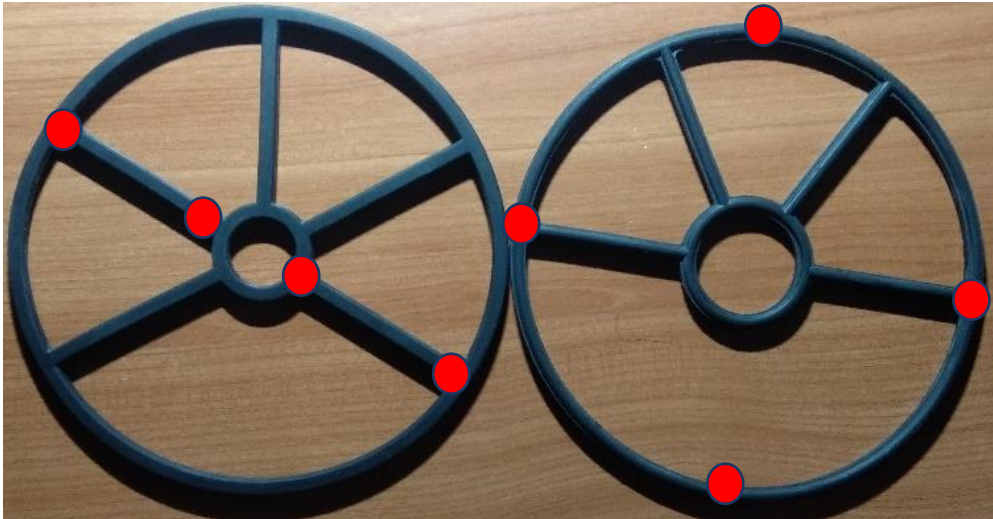


Figura 5.1.3. Punts de subjecció de les juntes estrellades per mini-ventoses. Font pròpia

Si bé existeixen ventoses de 4.5 mm o menys al mercat i per un preu bastant assequible (6-10€ per ventosa), el robot amb càmera de visió artificial no només ha d'agafar una junta defectuosa en moviment amb precisió, sinó que ha d'alinear les ventoses per agafar la junta pels punts adequats. Aquesta tasca complexa suposa una càrrega computacional tan elevada que el controlador pot no ser capaç de dur-la a terme en el temps exigít.

Diametro	Material y dureza	Hilo conector
2 - Φ 2mm 20 - Φ 20mm	N - NBR	Nil - Ventosa Sola
4 - Φ 4mm 25 - Φ 25mm	S - Silicona	M5M - Hilo Macho
6 - Φ 6mm 30 - Φ 30mm	WS - Silicona Blanca	G1F - G1/8 Hilo Hembra
8 - Φ 8mm 40 - Φ 40mm	CS - Silicona Conductiva	G1M - G1/8 Hilo Macho
10 - Φ 10mm 50 - Φ 50mm		G2F - G1/4 Hilo Hembra
15 - Φ 15mm 80 - Φ 80mm		G2M - G1/4 Hilo Macho

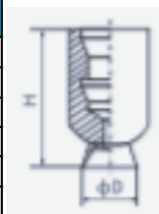


Figura 5.1.4. Ventoses Airbest sèrie SU [80]

Modelo	Diám. de ventosa	Forma de ventosa aplicable				Conexión/Diámetro rosca	
		Plana (U)	Plana con nervios (C)	Cóncava (D)	Fuelles (B)	Rosca macho	Rosca hembra
ZPT02□□-□	2	●	—	—	—	M5	M4
ZPT04□□-□	4	●	—	—	—		
ZPT06□□-□	6	●	—	—	●	M6	M5
ZPT08□□-□	8	●	—	—	●		


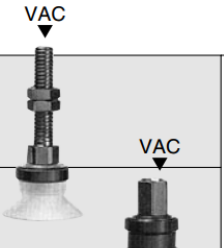
 Pág. 4-174 a Pág. 4-199 Serie ZPT Conexión vertical	Ent. conex. alim.	Montaje			
	Rosca macho	(Común)		VAC	
	Rosca hembra	(Común)			VAC

Figura 5.1.5. Ventoses SMC sèrie ZPT [81]

Pinces

Les pinces són una solució que permet agafar de forma senzilla i ferma les juntes, especialment si s’agafen pel centre, amb un dit a cada cavitat entre radis. El que caldrà comprovar és que els dits facin menys de 10 mm d’ample per a que hi càpiguen entre radis, i que el material de les pinces tinguin propietats anti-lliscants. La subjecció serà més ferma si es subjecta entre forats oposats, tal i com es mostra en la figura següent:

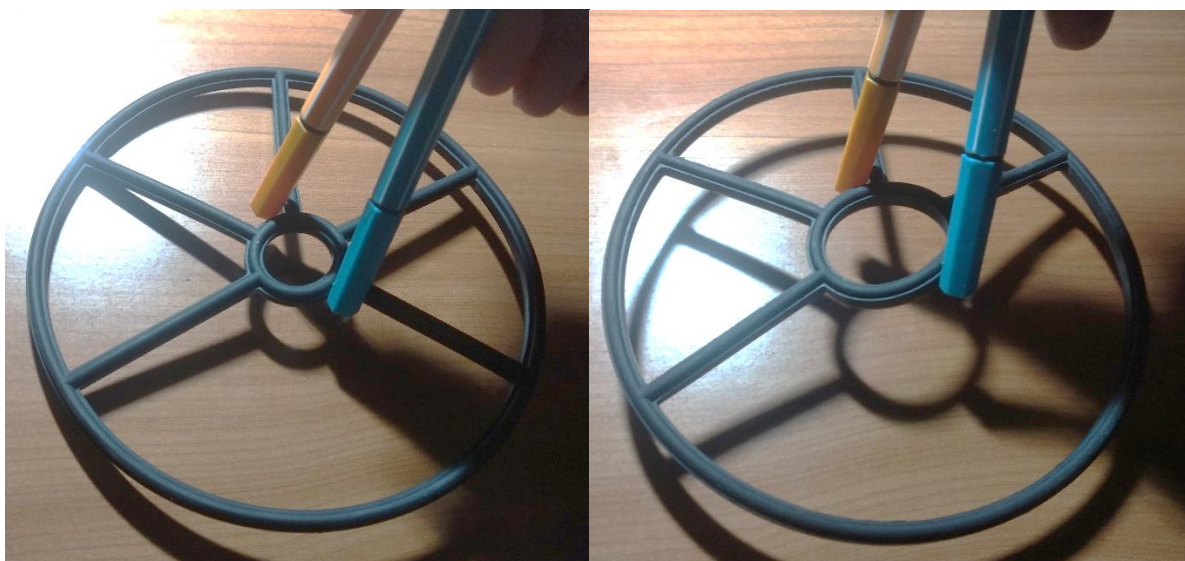


Figura 5.1.6. Posició dels dits de les pinces en juntes de 4 i 5 radis. Font pròpia

Pel que fa al sistema d'accionament, les pinces hidràuliques serien una solució massa cara i sobre-dimensionada per subjectar juntes de goma de pocs grams de pes. La qüestió és triar entre pinces pneumàtiques i servo-elèctriques, que són solucions lleugeres, flexibles i compactes.

El factor determinant que permet fer la elecció és el nombre de cicles d'obertura-tancat que ha de fer en un dia de treball. Ja que es fabriquen moltes juntes de goma, la pinça ha de ser capaç de suportar molts cicles de treball i tenir un temps de cicle reduït. Tot i que les pinces pneumàtiques i elèctriques tenen una vida útil similar (20-30 milions de cicles), cal tenir en compte el manteniment de la instal·lació d'aire comprimit (tubs, bombes).

Per aquests motius, es considera com a millor opció les pinces elèctriques, que no requereixen d'instal·lacions d'aire comprimit (per tant, el manteniment necessari és menor) i es pot controlar a la perfecció el percentatge d'obertura de la pinça.

5.1.4. Compatibilitat gripper – robot

SCARA. Per tal d'acomodar la pinça a l'eix z, cal incorporar plats adaptadors, ja siguin estàndards o de disseny personalitzat. A més, cal tenir en compte que la pinça elèctrica pesa al voltant de 1kg, i el robot SCARA ha de poder moure aquest pes amb facilitat. Aquest paràmetre es compara amb el *payload* (capacitat de càrrega) del robot.



Figura 5.1.7. Muntatge de la pinça paral·lela en un robot SCARA

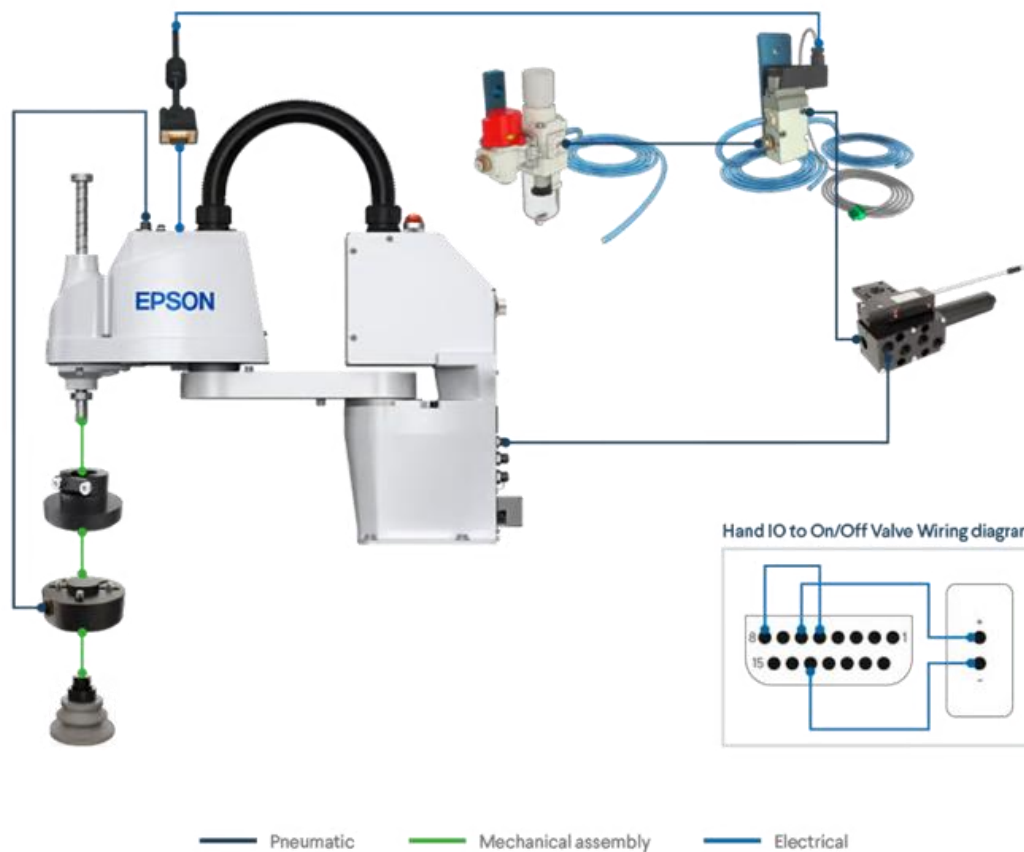


Figura 5.1.8. Diagrama de connexions d'un robot SCARA amb gripper

L'eix vertical z del robot SCARA baixa i gira alhora, la qual cosa permet alinear els dits del *gripper* amb els radis de la junta.⁷

DELTA. Encara que al final s'esculli el robot SCARA, és bo saber que els robots DELTA també admeten un *gripper* de pinces enlloc de ventoses com a EOAT (End Of Arm Tooling). Només cal col·locar un plat adaptador a la base de les 4 extremitats.

⁷ Vídeo demostratiu del seu funcionament: <https://www.youtube.com/watch?v=TTcqcxBRSL4>

5.1.5. Viabilitat de la línia de producció

El disseny del sistema de detecció de defectes per fases permet classificar adequadament les peces en funció del defecte que presenten, però com es veurà en simulacions a la memòria d'electrònica, si es vol implementar una estació de treball per fase, es formaran colls d'ampolla i cues de material en espera. Sense mencionar que la quantitat de màquines que es requeriria suposen un gran cost i volum ocupat de planta.

Aprofitant el fet que la càmera de visió artificial és capaç d'analitzar simultàniament múltiples característiques i defectes en una sola peça, es pot reduir el nombre d'estacions. Per tant, enlloc de tenir una estació per defecte, cadascuna amb un braç robòtic i càmera inclosos, es plantegen dues estacions principals en funció de la gravetat dels defectes:

- **Detecció de defectes greus:** ja sigui perquè la goma esta trencada o deformada, o perquè presenta micro-esquerdes grans i clarament visibles, les juntes queden inservibles. Per tant, s'envien directament a la zona de gestió de residus.
- **Detecció de defectes recuperables:** es tracta de juntes amb rebaves excessives, que s'envien a la zona de retallat manual, i de micro-esquerdes petites, que s'envien a l'estació d'avaluació assistida d'esquerdes.

Això sí, per a que la inspecció de defectes sigui controlada i la càmera tingui temps d'identificar els defectes, les juntes hauran d'anar d'una en una. Només seria justificable fer que entrin desordenades en cas que el volum de peces fos molt més gran, per la qual cosa caldria afegir més robots SCARA per ajustar-se al ritme de treball.

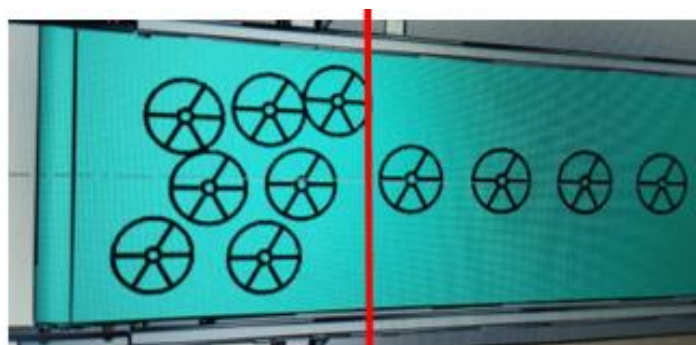


Figura 5.1.9. Transport desordenat vs ordenat de juntes en cintes transportadores. Font

Pròpia

5.1.6. Viabilitat de la tecnologia de fabricació del gripper

Pel que fa l'utilatge per subjectar les juntes a retirar (*gripper*), la impressió 3D és una tecnologia que permet fabricar recanvis des de la pròpia empresa i amb una major senzillesa tècnica que els processos de conformació tradicionals, especialment quan tenen formes complexes. A més, cal afegir el fet que per modificar el seu disseny, en un procés de conformació caldria canviar els utillatges, dissenyar de nou les etapes de conformat i la disposició de la maquinària, mentre que en la impressió 3D només cal canviar el model 3D virtual. Això dona peu a la possibilitat d'estendre la detecció de defectes a una major varietat de productes en un futur.

Si la maquinària utilitzada en el procés productiu té peces estàndard, trobar recanvis no serà complicat, però existirà el problema de l'estoc de recanvis i la variabilitat de la demanda. Tot i així, el que té risc de convertir-se en inventari romanent que no es pugui aprofitar són els utillatges dissenyats específicament pel procés productiu d'aquestes juntes. Per tant, aquests utillatges són els que s'haurien de dissenyar en impressió 3D per tal de fabricar-los en qualsevol moment (*JIT, Just in Time*) i així no tenir problemes d'emmagatzematge de recanvis, tal i com s'ha exposat a l'apartat 4.4.

Hi ha dos tipus de recanvis: recanvis per a productes que l'empresa ven, i recanvis d'utillatges del sistema productiu. Aquest projecte s'enfoca en la segona opció, i tot i que el desgast derivat de la producció pot requerir d'un alt nombre de recanvis d'utillatges, és significativament menor que en la primera opció.

Tal i com es veu la Figura 5.1.9, els processos de conformació (injecció de plàstic) tenen una inversió inicial elevada del motlle, però acaben tenint una gran rentabilitat econòmica per elevats lots de producció. En canvi, la fabricació additiva té un rendiment superior en lots de fabricació petits i complexitat elevada, que s'adequa més a la situació d'aquest projecte.

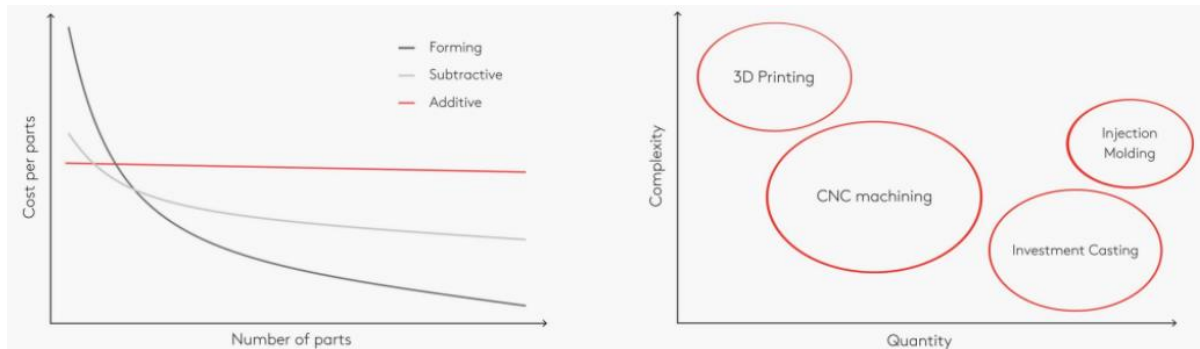


Figura 5.1.9. Selecció del sistema productiu de recanvis més adequat

Pinces fabricades amb Impressió 3D:

- Possibilitat d'expandir el ventall de productes
- Temps de fabricació de recanvis mínims
- Es poden fabricar amb una màquina d'impressió 3D de l'empresa
- L'emmagatzematge de recanvis és mínim o nul

Pinces fabricades per processos de conformat

- Major resistència i durabilitat
- Fabricació a mida per una línia de productes
- Cal subcontractar la fabricació dels recanvis (major temps i cost)
- Cal gestionar l'emmagatzematge de recanvis

Comparant aquests punts, surt més a compte fabricar les pinces amb impressió 3D.

Velocitat impressió

Hi ha molts factors que poden influir en la velocitat d'impressió (mida i complexitat de l'objecte a imprimir, material utilitzat, resolució i quantitat de capes, accions de preparació i post-processat, etc). En les impressores industrials actuals, la diferència de velocitat entre FDM, SLA i SLS no és un factor diferencial, però les propietats de les peces obtingudes i el temps de post-processat (per exemple, el curat de la resina pot durar 24h) sí ho són.

En tot cas, una peça de la mida de les pinces es pot fabricar i refredar en poques hores, de manera que si es té la impressora 3D a l'empresa, es pot disposar de recanvis pel mateix dia, de manera que els magatzems no s'omplen excessivament de recanvis. [82]

Tecnologia d'impressió

A nivell tècnic, la tecnologia SLS presenta avantatges front a la FDM: no presenta els freqüents problemes de *warping* del FDM, l'augment de velocitat d'impressió no compromet la resolució (en el FDM farà capes gruixudes si es vol anar més ràpid, compromentent la resolució i acabat), el post-processat és molt ràpid (retirar el pols sobrant del SLS requereix menys temps que retirar estructures de suport del FDM), i no requereix de cap tipus d'estructura de suport. Aquest últim punt s'alinea perfectament amb els principis de la fabricació additiva i optimització topològica, mentre que amb FDM seria difícil aconseguir resultats de qualitat i consistents per a geometries tant complexes. [83]

5.2. Viabilitat econòmica

5.2.1. Tecnologies de fabricació

FDM. Prototipar FDM és l'opció d'impressió 3D més rentable per a geometries de peces senzilles i sèries de producció més petites. Té el cost de material base més baix, encara que a mesura que les peces es fan més complexes, és possible que es necessitin estructures de suport addicionals, majors temps de post-processament i més intervenció humana, elevant el cost.

És important diferenciar entre FDM per a prototips (de sobretaula) i FDM industrial. L'FDM industrial utilitza màquines de gamma alta que poden imprimir materials de grau industrial amb alta resistència mecànica i a altes temperatures; per tant, és més cara que la de prototipat.

SLS. La tecnologia de fusió de llit de pols (SLS) sol tenir el cost total més baix per a geometries de peces complexes, lots de major volum i acabats de peces d'alta qualitat. Els costos del material base solen ser superiors als d'altres processos d'impressió 3D, però a canvi no es necessiten estructures de suport. A més, es poden reutilitzar els materials base, la qual cosa minimitza els residus. Tots dos factors tendeixen a reduir els costos totals de material.

Quant als costos d'equip, el SLS implica temps de preparació i manteniment més llargs entre lots per a manipular els materials en pols, però no requereix d'una fase de post-processament per retirar les estructures de suport com el SLA i FDM. [84]

Normalment, cadascuna de les tecnologies d'impressió 3D té etapes de post-processat per aconseguir acabats diferents, però com en aquest projecte es pretén fabricar utillatges dins la fàbrica, a nivell de temps i costos no és rentable tenir una màquina addicional per al post-processat (la única etapa de post-processat imprescindible seria la retirada d'estructures de suport, però la pot realitzar manualment un operari).

5.2.2. Material d'impressió



Figura 5.2.1. Filament de PC Premium Raise 3D Blanco, 60,49€/ 1 kg [85]

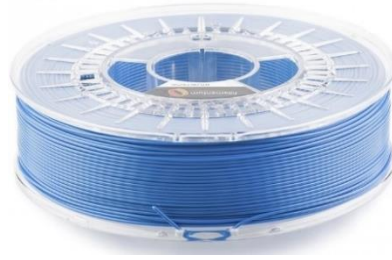


Figura 5.2.2. Filament de Nylon FX256 (PA12), 52€/ 750g [86]

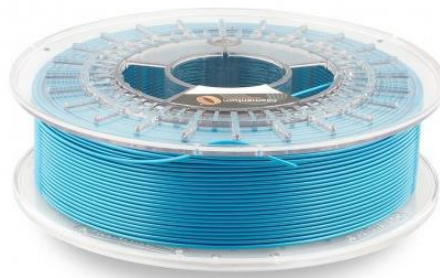


Figura 5.2.3. Filament de CPE PETG avançat, 35€/ 750g [87]

6 kg per 718€

6 kg per 699\$

10 kg per 883€



Figura 5.2.4. Pols de Nylon PA11 per a impressió SLS [88]

Comparant preus, resulta clar que els 100€/kg de Nylon en pols superen els filaments de FDM consultats.

Materials reforçats amb carboni

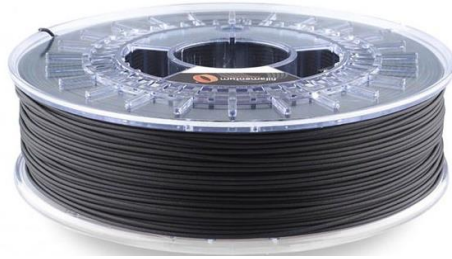


Figura 5.2.5. Filament de Nylon CF15 (Carbon-Filled), 54€/ 600g [89]



Figura 5.2.6. Filament de PETG Carbonfill, 37€/ 500g [90]

Si es comparen els preus entre la tecnologia FDM i SLS, la diferència de preu es fa evident:

- Impressora 3D: 5000€ per FDM VS 26000€ per SLS.
- Matèria prima: (60€ per 1kg de filament de PC, 52€ per 750g de Nylon PA12) VS 100€/kg de pols de Nylon PA11)

Com no es fabriquen un gran nombre de recanvis de pinces, la inversió en màquines requerida (cost fix) i en pols (cost variable) en el SLS serà molt més difícil d'amortitzar que en el FDM. Això sí, si es vol apostar per propostes de valor com la fabricació additiva i optimització topològica, que es poden implementar millor amb SLS, a la llarga pot ser rentable.

Com les propietats mecàniques requerides per manipular juntes de goma no són molt exigents, el cost addicional del PETG reforçat no compensa, però sí val la pena utilitzar Nylon 12 reforçat per l'augment de resistència a la humitat.

5.3. Viabilitat mediambiental

5.3.1. Emissions de la impressora 3D

Quan una impressora 3D funciona, emet fums que contenen dues categories de components: UFP i VOC. En qualsevol dels casos, s'ha d'evitar l'exposició a llarg termini:

- Les partícules ultrafines (UFP) tenen una mida inferior a 0.1 micres (escala nanomètrica), i poden causar inflamació a l'interior dels ulls i les zones nasals quan no es porta l'equip de seguretat adequat.
- Els compostos orgànics volàtils (VOC) inclouen una àmplia varietat de compostos emesos per determinats sòlids i líquids. Alguns d'ells no són nocius i tenen una olor dolça, mentre que uns altres poden tenir efectes negatius per a la salut a curt o llarg termini, segons un article de la EPA sobre la qualitat de l'aire en interiors.

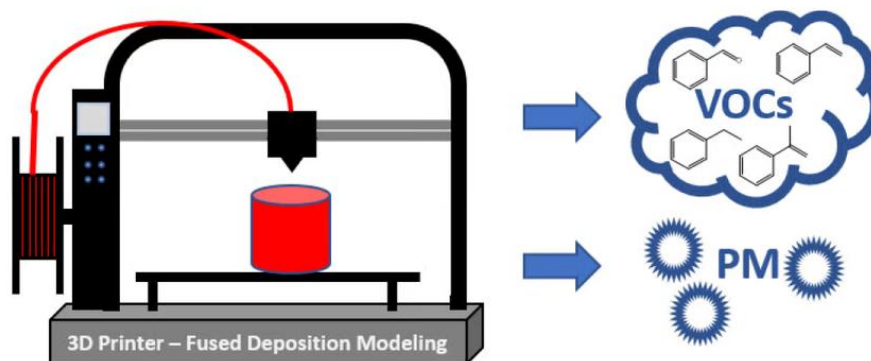


Figura 5.3.1. Emissió de VOC i UFP en les impressores FDM

Els fums de les impressores 3D que s'inhalen en els pulmons poden causar problemes respiratoris i altres problemes de salut. També poden irritar els ulls, i quan s'absorbeixen a través de la pell, poden augmentar el risc d'irritació cutània i altres problemes. Una llarga exposició pot fins i tot causar càncer. [91]

L'Agència de Protecció del Medi Ambient (EPA) d'Estats Units llista els possibles impactes deguts a una exposició a llarg termini a VOC i UFP [92]:

- **VOC:** Irritació en el nas, ulls i gola, mal de cap, nàusees, asma, esternuts i secreció nasal, marejos, fatiga, mal renal, pressió arterial elevada i fins i tot càncer.
- **UFP:** Inflamació pulmonar, volatilitat de la tensió arterial, cardiopaties, tos crònica, danys nerviosos i cerebrals, problemes digestius, diabetis, erupcions cutànies i càncer a vegades.

Per reduir l'exposició al fum en l'àrea de treball, és recomanable prendre les mesures següents:

Garantir una ventilació adequada: cal assegurar que la impressora 3D té una ventilació i circulació d'aire adequades per a minimitzar l'acumulació de fums. Obrir les finestres, utilitzar un ventilador per a fer circular l'aire o tenir un sistema d'extracció són bones pràctiques. Pels ventiladors es recomana utilitzar filtres d'aire de partícules d'alta eficiència (HEPA), que poden eliminar fins al 99,95% de les emissions de partícules. Però per tal de filtrar olors i VOC gasosos, cal incorporar a més un filtre de carbó actiu. Un exemple pràctic és el Ultimaker Air Manager, que gràcies al seu filtre EPA aconsegueix eliminar fins el 95% de UFP [93]:

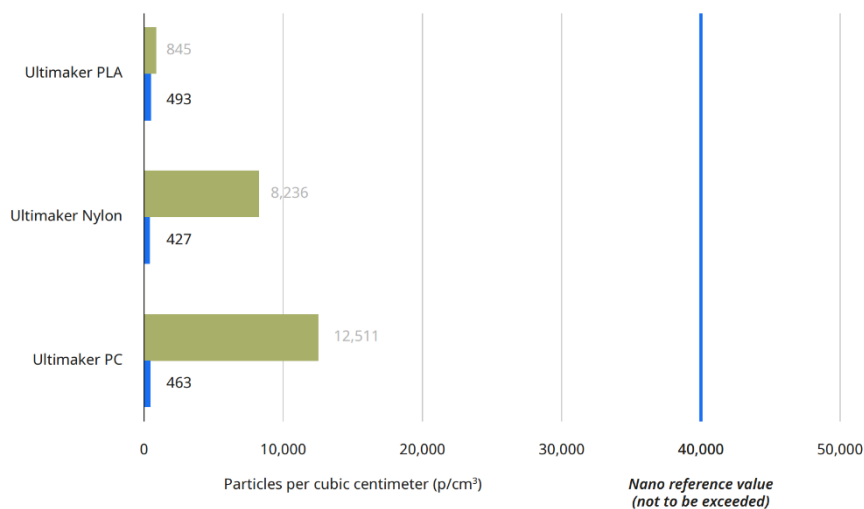


Figura 5.3.2. UPM emeses abans (verd) i després (blau) d'instal·lar el Ultimate Air Manager

Tamé resulta útil tenir purificadors d'aire amb APPs incorporades que mostrin en temps real les condicions de l'aire, augmentant el grau de digitalització de l'empresa:



Figura 5.3.3. Purificador d'aire amb aplicació mòbil incorporada

Utilitzar equip de protecció: si es treballa amb materials especialment olorosos com l'ABS, pot ser beneficiós usar una màscara respiratòria dissenyada per a la protecció contra fums i partícules. També convé utilitzar ulleres de seguretat per a protegir els ulls de les partícules que s'alliberen i guants per a protegir-se de les vores esmolades dels objectes impresos.

Utilitzar materials més segurs: alguns filaments com l'ABS produeixen molts fums tòxics i han d'evitar-se. Cal considerar altres materials que emetin menys gasos, com el **PETG**.

Netejar la impressora amb regularitat: així s'evita l'acumulació de pols i altres partícules que podrien quedar en l'aire durant les impressions, i es reduiran les olors desagradables.

Control de la temperatura: controlar i ajustar la temperatura de la impressora 3D pot reduir els fums que produeix el filament.

Recintes tancats (*enclosures*). L'Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball (NIOSH) recomana l'ús de recintes per a capturar els fums i que no s'espargin per la sala [94].



Figura 5.3.4. Enclosures per a impressores 3D

Les emissions es produeixen principalment en impressores FDM i SLA:

FDM

El factor d'emissió més important en la impressió FDM és el tipus de filament utilitzat. No existeixen estudis detallats que comparin una àmplia gamma de tipus i marques. La majoria s'han centrat en els tres materials d'impressió FDM més comunes: ABS, PLA i niló.

En general, l'ABS es caracteritza per ser un material d'altas emissions. A més de l'explosió inicial d'emissions, l'ABS produeix un nivell constant durant tot el procés d'impressió. Si l'ABS està dopat amb carboni, emetrà més gasos que l'ABS normal. D'altra banda, el PLA i el niló (Nylon) tenen una explosió inicial, però no produeixen emissions contínues. Per això, es consideren materials de baixes emissions. [91]

No només cal mirar la quantitat, sinó també quant nocives poden ser les substàncies emeses:

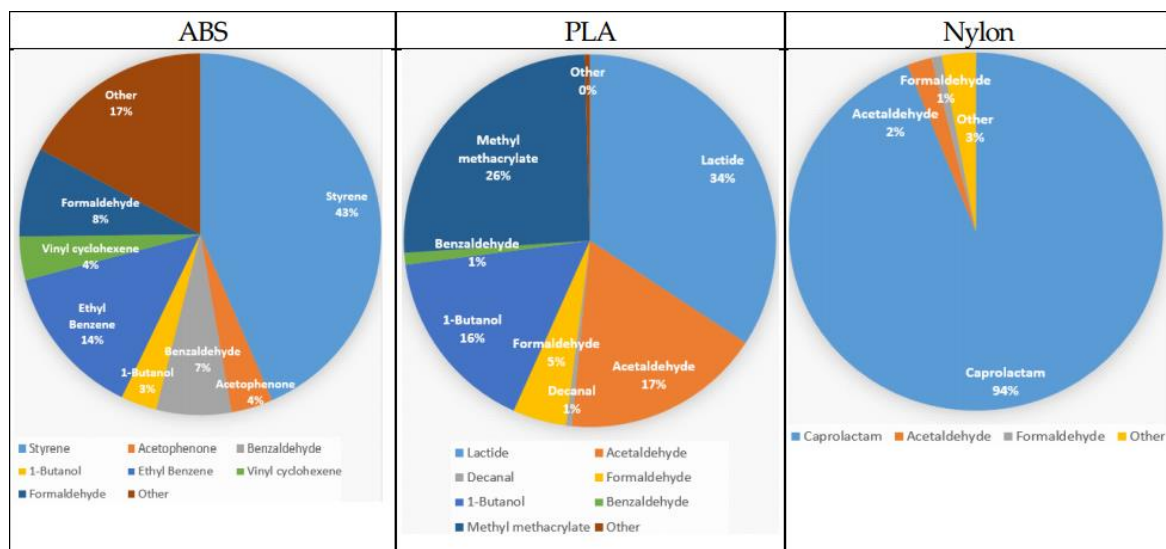


Figura 5.3.5. Substàncies químiques emeses per diferents materials en impressió 3D [95]

Pel que fa al Policarbonat (PC), la seva impressió produeix moltes UPS, fins i tot més que l'ABS, i Bisfenol A (BPA), una substància tòxica i nociva si es supera la quantitat permesa. Per tal de solucionar-ho, s'ha desenvolupat bioPC, una variant sense BPA. [96]

A continuació, es mostren els resultats d'un article científic on comparen quantitativament les emissions de UFP o VOC per a diferents plàstic en la impressió FDM en tres zones: propera a la zona d'impressió (<3 m), zona adjacent (de 3 a 18 m), i llunyana (de 18 a 33 m).

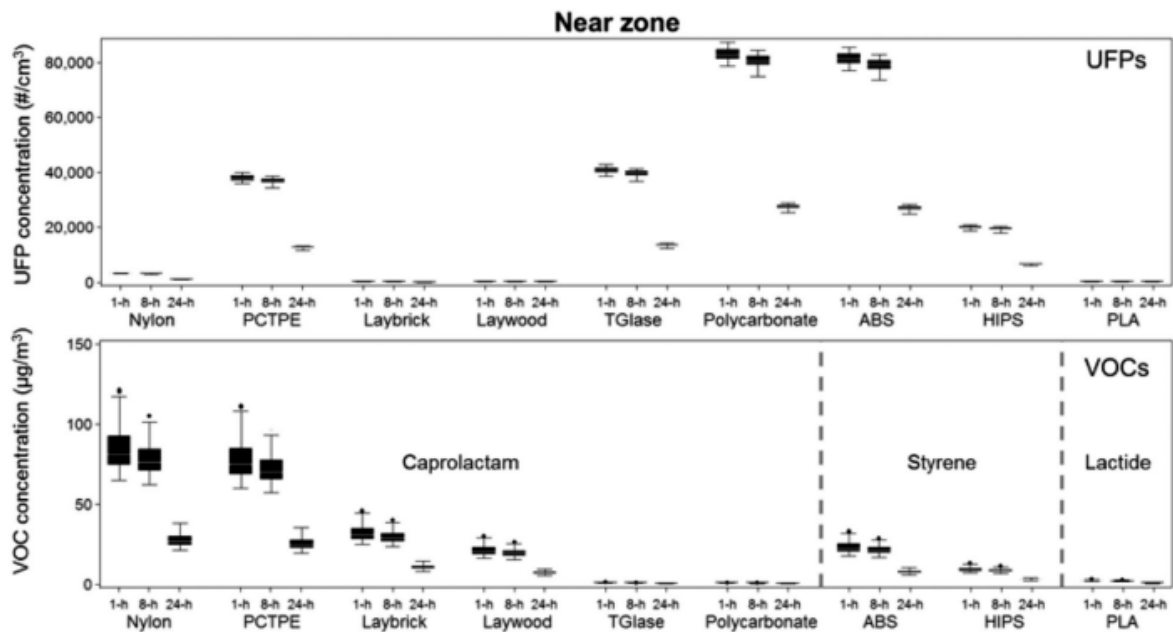


Figura 5.3.6. Concentracions de UPF i VOC a la zona d'impressió

UPF

- Majors emissors: ABS, PC
- Menors emissions: PLA, Nylon
- Emissors mitjans: PCTPE i altres

VOC

- Majors emissors: Nylon, PCTPE
- Menors emissions: PC, PLA
- Emissors mitjans: ABS

Com es pot veure en els gràfics següents, la concentració captada de VOC i UPF baixa dràsticament quan es mesura a zones més allunyades:

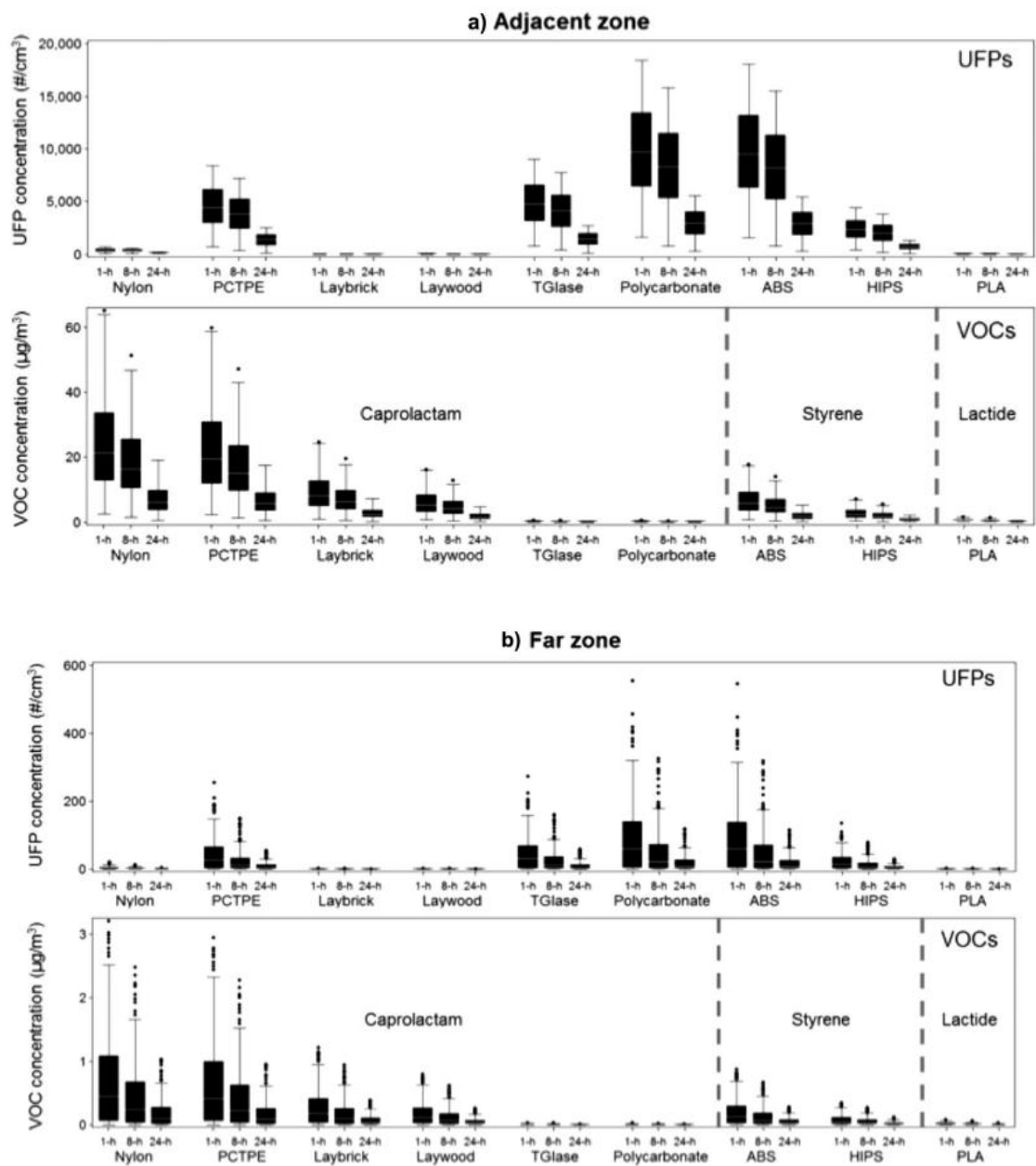


Figura 5.3.7. Concentracions de UPF i VOC a les zones adjacents i llunyanes [97]

SLA

L'olor dels fums emesos en les impressores SLA és més forta que en FDM, ja que les resines SLA són tòxiques de per si. No obstant això, hi ha una diferència significativa en les emissions entre les impressores SLA i FDM.

Les impressores 3D SLA produeixen molt poques PM, fins i tot durant els passos posteriors al procés de rentada i curat, contrastant amb les elevades emissions de PM de la impressió FDM. D'altra banda, les emissions de VOC de la impressió SLA tendeixen a ser molt elevades, generalment entre 3 i 6 vegades superiors a les de les impressores FDM. Els tipus de VOC emesos també són diferents dels d'FDM, ja que en aquesta última la majoria dels VOC procedeixen d'additius o materials de filament. Els VOC s'emeten tant durant la impressió SLA com durant el post-processament.

Segons un estudi de *Chemical Insights*, més d'una dotzena de VOC emesos per les impressores SLA figuren en la llista de substàncies químiques preocupants. Entre ells es troba el formaldehid, un conegut carcinogen que s'emet en totes les fases del procés.[91]

Per últim, cal mencionar que el soroll emès per una impressora 3D es troba dins del rang tolerable (35-45 dB per a impressores de qualitat), segons el que ha determinat un estudi de la Universitat de Michigan [98]:

Noise Source	Average decibels (dB)
Leaves rustling, soft music, whisper	30
Average home noise	40
Normal conversation, background music	60
Office noise, inside car at 60 mph	70
Vacuum cleaner, average radio	75

Figura 5.3.8. Nivell d'emissions sonores d'una impressora 3D

SLS

Tot i que els estudis es centrin en les emissions de la impressió 3D per FDM i SLA, això no vol dir que el SLS no en generi. En el següent article científic es van mesurar paràmetres de qualitat de l'aire interior (IAQ) com la temperatura, la humitat relativa, el diòxid de carboni (CO₂), els compostos orgànics volàtils totals (TVOC) i el formaldehid, en mostres de material

en pols de poliamida niló (PA12), i després es van comparar amb el límit acceptable del Codi de Pràctiques Industrials (ICOP) DOSH 2010. Aquesta taula compara els valors màxims registrats durant les 8h de temps total de mesurament, amb els valors acceptables de la ICOP:

Parameters	Peak value	ICOP acceptable limit
Formaldehyde	0.05 ppm	0.1 ppm
Total volatile organic compounds	1.7 ppm	3 ppm
Carbon dioxide	395-999 ppm	1000 ppm
Relative humidity	55.1-70.6 %	40-70 %
Temperature	20.3 -27.6 °C	23-26 °C

Figura 5.3.9. Emissions produïdes en una impressora SLS

A partir de les dades recollides, el formaldehid, TVOC, HR i la temperatura estaven dins dels límits acceptables segons ICOP DOSH 2010. No obstant això, el valor màxim de CO₂ és de 999 ppm durant la fase d'impressió, la qual cosa suposa només 1 ppm menys per aconseguir el límit acceptable del ICOP. Per tant, és necessari que el sistema de ventilació vagi renovant l'aire per a que el CO₂ no s'acumuli. [99]

En conclusió, dels materials consultats en l'apartat 4.4, el PETG serà la opció a escollir per defecte en impressió FDM, però també es pot optar per Nylon si es vol reduir les UFP, o per PC si es volen reduir les VOC. La impressió per SLS també presenta un impacte mediambiental molt baix.

5.3.2. Sostenibilitat de la impressió 3D

Deixant de banda les emissions de partícules durant la impressió, hi ha altres paràmetres a tenir en compte per desenvolupar solucions sostenibles.

Problemes de sostenibilitat relacionats amb la impressió 3D

Un aspecte a tenir en compte és que els bio-plàstics, com el niló PA11, són difícils de reciclar, ja que la majoria de les ciutats no disposen de les instal·lacions necessàries per a aquesta mena de transformació. Molts d'ells acaben en abocadors, la qual cosa provoca que es vegin privats d'oxigen. Això provoca l'alliberament de metà a l'atmosfera, un gas d'efecte d'hivernacle 23 vegades més potent que el CO₂, la qual cosa contribuiria a una major destrucció de la capa d'ozó que amb els plàstics tradicionals.

Per aquest motiu, en termes de sostenibilitat, la impressió 3D SLS de niló té un avantatge clau. Una vegada finalitzat el procés de fabricació, les peces queden envoltades de pols sense sinteritzar, que al seu torn actua com a suport de les peces impreses. En la tecnologia SLS, fins al 70% d'aquesta pols sense sinteritzar pot reutilitzar-se per a futures impressions, mentre que en el FDM, els materials de suport no poden convertir-se per a la seva reutilització.[100]

Un altre factor és el consum d'energia. Els temps d'impressió més llargs augmenten la quantitat d'energia consumida, però també la qualitat d'impressió. El consum d'energia, que acaba sent major que en la injecció de plàstic, pot definir-se en tres fases dins del procés d'impressió:

- Fase de pre-escalfament en la qual la màquina es prepara per a imprimir
- Impressió real d'un objecte
- Procés de refredament

Una solució a les grans quantitats d'energia utilitzades en el procés d'impressió resideix en els materials emprats. Utilitzar materials de baixa temperatura pot reduir el consum d'energia, igual que utilitzar màquines que puguin imprimir diversos components simultàniament.

Beneficis que aporta la impressió 3D quant a sostenibilitat

La impressió 3D podria oferir una solució als residus que es generen mundialment cada any (*Global Waste*) utilitzant materials reciclats per a crear nous productes. Fins al 95% del material utilitzat en la impressió 3D pot procedir de materials reciclats, tot i que per garantir la resistència del producte final, cal afegir trossos de plàstic nou al material reciclat [101].

Les impressores 3D caben en una oficina, la qual cosa permet fabricar localment peces, prototips i productes en lots petits. D'aquesta manera, es redueix l'impacte mediambiental dels mètodes de transport habituals, com avions, vaixells i camions, i s'obtenen productes amb menor petjada de carboni. A més, la impressora pot reemplaçar a màquines de múltiples etapes de producció gràcies a la seva versatilitat. Amb menys equips necessaris, desapareix la necessitat de grans instal·lacions de fabricació, així com les seves emissions associades.

Quant a l'eficiència de l'ús del material, la impressió 3D genera importants quantitats de residus derivats d'impressions fallides o estructures de suport rebutjades. D'altra banda, només utilitza el material que necessita per fabricar la peça, i té el potencial de disminuir la quantitat de producte no utilitzat que es tira. Aquest factor es potencia amb la optimització topològica, on es procura que tot el material que té la peça participi activament en la resistència de forces.

Tecnologies com la SLS van un pas més enllà, ja que impressores com la Fuse 1+30W poden reciclar tot el pols sense sinteritzar per a utilitzar-ho en la següent cambra d'impressió, creant així un flux de treball circular. La taxa de renovació de la pols, que es la quantitat de pols fresca que es necessita en cada nova impressió, pot ser tant baixa com el 30%.

6. Selecció de l'alternativa més adequada

En aquest apartat es definirà amb tots els detalls tècnics la solució que es desenvoluparà al llarg del projecte.

6.1. Especificacions del robot

A l'hora d'escollir un braç robòtic, s'han de tenir en compte els atributs següents:

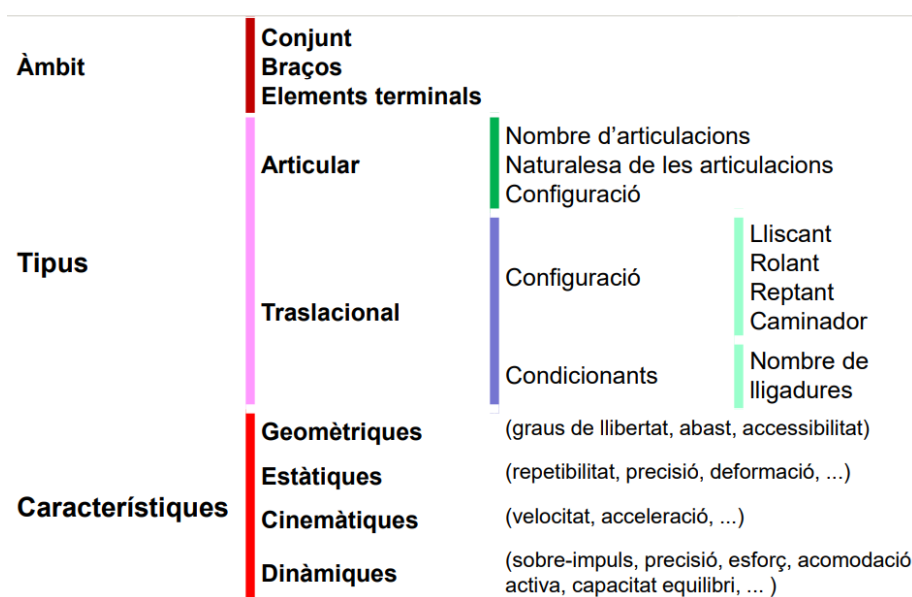


Figura 6.1.1. Atributs del robot segons al seva mobilitat

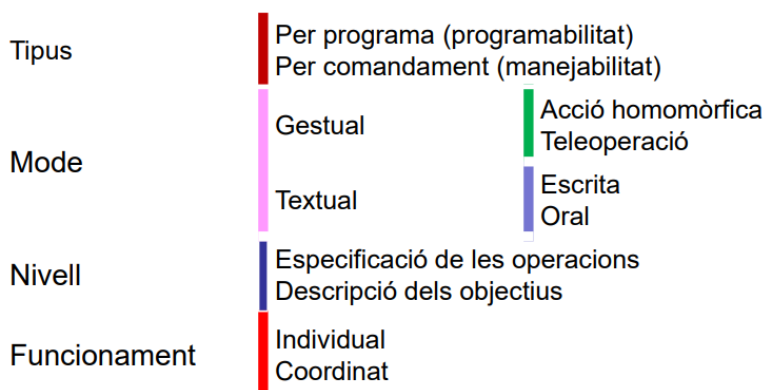


Figura 6.1.2. Atributs del robot segons la seva governabilitat (com es controla)



Figura 6.1.3. Atributs del robot segons la seva capacitat d'autonomia

En el cas particular de les juntes estrellades, també cal tenir en compte el següent:

- A partir de la resistència a l'esquinçament, es determina que el robot no pot exercir una força externa de més de 20 N/mm, i per la resistència a tracció, no més de 20 MPa.
- El valor mínim de carrera de les pinces ha de ser menor de 26 mm per agafar el centre de la junta de 5 radis, i el màxim ha de ser major de 38 mm per agafar el centre de de 4 radis.
- Per a que els dits es puguin col·locar entre radis, han de fer 10 mm d'amplada o menys.

A més de l'abast que té el robot i el rang de mobilitat que té cada articulació (en mm o graus), s'han de tenir en compte els paràmetres de *payload* i *armload*:

- El *payload* és la capacitat de càrrega externa que pot manipular el robot. Per tant, l'objecte a agafar no pot superar aquest valor.
- *Armload* es correspon al pes total que exerceixen tots els elements instal·lats sobre el braç (sensors, càmeres, cablejat, etc), cosa que augmenta la seva inèrcia.

Un braç robòtic estirat es pot representar com un voladís: per tant, com més lluny estigui localitzada la càrrega, major moment genera ($M = W \cdot x$) sobre la zona de fixació. És per aquesta raó que el *payload* admissible dels braços articulats canvia en funció de la distància, el qual es representa en diagrames de càrrega (*load diagram*).

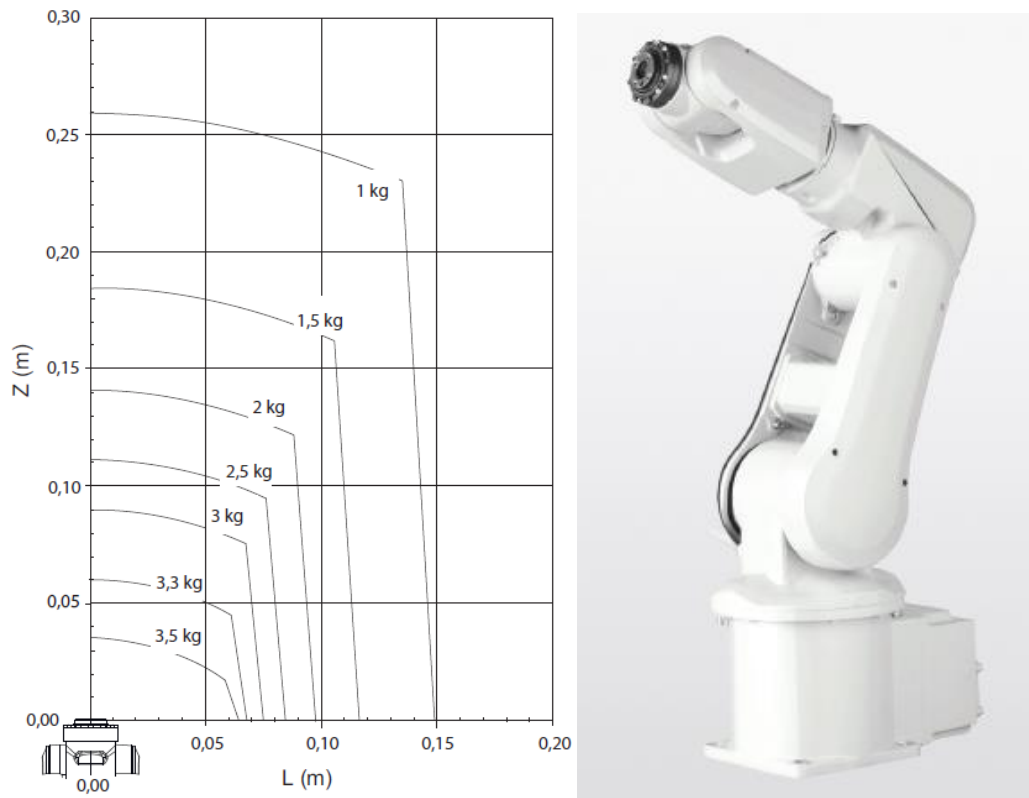


Figura 6.1.4. Diagrama de càrrega del braç robòtic ABB IRB 120

Pel que fa al robot SCARA, això no té gran influència, ja que l'abast i càrrega a manipular són menors, de manera que en els seus *datasheets* no s'inclouen diagrames de càrrega.

6.1.1. SCARA Fanuc

El robot Scara té dos articulacions rotacionals per girar el braç (eixos J1 i J2), i una articulació cilíndrica per baixar i girar simultàniament la pinça (J3 i J4). Per tant, té 4 graus de llibertat, 3 de rotació i 1 de translació.

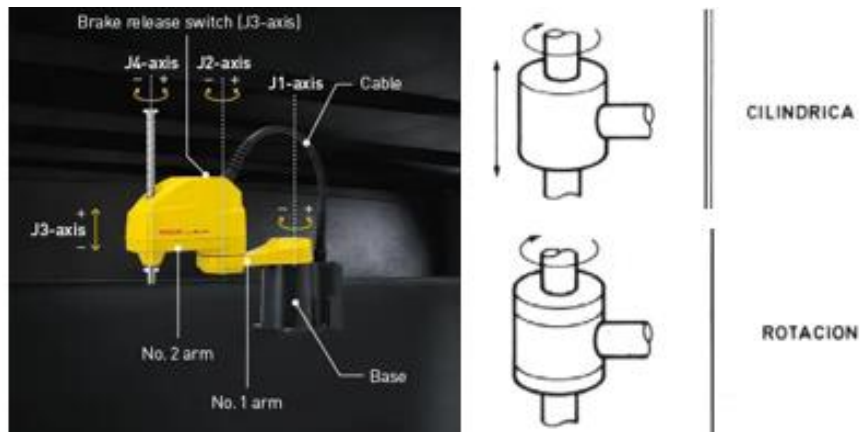


Figura 6.1.5. Tipus d'articulacions presents en un robot SCARA

De les opcions que ofereix Fanuc, el SR-6iA té un abast horitzontal suficient (mm) per cobrir tota l'amplada de la cinta transportadora.

SPECIFICATIONS							
Type	SR-3iA	SR-3iA/H	SR-3iA/U	SR-6iA	SR-6iA/H	SR-12iA	SR-20iA
Payload (kg)	3	3	3	6	6	12	20
Horizontal reach (mm)	400	400	350	650	650	900	1100
Vertical reach (mm)	200	200	140	210	210	450	450
Axes	4	3	4	4	3	4	4
Max. push down force [N]	150	150	150	200	200	250	250
Installation	Floor	Floor	Ceiling	Floor	Floor	Floor	Floor

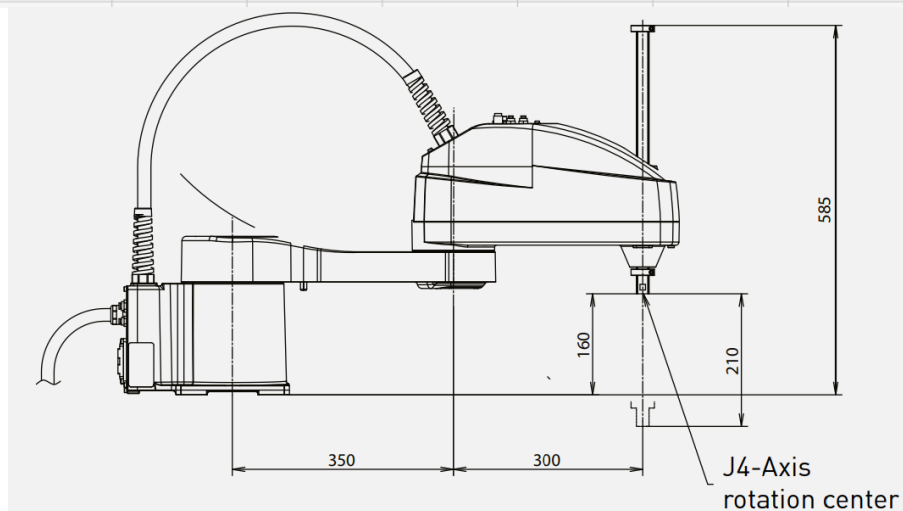


Figura 6.1.6. Dimensions del robot escollit

Les especificacions que s'han de tenir en compte són el rang de cada articulació, velocitats màximes, inèrcies i potència de consum [102]:

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range (°)						Maximum speed (°/s)						J4 Inertia (kgm ²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
4	± 0.01 [J1, J2, J3] ± 0.004 [J4]	30	296	300	210mm	1440	-	-	440	700	2000 mm/sec	2500	-	-	0.12

**Robot****SR-6iA**

Robot footprint [mm]

180 x 256 (397)

Mounting position Floor

**Controller****R-30iB Plus**

Compact Plus

**Electrical connections**

Voltage 50/60Hz 3phase [V]

-

Voltage 50/60Hz 1phase [V]

200-230

Average power consumption [kW]

0.35

Figura 6.1.7. Especificacions clau del Fanuc Sr-6iA

El *Motion range* (graus de rotació que pot girar cada articulació) determina el rang operacional del robot (*Operating Space*), que es representa en un dibuix en qualsevol *datasheet* de braços robòtics. En aquest dibuix, es representa l'espai operacional del EOAT (*End of Arm Tooling*), que en aquest cas són pinces pneumàtiques.

A l'hora de programar la trajectòria del EOAT, s'agafa com a referència un punt anomenat TCP (*Tool Center Point*), i és crucial per programar els moviments del robot. Qualsevol trajectòria que es programi s'ha de trobar dins del rang operacional, ja que si no, el TCP no serà capaç d'arribar-hi.

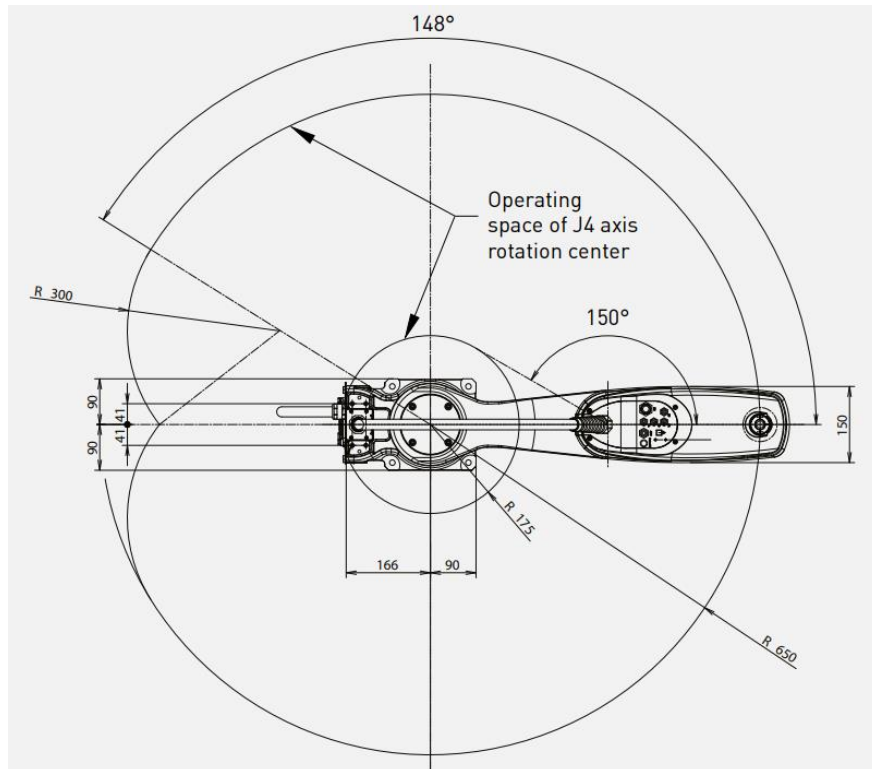


Figura 6.1.8. Operating Space del EOAT

Altres especificacions importants són:

- Interruptor de frenada d'emergència (*brake release switch*) per garantir la recuperació davant d'errors.



Figura 6.1.9. Brake release switch

- iRProgrammer. Interfície web que permet programar el robot SCARA de manera senzilla i intuïtiva des d'una tauleta o portàtil, o el Pendant.



Figura 6.1.10. iRProgrammer per programar remotament el robot

- Controlador R-30iB Plus amb funcions intel·ligents (*iRVision*, *iRPickTool*, sensòria de forces i seguiment de cintes transportadores (*conveyor tracking*)). És important destacar el suport de les tecnologies Gigabit Ethernet i IIOT (Industrial Internet of Things) per a connexions d'elements sense cables [103].



Figura 6.1.11. Controlador R-30iB Plus, armari A amb iPendant integrat

Per ensenyar el recorregut al robot quan es faci el Setup, serà necessari disposar d'aquest controlador, però es pot monitoritzar i realitzar tasques de manteniment predictiu de forma remota a través del servei iRProgrammer.

El controlador es pot connectar directament a un PC Industrial per connexió sèrie RS-232.

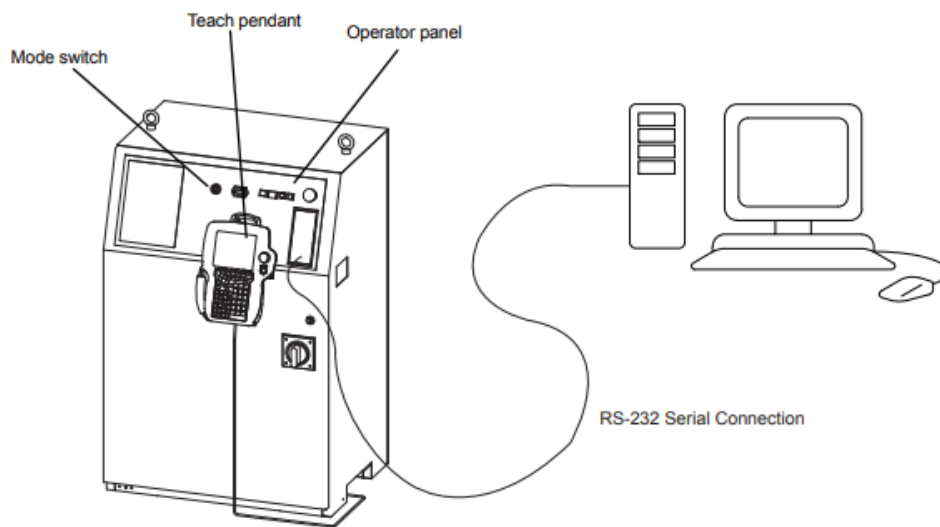


Figura 6.1.12. Connexió PC - Controlador R-30iB Plus via RS-232 [104]

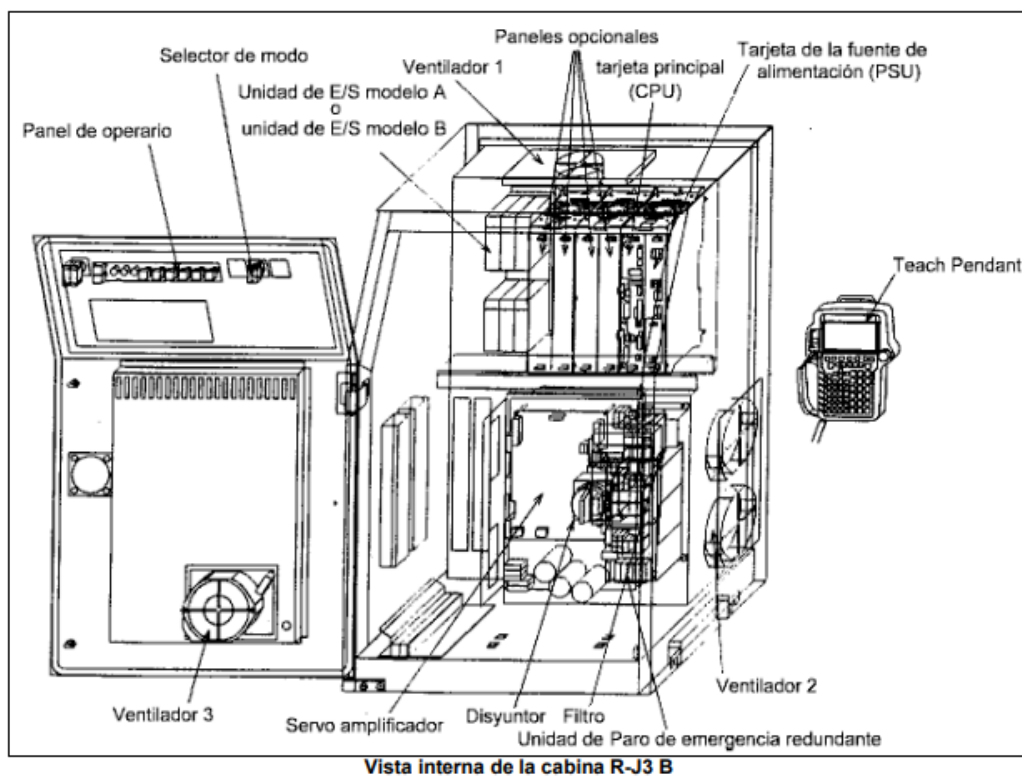


Figura 6.1.13. Components del Controlador R-30iB Plus via RS-232 [105]

6.1.2. SCARA Omron

Una altra bona opció seria optar per un robot SCARA + PLC de la marca OMRON, ja que aquesta mateixa empresa disposa d'un catàleg de càmeres de visió artificial.



Figura 6.1.13. Omron Cobra 650 [106]

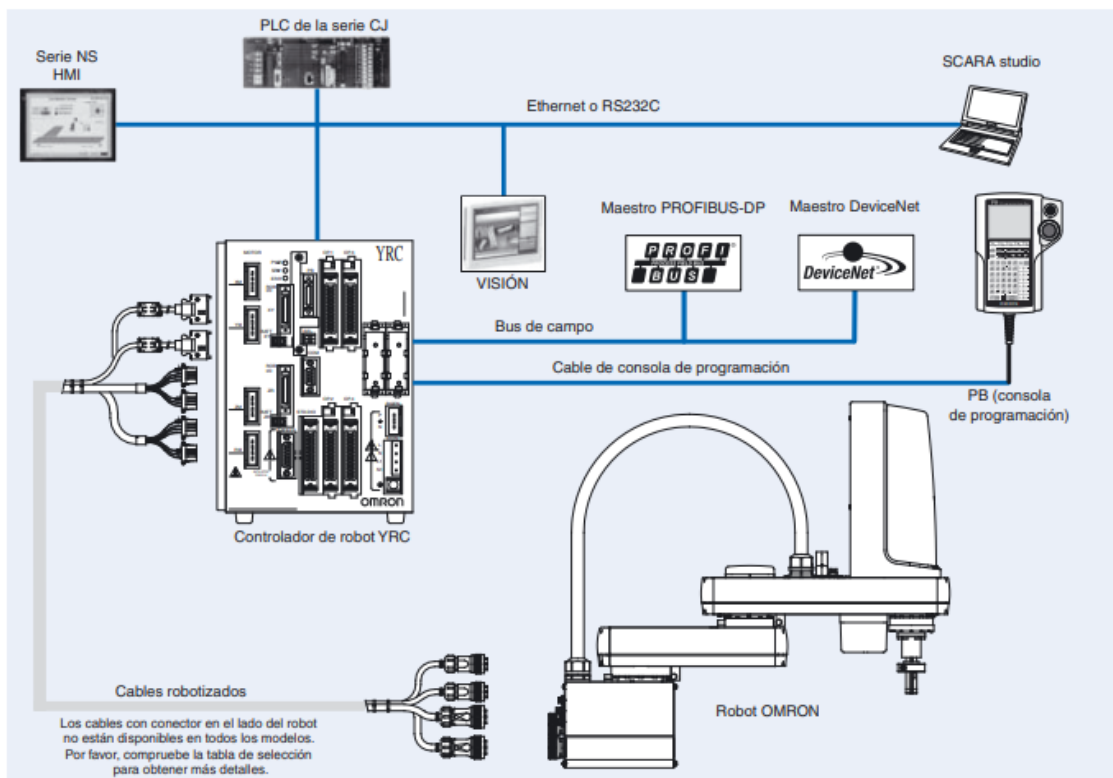


Figura 6.1.13. Components d'una instal·lació robòtica Omron SCARA [107]

6.1.3. Controlador PLC

Tot i que el controlador R-30iB Plus actiu com el PLC de la línia de defectes greus, convé considerar alguns complements per a millorar les seves funcionalitats.

Gateway IIoT

Un Gateway IIoT (IIoT Industrial) envia valors dels processos que executen el PLC, HMI, robots i sensors a través de Ethernet de forma centralitzada al núvol, permetent una clara comprensió dels processos, l'anàlisi de dades, i un ràpid accés remot quan sigui necessari.



Figura 6.1.14. Gateway IoT IXON IXrouter3 4G per a PLCs[108]

El controlador de Fanuc té la plataforma iRProgrammer, o sigui que no el necessitaria, però pot resultar interessant per a expandir la xarxa IIoT de la fàbrica.

Rail Terminal Blocks

En cas que les unitats de entrada i sortida dels PLC siguin insuficients, es pot instal·lar un Rail Terminal Block (terminals de connexions E/S muntades a un rail). El seu muntatge es veuria així:

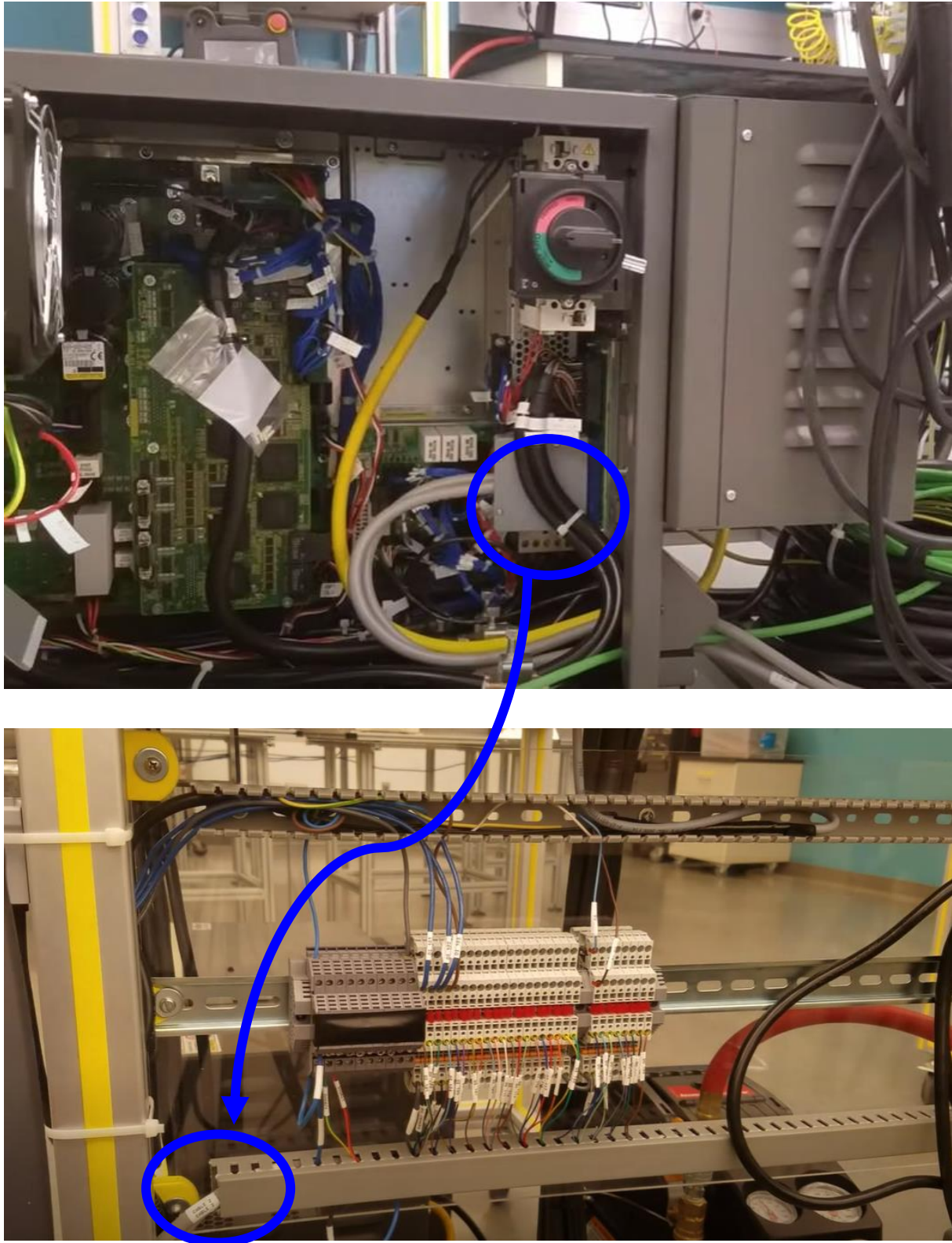


Figura 6.1.15. Expansió dels terminals de E/S del Controlador R-30iB [109]

6.2. Cintes transportadores

Se sap que la cinta transportadora a escollir és un *Belt Conveyor*, però cal especificar quin tipus de banda de cintes transportadores s'utilitzarà [110]:

Bandes transportadores de PVC. A causa de la seva resistència per les propietats físiques i químiques del Policlorur de vinil (PVC), aquestes bandes tenen un ampli ús en diferents tipus de sectors i aplicacions, moltes d'elles estan certificades per les normes de FDA⁸ el que possibilita el seu ús per a la indústria alimentària. El seu recobriment pot ser tant llis com rugós i poden ser de color blau, negre, blanc o verd.

Bandes transportadores de Poliuretà (TPU). Generalment utilitzades en la indústria alimentària pel fet que compleixen amb les normes de FDA. El poliuretà termoplàstic és un material no porós que aconsegueix una bona resistència mecànica i tèrmica i la fa resistent a tota mena d'olis i greixos dels aliments

Bandes transportadores de Goma. Poden ser llises, nervades i rugoses, antiabrasives, anticalòricas, antioli, etc. de manera que s'adaptin a les necessitats de cada empresa.

Bandes transportadores de Tefló. Amb unes magnífiques propietats antiadherents i una resistència excepcional a temperatures molt elevades, les bandes transportadores de tefló ofereixen una gran estabilitat a la càrrega.

Bandes modulars. Són molt senzilles de muntar, netejar i reparar, ja que només cal retirar els mòduls danyats. L'inconvenient és que són més cares [111]

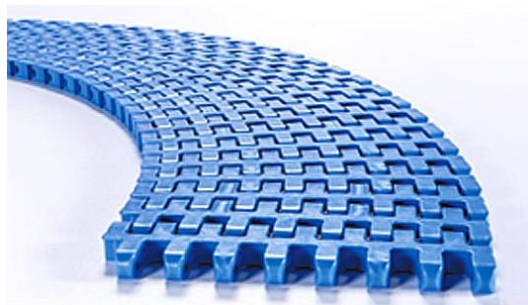


Figura 6.2.1. Banda transportadora modular

⁸ *Food and Drug Administration, Administració d'Aliments I Medicaments*

També poden tenir diferents gravats, tot i que en aquesta projecte no convenen [112]:

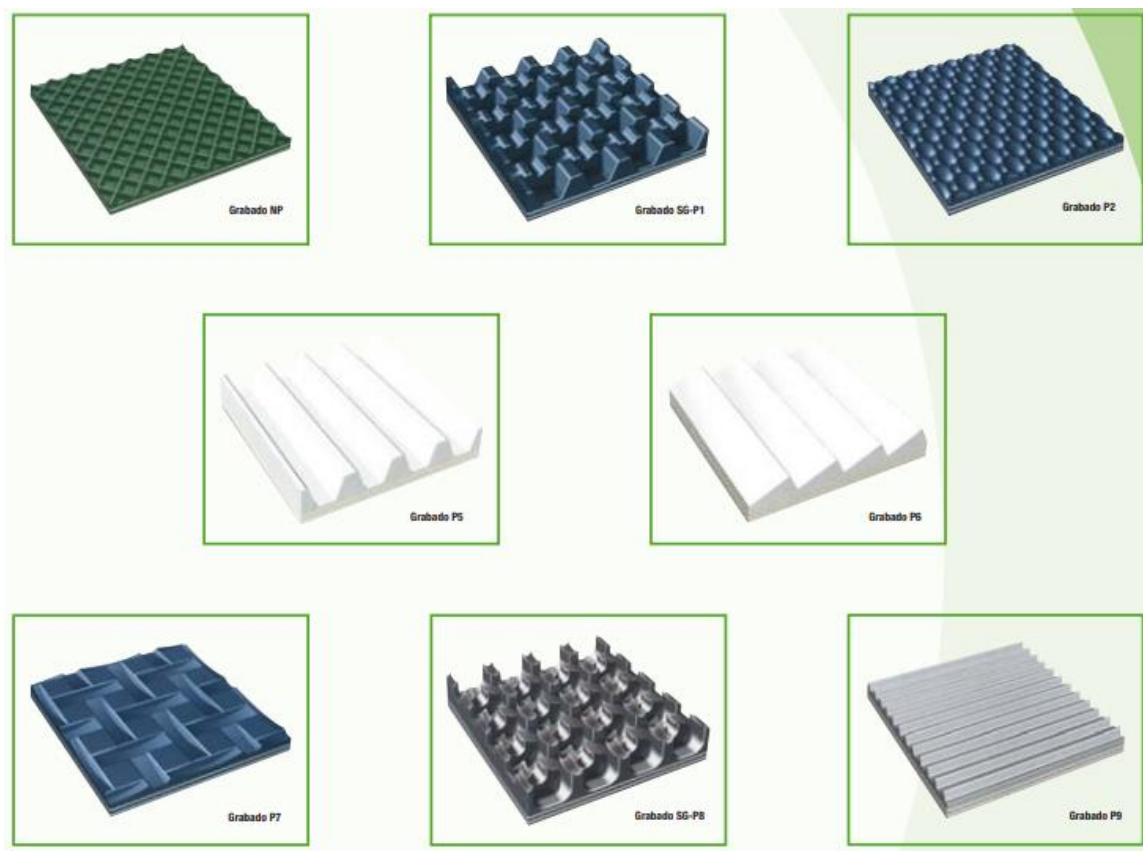


Figura 6.2.2. Gravats de bandes de cinta transportadora

Les especificacions mecàniques a consultar en una banda són les següents [113]:

Material	de polièster, de PVC, de elastómero	Peso (Kg/M2): 1.8
Dureza	Shore A	Ancho máximo de producción (mm): 2000
Aplicaciones	para alimentos	Tensión máxima (N/mm):150
Sector	industrial, para la industria agroalimentaria	Fuerza de tracción para alargamiento del 1% (N/mm):10
Resistencia	resistente al aceite	temperatura del artículo (°C):-20/+80
Color	blanca	Flexión mínima del diámetro de la polea (mm):20
Otras características	antiestática	Contraflexión del diámetro mínimo de la polea (mm): 40
Grosor	1,5 mm (0,1 in)	

Taula 6.2.1. Especificacions d'una banda transportadora

La cinta transportadora escollida compta amb baranes i un panell de control integrat [114]. Interessa la versió amb una banda blanca, que és el que interessa per tenir un alt contrast amb les peces [115]:



Figura 6.2.3. Cinta transportadora escollida

En cas de necessitar un recanvi de la banda, es poden demanar a mida a proveïdors com Saenz o Rodavigo.

6.3. Tipus de perfils de cargols

Existeixen diferents perfils per als caps dels cargols, i estan dissenyats per a millorar la transmissió de força, l'alineació perpendicular de la eina, minimitzar el desgast dels cargols i les eines, etc. [116]



Figura 6.3.1. Perfils de caps de cargols

Els més comuns són els de punta plana i en creu, però hi ha tornavisos de puntes específiques que s'utilitzen en alguns sectors. Per a l'equipament i fixacions industrials, s'utilitzaran perfils hexagonals /Allen, i per als equips electrònics, el perfil en creu o Phillips. Per apretar-lo's, caldran tornavisos de precisió per als equips electrònics, i sets de claus hexagonals per a les fixacions mecàniques, com per exemple l'estructura de suport de la càmera.



Figura 6.3.2. Juego de llaves hexagonales en L RS PRO de 15 piezas, métrica de 1.27 → 10mm [117]

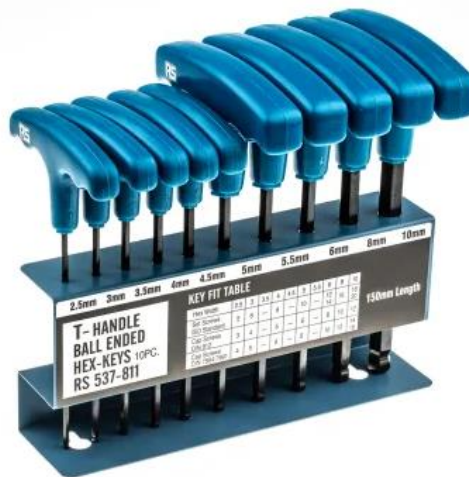


Figura 6.3.3. Juego de llaves hexagonales en T RS PRO de 10 piezas, métrica de 2.5 → 10mm [118]

⊕ Torx	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T15	T20
⊙ Hexagon	H1.0	H0.9	H1.3	H1.5	H2.0	H2.5	H3.0	H3.5	H4.0	H4.5	H5.0	H6.0
⊕ Security Torx TR	TR 6H	TR 7H	TR 8H	TR 9H	TR 10H	TR 15H	TR 20H	TR 25H				
⊖ Slotted	SL 1.0	SL 1.3	SL 1.5	SL 2.0	SL 2.5	SL 3.0	SL 3.5	SL 4.0				
⊙ Imperial Hex	H1/16	H1/8	H2/32	H5/32	H5/64	H7/64	H9/64					
⊙ 6-point Sockets	M2.5	M3.0	M3.5	M4.0	M4.5	M5.0	M5.5					
⊕ Tri-Wing	Y0.6	Y0.6	Y2.0	Y2.3	Y3.0							
⊕ Philips	PH0000	PH000	PH00	PH0	PH1	PH2						
⊕ Spanner(Snake Eye)	U2.6	U2.3	U8									
⊕ Pozidriv	PZ000	PZ00	PZ0	PZ1	PZ2							
⊕ Tri-angle	△2.0	△2.3	△2.7	△3.0								
★ Pentagram	P2(☆0.8)	P5(☆1.2)	P6(☆1.5)	P8(☆2.0)								
⊗ Special W	W2.0	W2.5										
⊕ Square Robertson	S0	S1	S2									
⊕ G Socket	G3.8	G4.5										
⊕ SIM Card Ejector	SIM 0.8											
⊕ U Magnetize	Magnet 5.0											
⊕ IN PH	IN PH2											
⊕ PH2	PH2											



Figura 6.3.4. YINSAN 120 Pcs Destornilladores Precision Kit [119]

6.4. Impressora 3D

Les característiques desitjades en una impressora 3D són:



Figura 6.4.1. Propietats d'una impressora 3D [119]

6.4.1. Impressores FDM

El que interessa és que admeti múltiples materials, tingui prestacions professionals (que no sigui una impressora hobbista), i que inclogui filtres HEPA i de i de carboni actiu [91]:

- **Zortrax Inventure:** Accepta filaments de ABS, Nylon i PETG, 2500 € [120]
- **Raise3D E2** Accepta filaments de ABS, PC, PETG i Nylon, 3500 € [121]
- **FlashForge Creator 3 Pro:** Accepta filaments de ABS, PC i PETG, 2400 € [122]

Comparant entre la Flashforge i la Raise E2, s'escolliria la Raise perquè té una mica més de marge d'àrea d'impressió, és silenciosa i té l'opció de ser controlada i monitoritzada remotament (Wifi, LAN).

Si el filament utilitzat és abrasiu, com els reforçats amb fibra de carboni, les boquilles extrusores de la impressora 3D (nozzle) típiques de llautó es poden desgastar molt ràpidament. Per a evitar-ho, convé utilitzar d'acer reforçat [123]:



Figura 6.4.2. Volcano Nozzle (extrusora per a impressores FDM)

6.4.1. Impressores SLS

Interessa que les impressores SLS siguin compatibles amb pols de PA12, PA11, CF-PA11 (carbon-filled) i disposin de filtres HEPA. Les millors alternatives a un preu assequible són [124]:

- Sinterit Lisa X, 22.000 € [125]
- Formlabs Fuse1+ 30W, 28000€ [126]

13. Bibliografia.

- [1] Fluidra, *Sobre Fluidra*, [En línia]. Disponible a: <https://www.fluidra.com/es/sobre-fluidra> [Últim accés: 2023].
- [2] Pumps and Brico, *La importància de la filtración en tu piscina*, [En línia]. Disponible a: <https://www.pumpsandbrico.com/la-importancia-de-la-filtracion-en-tu-piscina> [Últim accés: 2023].
- [3] Grepool, *Para que sirve la filtración en las piscinas*, [En línia]. Disponible a: <https://www.grepool.com/filtracion/para-que-sirve-la-filtracion-en-las-piscinas> [Últim accés: 2023].
- [4] Outlet Piscinas, *¿Cómo funciona un filtro de arena para piscinas?* [En línia]. Disponible a: <https://www.outlet-piscinas.com/blog/funciones-filtro-arena-piscinas/> [Últim accés: 2023].
- [5] Poolaria, *Válvulas selectoras* [En línia]. Disponible a: <https://www.poolaria.com/36-valvulas-selectoras> [Últim accés: 2023].
- [6] Okreformapiscina, *Válvulas selectoras piscina*. [En línia]. Disponible a: <https://okreformapiscina.net/filtracion-piscina/valvula-selector-a-piscina/> [Últim accés: 2023].
- [7] Makropiscinas, *Cómo funciona la válvula selectora*. [En línia]. Disponible a: <https://www.makropiscinas.com/como-funciona-la-valvula-selector-a/> [Últim accés: 2023].
- [8] Outlet Piscinas, *¿Cómo funciona un filtro de arena para piscinas?* [En línia]. Disponible a: <https://www.outlet-piscinas.com/blog/funciones-filtro-arena-piscinas/> [Últim accés: 2023].
- [9] Quimipool, *Cómo comprobar el estado de la válvula selectora* [En línia]. Disponible a: <https://quimipool.com/blog/como-comprobar-el-estado-de-la-valvula-selector-a-n38> [Últim accés: 2023].

- [10] Quimipool, *Repuesto válvula lateral 2" Coral* [En línia]. Disponible a: <https://www.quimipool.com/525-repuesto-valvula-lateral-2-coral> [Últim accés: 2023].
- [11] Poolaria, *Válvulas selectoras manuales AstralPool* [En línia]. Disponible a: <https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-astralpool/Valvulas-selectoras-manuales-AstralPool.pdf> [Últim accés: 2023].
- [12] Poolaria, *Kit de juntas válvula selectora 2" Classic AstralPool 4404120407* [En línia]. Disponible a: <https://www.poolaria.com/recambios-filtros-piscina/4086-kit-juntas-selectoras-classic-4404120407.html> [Últim accés: 2023].
- [13] Industria de la goma. *Juntes de goma* [En línia]. Disponible a: <https://www.industriadelagoma.com/productos/goma/juntas-de-goma/> [Últim accés: 2023].
- [14] Poolaria, *Distribuidor con juntas válvula selectora 2" Classic AstralPool 4404120406* [En línia]. Disponible a: <https://www.poolaria.com/recambios-filtros-piscina/4087-distribuidor-selectoras-classic-4404120406.html> [Últim accés: 2023].
- [15] Global O-Ring and Seal. *Descripción general de las juntas tóricas* [En línia]. Disponible a: <https://www.globaloring.com/es/o-rings/> [Últim accés: 2023].
- [16] Elastotech, *Área técnica, Tolerancias* [En línia]. Disponible a: <https://www.elastotechgaskets.com/es/tolerancias.php> [Últim accés: 2023].
- [17] Elastotech. *Normas para los O-Rings* [En línia]. Disponible a: <https://www.elastotechgaskets.com/es/normas-para-los-o-ring.php> [Últim accés: 2023].
- [18] Global O-Ring. *Size Charts* [En línia]. Disponible a: <https://www.globaloring.com/es/oring-size-charts/> [Últim accés: 2023].
- [19] Elastotech. *Normas de interés general* [En línia]. Disponible a: <https://www.elastotechgaskets.com/es/normas-de-interes-general.php> [Últim accés: 2023].

- [20] Amazon, *OemClima Junta Estrella para válvula selectora, 1.5'' – OD 12.8 cm.* [En línea]. Disponible a: <https://www.amazon.es/OemClima-Estrella-v%C3%A1lvula-selectora-Piscina/dp/B08G1GMMN3?th=1> [Últim accés: 2023].
- [21] Global O-Ring. *Vida útil de la junta tórica* [En línea]. Disponible a: <https://www.globaloring.com/es/o-ring-shelf-life/> [Últim accés: 2023].
- [22] Manufactures Cusell. *Condiciones de almacenamiento de las juntas tóricas.* [En línea]. Disponible a: <https://arandelasyjuntas.com/prod/juntas-toricas/> [Últim accés: 2023].
- [23] C. Otto Gehrckens (COG). *Los principios fundamentales para el correcto almacenamiento de la junta tórica.* [En línea]. Disponible a: <https://www.cog.de/es/productos/alrededor-las-juntas-toricas/almacenamiento> [Últim accés: 2023].
- [24] Elastotech. *La utilización de los O-Ring en los sistemas de estanqueidad.* [En línea]. Disponible a: <https://www.elastotechgaskets.com/es/utilizacion-de-los-o-ring.php> [Últim accés: 2023].
- [25] Ingeniería Química, *Los elastómeros: Características y usos* [En línea]. Disponible a: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/02/los-elastomeros-caracteristicas-y-usos.html> [Últim accés: 2023].
- [26] Química.es, *Elastómero* [En línea]. Disponible a: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Elast%C3%B3mero.html> [Últim accés: 2023].
- [27] Mexpolímeros. *TPE-Elastómero Termoplástico* [En línea]. Disponible a: <https://www.mexpolimeros.com/elast%C3%B3mero%20termoplastico.html> [Últim accés: 2023].
- [28] Mexpolímeros. *Diferencia entre TPE y EPDM* [En línea]. Disponible a: <https://www.mexpolimeros.com/poly/diferencia%20entre%20tpe%20y%20epdm.html> [Últim accés: 2023].
- [29] Erica. *Mecánica de los cauchos* [En línea]. Disponible a: <http://www.ericca.es/mecanica-de-los-cauchos/> [Últim accés: 2023].

- [30] Erica. *Cauchos: Dureza* [En línia]. Disponible a: <http://www.eric.es/dureza/> [Últim accés: 2023].
- [31] Meseguer–Valdenebro, J. L., Portoles, A., Martínez–Conesa, E., (2020). *Revisión de los principales tipos de elastómeros y ensayos normalizados*. Revista Iberoamericana de Polímeros, 21(2), 75-95. [En línia]. Disponible a: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2020/04/2020-21-2-75-95-meseguer.pdf>
- [32] Mexpolímeros. *Defectos de los Elastómeros* [En línia]. Disponible a: <https://www.mexpolimeros.com/defectos%20de%20los%20elast%C3%B3meros.html> [Últim accés: 2023].
- [33] Wikipedia, *Ozone Cracking* [En línia]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_cracking [Últim accés: 2023].
- [34] Juntas Sadolu, *Juntas de Epdm* [En línia]. Disponible a: <https://juntassadolu.com/juntas-de-epdm/> [Últim accés: 2023].
- [35] Epidor, *Juntas tóricas EPDM multi-certificadas* [En línia]. Disponible a: <https://epidor.com/blog/juntas-toricas-epdm-multi-certificadas/> [Últim accés: 2023].
- [36] Erica. *EPDM Etileno Propileno* [En línia]. Disponible a: <http://www.eric.es/epdm-etileno-propileno/> [Últim accés: 2023].
- [37] Tecnología de los Plásticos, *Caucho etileno-propileno* [En línia]. Disponible a: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/caucho-etileno-propileno.html> [Últim accés: 2023].
- [38] Industrial Rubber Goods, *EPDM Rubber (Ethylene Propylene Diene Monomer)*. [En línia]. Disponible a: <http://www.industrialrubbergoods.com/ethylene-propylene-diene-monomer.html> [Últim accés: 2023].
- [39] Elaplas, *Características etileno-propileno (EPDM)* [En línia]. Disponible a: <https://www.elaplas.es/wp-content/uploads/EPDM.pdf> [Últim accés: 2023].
- [40] Wikipedia, *Límite elástico* [En línia]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmite_el%C3%A1stico [Últim accés: 2023].

- [41] DesignerData, *Ethylene Propylene Diene M-class rubber* [En línea]. Disponible a: <https://designerdata.nl/materials/plastics/rubbers/ethylene-propylene-diene-m-class-rubber> [Últim accés: 2023].
- [42] Habieb, A. B., Milani, F., Milani, G., & Cerchiaro, R. (2020). *Rubber compounds made of reactivated EPDM for fiber-reinforced elastomeric isolators: an experimental study*. *Iranian Polymer Journal*, 29(11), 1031-1043. [En línea]. Disponible a: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13726-020-00859-9> [Últim accés: 2023].
- [43] Universitat Politècnica de València (UPV). *Unidad 15.3. Polímeros Termoplásticos* [En línea]. Disponible a: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html [Últim accés: 2023].
- [44] Ingeniería Química. *¿Qué es la vulcanización?* [En línea]. Disponible a: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/08/que-es-la-vulcanizacion.html> [Últim accés: 2023].
- [45] Global O-Ring, *Juntas tóricas de EPDM* [En línea]. Disponible a: <https://www.globaloring.com/es/epdm-o-rings/> [Últim accés: 2023].
- [46] Global O-Ring, *Vulcanized O-Rings* [En línea]. Disponible a: <https://www.globaloring.com/es/vulcanized-rings/> [Últim accés: 2023].
- [47] Mexpolímeros, *Vulcanización* [En línea]. Disponible a: <https://www.mexpolimeros.com/pro/vulcanizaci%C3%B3n.html> [Últim accés: 2023].
- [48] Mexpolímeros, *TPV Termoplástico vulcanizado* [En línea]. Disponible a: <https://www.mexpolimeros.com/tpv.html> [Últim accés: 2023].
- [49] Castaño Ciro, N. (2012). *Incorporación de residuos de caucho vulcanizado pos industrial obtenidos por trituración mecánica a mezclas puras de EPDM (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT)*. [En línea]. Disponible a: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/240/Nelson_Casta%C3%B1oCiro_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Últim accés: 2023].

- [50] Bandex, *La desvulcanización del caucho: El hecho diferencial en el reciclado (2021)* [En línia]. Disponible a: <https://rubberbandex.com/la-desvulcanizacion-del-caucho/> [Últim accés: 2023].
- [51] M. Gianfranco, *Proceso para reciclado y desvulcanización de caucho*. Traducción de patente europea ES 2 617 333 T3 (2017). Núm. de sol·licitud internacional: PCT/IB2011/053503 [En línia]. Disponible a: <https://patentimages.storage.googleapis.com/a1/14/f9/2ef84e94ec2ddf/ES2617333T3.pdf> [Últim accés: 2023].
- [52] Gimatic Iberia S.L. *Pinzas robóticas de uso general* [En línia]. Disponible a: <https://www.interempresas.net/Automocion/FeriaVirtual/Producto-Componentes-mecatronicos-Gimatic-155350.html> [Última consulta: 2023]
- [53] Direct Industry. *Pinza de presión concèntrica Shunk* [En línia]. Disponible a: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/pinza-presion-concentrica-136417.html> [Últim accés: 2023].
- [54] Direct Industry. *Pinza de presión paralela Shunk* [En línia]. Disponible a: <https://www.directindustry.es/prod/schunk-gmbh-co-kg/product-7038-1841122.html> [Últim accés: 2023].
- [55] Robotiq. *How to Choose a Parallel Gripper for My Robot?* [En línia]. Disponible a: <https://blog.robotiq.com/how-to-choose-a-parallel-gripper-for-my-robot> [Últim accés: 2023].
- [56] Festo. *Pinza de fuelle DHEB* [En línia]. Disponible a: https://www.festo.com/es/es/p/pinza-de-fuelle-id_DHEB/?q=~:festoSortOrderScored [Últim accés: 2023].
- [57] Ultimation, *conveyor types, categories and uses* [En línia]. Disponible a: <https://www.ultimationinc.com/conveyor-technologies/conveyor-types/> [Últim accés: 2023].

- [58] Norpak, *Types of Sortation Conveyors and How To Choose the Right One* [En línia]. Disponible a: <https://www.norpak.com/types-of-sortation-conveyors-and-how-to-choose-the-right-one/blog.html> [Últim accés: 2023].
- [59] MWI, *Sortation Systems* [En línia]. Disponible a: <https://mwi.solutions/technologies/sortation-systems/> [Últim accés: 2023].
- [60] SJF, *What is a Sortation Conveyor* [En línia]. Disponible a: <https://www.sjf.com/what-is-a-sortation-conveyor.html> [Últim accés: 2023].
- [61] Shuttleworth. *Products – Pushers* [En línia]. Disponible a: <https://www.shuttleworth.com/products/conveyor-pushers/> [Últim accés: 2023].
- [62] Cisco – Eagle. *Conveyor Pushers & Push-Offs* [En línia]. Disponible a: <https://www.cisco-eagle.com/category/3212/conveyor-pushers-pushoffs> [Últim accés: 2023].
- [63] Taylor. *Primo Sort High Speed Sorter* [En línia]. Disponible a: <https://taylormhc.com/wp-content/uploads/2019/08/Primo-Sort-High-Speed-Sorter.pdf> [Últim accés: 2023].
- [64] Hydrol Catalog, *Right-Angle Sortation Conveyor (pàg. 188)*, [En línia]. Disponible a: <https://catalog.hydtrol.com/data/hca23enu/011/html/export/Hydtrol%20Catalog.pdf> [Últim accés: 2023].
- [65] Direct Industry. *Qué robot industrial elegir* [En línia]. Disponible a: <https://guide.directindustry.com/es/que-robot-industrial-elegir/> [Últim accés: 2023].
- [66] Innovación y Tecnología. *¿Cómo elegir entre un robot Delta y un robot SCARA?* [En línia]. Disponible a: <https://www.innovacion-tecnologia.com/robotica/como-elegir-entre-un-robot-delta-y-un-robot-scara/> [Últim accés: 2023].
- [67] LearnMech. *Grippers in Robotics – Types of Grippers used in industrial applications* [En línia]. Disponible a: <https://learnmech.com/grippers-in-robotics-types-of-grippers-used-in-industrial-applications/> [Últim accés: 2023].

- [68] Revista de Robots. *Ventosas de fuelle ovalada* [En línia]. Disponible a: <https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/ventosas-de-vacio-de-fuelle-ovalada/> [Últim accés: 2023].
- [69] Autodesk. *What Materials Can be 3D Printed?* [En línia]. Disponible a: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/what-materials-can-be-3d-printed/> [Últim accés: 2023].
- [70] Xometry. *3D Printing Materials Selection Guide?* [En línia]. Disponible a: <https://xometry.eu/en/3d-printing-materials-selection-guide/> [Últim accés: 2023].
- [71] Simplify3D. *PETG* [En línia]. Disponible a: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/petg/> [Últim accés: 2023].
- [72] Simplify3D. *Polycarbonate* [En línia]. Disponible a: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/polycarbonate/> [Últim accés: 2023].
- [73] Simplify3D. *Nylon* [En línia]. Disponible a: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/nylon/> [Últim accés: 2023].
- [74] Weerg. *¿Cuáles son las diferencias entre PA12 y PA11?* [En línia]. Disponible a: <https://www.weerg.com/es/faq/cuales-son-las-diferencias-entre-pa12-y-pa11> [Últim accés: 2023].
- [75] BCN3D. *Carbon Fiber Filament: What is it and why should we use it?* [En línia]. Disponible a: <https://www.bcn3d.com/carbon-fiber-filament-what-is-it-and-why-should-we-use-it/> [Últim accés: 2023].
- [76] UltiMaker. *How to fix warping* [En línia]. Disponible a: <https://support.makerbot.com/s/article/1667337577679> [Últim accés: 2023].
- [77] Hubs. *3D printing* [En línia]. Disponible a: <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-printing/> [Últim accés: 2023].

- [78] Autodesk. *Understanding Additive Manufacturing Technology & Processes* [En línia]. Disponible a: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/understanding-the-different-additive-manufacturing-processes/> [Últim accés: 2023].
- [79] Formlabs. *Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing* [En línia]. Disponible a: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/> [Últim accés: 2023].
- [80] Catalogo Airbest, pàg. 7 [En línia]. Disponible a: <https://cl.microautomacion.com/wp-content/uploads/2020/09/Catalogo-Airbest.pdf> [Últim accés: 2023].
- [81] RS-Online. *Ventosas de vacío sèrie ZP* [En línia]. Disponible a: <https://docs.rs-online.com/ee24/A700000006748370.pdf> [Últim accés: 2023].
- [82] All3DP. *3D Printing Speed: How Fast Do 3D Printers Go in 2023?* [En línia]. Disponible a: <https://all3dp.com/2/3d-printer-speed/> [Últim accés: 2023].
- [83] Xometry. *Impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS): Visión general de la tecnología* [En línia]. Disponible a: <https://xometry.eu/es/impresion-3d-por-sinterizacion-laser-selectiva-sls-vision-general-de-la-tecnologia/> [Últim accés: 2023].
- [84] Hubs. *What affects the price of 3D printing?* [En línia]. Disponible a: <https://www.hubs.com/knowledge-base/how-much-does-3d-print-cost/> [Últim accés: 2023].
- [85] Filament2print. *PC Premium Raise3D* [En línia]. Disponible a: <https://filament2print.com/es/pc-policarbonato/1118-pc-premium-raise-3d.html> [Últim accés: 2023].
- [86] Filament2print. *Nylon FX256 (PA12)* [En línia]. Disponible a: <https://filament2print.com/es/nylon-pa/865-nylon-fx256-pa12.html> [Últim accés: 2023].
- [87] Filament2print. *CPE HG100 (PETG avanzado)* [En línia]. Disponible a: <https://filament2print.com/es/copoliesteres-pet/890-cpe-hg100.html> [Últim accés: 2023].

- [88] Filament2print. *PA11 Blue Care - Polvo para impresión SLS* [En línia]. Disponible a: <https://filament2print.com/es/polvos/1574-pa11-blue-care-polvo-para-impresion-sls.html> [Últim accés: 2023].
- [89] Filament2print. *Filamento de Nylon-Fibra de Carbono (CF15)* [En línia]. Disponible a: <https://filament2print.com/es/nylon-pa/797-nylon-fibra-carbono-cf15.html> [Últim accés: 2023].
- [90] Filament2print. *PETG Carbonfil* [En línia]. Disponible a: <https://filament2print.com/es/copoliesteres-pet/1195-petg-carbonfil.html> [Últim accés: 2023].
- [91] All3DP. *3D Printing Fumes & Air Quality – A Practical Guide (2022)* [En línia]. Disponible a: <https://all3dp.com/1/3d-printing-emissions-air-quality/> [Últim accés: 2023].
- [92] Dig This Out. *Are 3D printers fume toxic? How to reduce toxic 3d printing fumes?* [En línia]. Disponible a: <https://www.digthisout.com/how-to-reduce-toxic-3d-printing-fumes/> [Últim accés: 2023].
- [93] Dynamism. *Particle Emissions During 3D Printing* [En línia]. Disponible a: <https://www.dynamism.com/learn/3d-printing/particle-emissions-during-3d-printing.html> [Últim accés: 2023].
- [94] MAKE USE OF. *Is 3D Printing Eco-Friendly?* [En línia]. Disponible a: <https://www.makeuseof.com/is-3d-printing-eco-friendly/> [Últim accés: 2023].
- [95] Production Automation Blog. *3D Printing Fume Extractors for Odors and Particles* [En línia]. Disponible a: <https://blog.gotopac.com/2018/10/09/carbon-hepa-filters-for-toxic-3d-printing-fumes-particles-odors/> [Últim accés: 2023].
- [96] Production Automation Blog. *3D Printing Fume Extractors for Odors and Particles* [En línia]. Disponible a: <https://www.filamentive.com/3d-printing-with-polycarbonate-a-potential-silent-killer/> [Últim accés: 2023].

- [97] Azimi, P., Fazli, T., & Stephens, B. (2017). *Predicting concentrations of ultrafine particles and volatile organic compounds resulting from desktop 3D printer operation and the impact of potential control strategies*. *Journal of Industrial Ecology*, 21(S1), S107-S119. [En línia]. Disponible a: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jiec.12578> [Últim accés: 2023].
- [98] DIG THIS OUT. *6 best quiet 3d printers with self leveling bed* [En línia]. Disponible a: <https://www.digthisout.com/best-quiet-3d-printer/> [Últim accés: 2023].
- [99] Damanhuri, A. A. M., et al. (2019). *Emission of selected environmental exposure from selective laser sintering (SLS) polyamide nylon (PA12) 3D printing process*. *Journal of Safety, Health & Ergonomics*, 1(1). [En línia]. Disponible a: <http://fazpublishing.com/jshe/index.php/jshe/article/view/1/5> [Últim accés: 2023].
- [100] 3D Natives. *Nylon and Sustainability, the Path to Responsible Additive Manufacturing?* [En línia]. Disponible a: <https://www.3dnatives.com/en/nylon-and-sustainability-the-path-to-responsible-additive-manufacturing-240120224/#!> [Últim accés: 2023].
- [101] Perch Energy. *Is 3D Printing Eco-Friendly & Sustainable? (Answer: Not Quite)* [En línia]. Disponible a: https://www.perchenergy.com/blog/innovation/is-3d-printing-eco-friendly-sustainable#mcetoc_1gd11vg2j3j [Últim accés: 2023].
- [102] Fanuc. *SCARA Robot SR-6iA* [En línia]. Disponible a: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%c3%a1gina-filtro-robots/scara-series/scara-sr-6ia> [Últim accés: 2023].
- [103] Fanuc. *Controlador R-30iB Plus* [En línia]. Disponible a: https://www.fanuc.eu/es/ue_zuk/robots/accesorios/robot-controller-r-30ib-plus [Últim accés: 2023].
- [104] FANUC Robotics SYSTEM R-30iA and R-30iB Controller KAREL Reference Manual [En línia]. Disponible a: <https://icdn.tradew.com/file/201606/1569362/pdf/7066350.pdf> [Últim accés: 2023].

- [105] UPC Commons. *descripción del armario de control del robot Fanuc* [En línia]. Disponible a: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185485/40195-3452.pdf> [Últim accés: 2023].
- [106] Unchained Robotics. *Omron Cobra 650* [En línia]. Disponible a: <https://unchainedrobotics.de/en/products/robot/industrial-robot/omron-cobra-650> [Últim accés: 2023].
- [107] Robots SCARA Datasheet [En línia]. Disponible a: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/es/v8/i137e_x-series_scara_robots_datasheet_es.pdf [Últim accés: 2023].
- [108] Ixon. *Acceso remoto para el controlador PLC de Omron* [En línia]. Disponible a: <https://www.ixon.cloud/es/base-de-conocimientos/acceso-remoto-para-el-controlador-plc-de-omron> [Últim accés: 2023].
- [109] Jim Heffernan. *Fanuc Robot IO* [En línia]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=Ilf3NvgWNvk> [Últim accés: 2023].
- [110] JHernando. *Bandas. Transportadoras de pvc, poliuretano (tpu), goma y teflon* [En línia]. Disponible a: <https://www.jhernando.es/bandas-transportadoras-pvc-tpu> [Últim accés: 2023].
- [111] Aplicaciones Industriales. *Bandas transportadoras modulares* [En línia]. Disponible a: <https://www.aplicacionesindustrialescc.com/#bandas-transportadoras-pvc-tpu-goma-reflon> [Últim accés: 2023].
- [112] Abina. *Bandas con grabado.* [En línia]. Disponible a: <https://www.abina.com/new2/Catalogos/621/bandas%20cangilones%20correas.pdf> [Últim accés: 2023].
- [113] Direct Industry. *Cinta transportadora de PVC* [En línia]. Disponible a: <https://www.directindustry.es/prod/zhejiang-fuda-rubber-co-ltd/product-228757-2538690.html> [Últim accés: 2023].

- [114] Vevor. *VEVOR Máquina Transportadora Eléctrica, Cinta Transportadora Electrónica de PVC 1500x200x750mm* [En línea]. Disponible a: https://www.vevor.es/cinta-transportadora-c_10439/cinta-transportadora-150x19-8cm-tabla-transportadora-0-25-m-min-doble-guardrail-p_010464727863 [Últim accés: 2023].
- [115] Aliexpress. *Cinta transportadora de alimentos de acero inoxidable, ancho de banda de 200mm, potencia de 60W, blanco para cinta de PU de grado alimenticio* [En línea]. Disponible a: <https://es.aliexpress.com/i/1005002994078753.html> [Últim accés: 2023].
- [116] Voltimum. *Guía de perfiles - (Tipos de cabezas de tornillos) - Wiha* [En línea]. Disponible a: <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/guia-perfiles-tipos-cabezas> [Últim accés: 2023].
- [117] RS-PRO. *Juego de llaves hexagonales en L RS PRO de 15 piezas, métrica de 1.27 → 10mm* [En línea]. Disponible a: <https://es.rs-online.com/web/p/llaves-hexagonales/5423509> [Últim accés: 2023].
- [118] RS-PRO. *Juego de llaves hexagonales en T RS PRO de 10 piezas, métrica de 2.5 → 10mm* [En línea]. Disponible a: <https://es.rs-online.com/web/p/llaves-hexagonales/0537811> [Últim accés: 2023].
- [119] Amazon. *YINSAN 120Pcs Destornilladores Precision Kit* [En línea]. Disponible a: https://www.amazon.es/YINSAN-Destornilladores-Magnetizador-Herramientas-Profesional/dp/B07XDVDYR4/ref=sr_1_3?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=A15DT6ZRXF7J&keywords=yinsan+120pcs+destornilladores+precisi%C3%B3n+kit&qid=1687443275&s=tools&prefix=yinsan+120pcs+destornilladores+precision+kit%2Cdiy%2C102&sr=1-3 [Últim accés: 2023].
- [120] 3D Printers Shop. *Zortrax INVENTURE + DSS Station - Impresora 3D* [En línea]. Disponible a: <https://www.3dprinters-shop.com/es/impresoras-3d/259-zortrax-inventure-impresora-3d.html> [Últim accés: 2023].
- [121] Raise 3D. *Raise 3D E2* [En línea]. Disponible a: <https://www.raise3d.com/e2/> [Últim accés: 2023].

- [122] 3D Jake. *Flashforge Creator 3 Pro* [En línia]. Disponible a: <https://www.3djake.es/flashforge/creator-3-pro> [Últim accés: 2023].
- [123] Amazon. *SIMAX3D 5 unidades de Boquillas de volcán 0.4 mm, cabeza impresa de acero endurecido M6 para piezas de extrusora* [En línia]. Disponible a: https://www.amazon.es/SIMAX3D-endurecido-compatible-artiller%C3%ADa-Sidewinder/dp/B09PDMRJYP/ref=sr_1_8?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&críd=K4MY0HDQEKWX&keywords=volcano+nozzle+0.4+acero&qid=1686138488&sprefix=volcano+nozzle+0.4+acero%2Caps%2C88&sr=8-8 [Últim accés: 2023].
- [124] All3DP. *The Best SLS 3D Printers in 2023* [En línia]. Disponible a: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/> [Últim accés: 2023].
- [125] Filament2print. *Sinterit Lisa X - Impresora 3D SLS* [En línia]. Disponible a: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/> [Últim accés: 2023].
- [126] 3DZ. *Formlabs Serie Fuse* [En línia]. Disponible a: https://3dz.es/app/uploads/2022/10/formlabs_Fuse1_ESP_web.pdf [Últim accés: 2023].

Simultaneïtat en Enginyeria Mecànica i Enginyeria Electrònica i Automàtica

**DISSENY D'UN SISTEMA DE DETECCIÓ DE DEFECTES AUTOMÀTIC
PER A JUNTES DE VÀLVULES SELECTORES DE PISCINA**

VOLUM II

Memòria. Part Mecànica

DANIEL JIMÉNEZ ISÁBAL

PONENT: SERGIO MORALES PLANAS

ANY 2022-2023

Agraïments

Vull agrair en primer lloc a la meva família per donar-me suport i animar-me durant tot el desenvolupament d'aquest projecte. Gràcies a ells, se m'ha alleujat la càrrega de treball derivada de portar endavant aquest projecte.

També vull agrair a Sergio Morales, el meu tutor de TFG, per proposar-me un tema interessant d'aplicació industrial, i que gràcies a les seves connexions amb Fluidra m'ha proporcionat mostres de juntes estrellades amb tot tipus de defectes per analitzar de forma pràctica. També ha estat el pont per entrar en contacte amb AIS Vision Systems, empresa de visió artificial, per utilitzar les seves instal·lacions en el desenvolupament del projecte. Ha estat molt atent com a tutor de projecte, responent ràpidament als meus dubtes tant en forma de missatge directe com de reunions.

Finalment, agrair a Jose Racionero, Managing Director de AIS Vision Systema, i a tot el personal de la seu de Sabadell per rebre'm a l'empresa, cedir-me un espai de treball per a utilitzar les seves càmeres de visió artificial, i aconsellar-me en l'elaboració dels programes de visió quan necessitava ajuda.

Resum executiu

Aquest document es correspon a la memòria de Mecànica del treball de fi de grau (TFG) per la Simultaneïtat en Enginyeria Mecànica i Enginyeria Electrònica i Automàtica cursada a la universitat Tecnocampus de Mataró.

El projecte consisteix en el disseny d'un sistema de detecció de defectes en juntes de goma per a vàlvules selectores de filtres de piscina, tot utilitzant eines de visió artificial per a millorar i agilitzar el procés de control de qualitat. Cal comentar que es tracta d'un projecte que consta de dues parts, una corresponent al grau de Mecànica i un altre al d'Electrònica. Per tant, les dues memòries tindran apartats comuns.

Primerament es realitzarà una breu introducció, explicant la motivació que ha determinat la realització d'aquest projecte, els objectius i l'abast.

S'utilitzarà la informació del marc teòric i dades productives de PRELAST, l'empresa fabricant de les juntes, per definir els requisits funcionals principals per tal de portar a terme el projecte i adaptar-se al seu volum de producció. També s'identificaran els defectes més importants que poden aparèixer en les juntes, i la situació actual del control de qualitat de l'empresa amb un AMFE (Anàlisi Modal de Falles i Efectes).

En la generació d'alternatives de solució, s'analitzaran diferents tecnologies disponibles al mercat per al transport i separació de peces defectuoses de la línia principal de producció. Concretament, el defecte de micro-fractures, el més difícil de detectar, requerirà de major manipulació per a observar correctament els defectes.

L'anàlisi de viabilitat determinarà la millor solució, i un cop s'hagi definit en detall, es dissenyarà l'utilitatge per retirar les juntes defectuoses, fent eleccions de materials, simulacions i correccions. També es dissenyarà la distribució en planta del sistema de detecció de defectes.

Seguidament, es realitzaran els apartats de pressupost i planificació, tot definint plans de contingència.

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

Resumen ejecutivo

Este documento se corresponde a la memoria de Mecánica del trabajo de fin de grado (TFG) por la Simultaneidad en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica y Automática cursada a la universidad Tecnocampus de Mataró.

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de detección de defectos en juntas de goma para válvulas selectoras de filtros de piscina, utilizando herramientas de visión artificial para mejorar y agilizar el proceso de control de calidad. Hay que comentar que se trata de un proyecto que consta de dos partes, una correspondiente al grado de Mecánica y otro al de Electrónica. Por lo tanto, las dos memorias tendrán apartados comunes.

Primeramente, se realizará una breve introducción, explicando la motivación que ha determinado la realización de este proyecto, los objetivos y el alcance.

Se utilizará la información del marco teórico y datos productivos de PRELAST, la empresa fabricando de las juntas, para definir los requisitos funcionales principales para llevar a cabo el proyecto y adaptarse a su volumen de producción. También se identificarán los defectos más importantes que pueden aparecer en las juntas, y la situación actual del control de calidad de la empresa con un AMFE (Análisis Modal de Fallas y Efectos).

En la generación de alternativas de solución, se analizarán diferentes tecnologías disponibles al mercado para el transporte y separación de piezas defectuosas de la línea principal de producción. Concretamente, el defecto de microfracturas, el más difícil de detectar, requerirá de mayor manipulación para observar correctamente los defectos.

El análisis de viabilidad determinará la mejor solución, y una vez se haya definido en detalle, se diseñará el utillaje para retirar las juntas defectuosas, haciendo elecciones de materiales, simulaciones y correcciones. También se diseñará la distribución en planta del sistema de detección de defectos.

Seguidamente, se realizarán los apartados de presupuesto y planificación, definiendo planes de contingencia.

Finalmente, se hará una valoración final de proyecto con las conclusiones y se tratarán los aspectos a mejorar de cara al futuro.

Abstract

This document corresponds to the report of Mechanics of the Final Degree Project (TFG) for the Double Degree in Mechanical Engineering and Electronic and Automatic Engineering at the Tecnocampus Mataró University.

The project consists of the design of a system for detecting defects in rubber gaskets for pool filter selector valves, using artificial vision tools to improve and speed up the quality control process. It should be noted that this is a project consisting of two parts, one corresponding to the degree of Mechanics and the other to the degree of Electronics. Therefore, the two reports will have common sections.

First, a brief introduction will be made, explaining the motivation that has determined the realization of this project, the objectives and the scope.

The information of the theoretical framework and production data of PRELAST, the company manufacturing the gaskets, will be used to define the main functional requirements to carry out the project and adapt it to its production volume. It will also identify the most important defects that may appear in the joints, and the current situation of the company's quality control with a FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

In the generation of solution alternatives, different technologies Disponible a on the market for the transport and separation of defective parts from the main production line will be analyzed. Specifically, the micro-fracture defect, the most difficult to detect, will require more manipulation to correctly observe the defects.

The feasibility analysis will determine the best solution, and once it has been defined in detail, the tooling to remove the defective joints will be designed, making material choices, simulations and corrections. The plant layout of the defect detection system will also be designed.

Next, the budget and planning sections will be carried out, defining contingency plans.

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

Índex

Índex de figures	III
Índex de taules	IX
Glossari de termes	XI
Guia de capítols	XIII
7. Desenvolupament de la solució	1
7.1. Càlculs del braç robòtic	1
7.2. Càlculs productius	12
7.3. Càlculs de la cinta transportadora.....	14
7.4. Disseny de les pinces	16
7.4.1. Optimització topològica	23
7.4.2. Simulació del model obtingut.....	28
7.5. Impressió d'un prototip amb software Ultimaker Cura.....	34
7.5.1. Paràmetres d'impressió.....	36
7.5.2. Control de la impressió.....	45
7.5.3. Resultats d'impressió	47
7.6. Disseny de la línia de producció	48
7.6.1. Càmera	48
7.6.2. Taula de treball.....	50
7.6.3. Braç robòtic	53
7.6.4. Cinta transportadora	54
7.6.5. Utilitatges per a les microfractures	57
7.6.6. Estacions de treball	61
7.7. IoT i Cloud Computing	70
7.8. Perspectiva de gènere	71
8. Millora de la solució	75
8.1. Mètodes de disseny de línies de producció	75
8.2. Alternatives de disseny de planta	77

8.3. Modelització en Solidworks del layout millorat.....	81
8.3.1. Redisseny de la línia de defectes greus en base a la part electrònica	92
9. Planificació	95
9.1. Tasques del projecte	95
9.2. Diagrama de Gantt	99
9.3. Reunions programades per al compliment del TFG	106
9.4. Anàlisi de riscos i pla de contingència	108
10. Pressupost.....	113
10.1. Capítols del pressupost.....	113
10.2. Industrialització i estructura de costos	115
10.3. Rendibilitat econòmica.....	116
10.4. Consideracions	118
11. Normatives	121
11.1. Conceptes bàsics	121
11.2. Marcat CE i Directiva de màquines.....	121
11.3. Estructura de les normes de seguretat.....	122
11.4. Normativa relativa a robòtica industrial.....	123
11.6. Control de qualitat.....	123
11.7 Normatives amb PLC	123
11.8. Elements de fixació	124
11.9. Fabricació Additiva	124
12. Conclusions	126
13. Bibliografia.....	128

Índex de figures

<i>Figura 7.1.1. Nomenclatura dels eixos del robot SCARA</i>	<i>1</i>
<i>Figura 7.1.2. Moviment d'un punt en el vector $(x,y,z) = (0; 10; 2)$. Font pròpia</i>	<i>2</i>
<i>Figura 7.1.3. Rotació de 30 graus d'una trama al voltant del eix z: Font pròpia</i>	<i>3</i>
<i>Figura 7.1.4. Matrius de rotació al voltant dels eixos x, y i z. Font pròpia</i>	<i>3</i>
<i>Figura 7.1.5. Matriu de transformació (rotació i translació). Font pròpia</i>	<i>4</i>
<i>Figura 7.1.6. Matriu de transformació inversa. Font pròpia</i>	<i>4</i>
<i>Figura 7.1.7. Trames de les articulacions, el TCP i l'objecte a agafar. Font pròpia</i>	<i>5</i>
<i>Figura 7.1.8. Trames i graus de llibertat de les articulacions d'un robot.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 7.1.9. Rotacions per a que la trama 1 arribi a la posició de la trama 2. Font pròpia</i>	<i>8</i>
<i>Figura 7.1.10. Pas de la taula de de Denavit-Hartenberg a matrius de transformació. Font pròpia</i>	<i>8</i>
<i>Figura 7.1.11. Trames i graus de llibertat ubicades en el robot SCARA. Font pròpia</i>	<i>9</i>
<i>Figura 7.1.12. Esquema de trames i graus de llibertat. Font pròpia</i>	<i>9</i>
<i>Figura 7.1.13. Regla de la mà dreta</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7.1.14. Paràmetres d'entrada del moviment cap a l'estació de defectes greus. Font pròpia</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7.1.15. Paràmetres d'entrada del moviment cap a l'estació de tall de rebaves. Font pròpia</i>	<i>11</i>
<i>Taula 7.3.1. Quadres de càrrega i velocitats del Slider Bed Belt Conveyor, model TA [3]..</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7.4.1. Pinça paral·lela elèctrica FESTO EHPS-25-A-RA1A [5]</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7.4.2. Comprovació del compliment del rang d'obertura màxim i mínim. Font pròpia</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7.4.3. Opcions de cablejat de la Pinça paral·lela elèctrica</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7.4.4. Unió de la pinça al braç robòtic a través del plat adaptador.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7.4.5. Disseny inicial dels dits de la pinça. Font pròpia</i>	<i>19</i>

<i>Figura 7.4.6. Acoblament a la pinça per cargols avellanats. Font pròpia.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7.4.7. Arrodoniment de les cantonades. Font pròpia</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7.4.8. Tractament de superfícies per agafar les juntes. Font pròpia</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7.4.9. Versió inicial dels dits modelitzada en Solidworks. Font pròpia</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7.4.10. Muntatge dels dits sobre la pinça en Solidworks. Font pròpia</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7.4.11. Propietats físiques per a l'anàlisi mecànic de la peça</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7.4.12. Configuració de la Optimització Topològica</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7.4.13. Regions a conservar.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7.4.14. Controls de malla aplicats. Font pròpia.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7.4.15. Resultats de la optimització topològica . Font pròpia.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7.4.16. Paràmetre de massa de material</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7.4.17. Alternar entre la vista original i la optimitzada topològicament</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7.4.18. Ressaltat de les parts a treure. Font pròpia</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7.4.19. Forma final de les pinces. Font pròpia</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7.4.20. Tractament de malla en les zones més importants per analitzar. Font pròpia</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7.4.21. Resultat de l'anàlisi de tensions Von Mises. Font pròpia</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7.4.22. Resultat de deformacions unitàries. Font pròpia</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7.4.23. Resultat de l'anàlisi de desplaçaments. Font pròpia</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7.4.24. Vistes de la versió final del disseny funcional. Font pròpia.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7.4.25. Muntatge dels dits finals en la pinça paral·lela. Font pròpia</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7.4.26. Compliment del paràmetre d'obertura mínima en el TCP. Font pròpia</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7.4.27. Adaptació del disseny per a la impressió FDM. Font pròpia</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7.5.1. Format STL dels fitzers</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7.5.2. Interfície del programa Ultimaker Cura. Font pròpia</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7.5.3. Disposició dels dit en la plataforma d'impressió. Font pròpia</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7.5.3. Profile d'impressió del PETG.....</i>	<i>36</i>

<i>Figura 7.5.4. Paràmetre de Layer Height</i>	37
<i>Figura 7.5.5. Paràmetre de Wall Thickness</i>	37
<i>Figura 7.5.6. Visualització de les parets de la peça</i>	37
<i>Figura 7.5.7. Paràmetre Top/Bottom Thickness</i>	38
<i>Figura 7.5.8. Estructura Infil</i>	38
<i>Figura 7.5.9. Tipus d'estructures Infil</i>	39
<i>Figura 7.5.10. Paràmetre Infil Density (%)</i>	40
<i>Taula</i>	40
<i>Figura 7.5.12. Paràmetre Top/Bottom Thickness. Font pròpia</i>	41
<i>Figura 7.5.13. Triangle (irregular)/ Tri/hexàgon (irregular) /Concentric (peça massa estreta)</i>	41
<i>Figura 7.5.14. Paràmetre Temperatura d'impressió de PETG. Font pròpia</i>	42
<i>Figura 7.5.15. Fenòmen de stringing / oozing</i>	42
<i>Figura 7.5.16. Paràmetre print speed. Font pròpia</i>	42
<i>Figura 7.5.17. Paràmetre Travel. Font pròpia</i>	43
<i>Figura 7.5.18. Paràmetre Cooling. Font pròpia</i>	43
<i>Figura 7.5.19. Paràmetre Support. Font pròpia</i>	43
<i>Figura 7.5.20. Visualització del Skirt d'impressió</i>	44
<i>Figura 7.5.21. Monitoreig online dels paràmetres d'impressió</i>	45
<i>Figura 7.5.22. Monitoreig dels paràmetres via HMI. Font pròpia</i>	46
<i>Figura 7.5.23. Formació del Skirt durant la impressió dels dits</i>	46
<i>Figura 7.5.24. Primera impressió de la peça</i>	47
<i>Figura 7.5.25. Modificació del croquis de les dents</i>	47
<i>Figura 7.5.26. Millora de la rugositat de la superfície en la segona impressió. Font pròpia</i>	48
<i>Figura 7.6.1. OMRON GigE Vision Area Scan Camera, Monochrome, CMOS Sony IMX430</i>	48

<i>Figura 7.6.2. Acoblament de la càmera a la pinça amb un adaptador. Font pròpia</i>	49
<i>Figura 7.6.2. Disseny de l'adaptador per a Impressió 3D. Font pròpia</i>	50
<i>Figura 7.6.2. Model 3D de taula de treball industrial [16]</i>	50
<i>Figura 7.6.3. Suport articulats per a portàtils</i>	51
<i>Figura 7.6.4. Modelització del suport articulats de portàtils. Font pròpia</i>	51
<i>Figura 7.6.5. Vista explosionada del suport articulats de portàtils. Font pròpia</i>	52
<i>Figura 7.6.6. Caixes d'eines a les taules de treball. Font pròpia</i>	52
<i>Figura 7.6.7. Model 3D del robot Fanuc SCARA Robot SR-6iA</i>	53
<i>Figura 7.6.8. Plat adaptador per acoblar la pinça al robot SCARA. Font pròpia</i>	53
<i>Figura 7.6.9. Exemple de funcionament d'una cèl·lula fotoelèctrica en cinta transportadora</i>	54
<i>Figura 7.6.10. FESTO Barrera de luz SOOE-TB-L-PNLK-T, alcance 20 M [18]</i>	54
<i>Figura 7.6.11. Model 3D de cinta transportadora amb parets protectores [19]</i>	55
<i>Figura 7.6.12. Model 3D de cinta transportadora sense parets protectores [20]</i>	55
<i>Figura 7.6.13. Acoblament del robot i la barrera de llum en cintes amb parets elevades.</i> <i>Font pròpia</i>	56
<i>Figura 7.6.14. Acoblament del robot en cintes sense parets elevades. Font pròpia</i>	56
<i>Figura 7.6.15. Acoblament de la barrera de llum en cintes sense parets elevades. Font</i> <i>pròpia</i>	57
<i>Figura 7.6.16. Utilitatge per a les fractures de l'anell intern. Font pròpia</i>	58
<i>Figura 7.6.17. Operació Rosca de Solidworks [21]</i>	58
<i>Figura 7.6.18. Unió mecànica "Tornillo" de Solidworks [22]</i>	59
<i>Figura 7.6.19. Utilitatge per a les fractures dels radis. Font pròpia</i>	59
<i>Figura 7.6.20. Assemblatge per a fixar l'utilitatge per a les fractures dels radis. Font pròpia</i>	60
<i>Figura 7.6.21. Disseny inicial de l'estació de defectes greus. Font pròpia</i>	61
<i>Figura 7.6.22. Carro de transport per moure el dipòsit de residus</i>	62

<i>Figura 7.6.23. Com moure subensamblatges. Font pròpia</i>	<i>62</i>
<i>Figura 7.6.24. Exemple de línia amb taules a tocar de les cintes</i>	<i>63</i>
<i>Figura 7.6.25. Integració del contenidor acumulador en la taula de treball. Font pròpia ..</i>	<i>64</i>
<i>Figura 7.6.26. Maneres d'evitar la col·lisió operari-robot. Font pròpia.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 7.6.27. Ubicació dels forats del robot SCARA. Font pròpia.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 7.6.28. Base per al robot SCARA. Font pròpia.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 7.6.29. Disseny inicial de l'estació de tall de rebaves. Font pròpia</i>	<i>66</i>
<i>Figura 7.6.30. Disseny inicial de l'estació d'inspecció d'esquerdes. Font pròpia.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 7.6.31. Disseny inicial de l'estació completa. Font pròpia</i>	<i>68</i>
<i>Figura 7.7.1. Protocols de les capes de comunicació a utilitzar en xarxes locals WLAN....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 8.1.1. Formes de les línies de producció</i>	<i>75</i>
<i>Figura 8.1.2. La línia recta (verd) pot obstruir el trànsit de materials i operaris(blanc)</i>	<i>76</i>
<i>Figura 8.1.3. Adaptabilitat d'altres demandes en afegir operaris en línies de U.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 8.1.4. Línia d'assemblatge en forma de S</i>	<i>77</i>
<i>Figura 8.2.1. Esquema visual de la línia en forma de I</i>	<i>78</i>
<i>Figura 8.2.2. Esquema visual de la línia en forma de U</i>	<i>79</i>
<i>Figura 8.2.3. Esquema visual de la línia de processos paral·lels</i>	<i>79</i>
<i>Figura 8.2.4. Esquema visual de la línia en forma de línies paral·leles</i>	<i>80</i>
<i>Figura 8.3.1. Càmera Datalogic instal·lada en suports de sobre taula. Font pròpia</i>	<i>81</i>
<i>Figura 8.3.2. Marc metàl·lic per a regular l'altura d'instal·lació de la càmera. Font pròpia</i>	<i>82</i>
<i>Figura 8.3.3. Dades del perfil d'alumini 40x40 mm</i>	<i>82</i>
<i>Figura 8.3.4. Sistema d'unió entre perfils d'alumini [27].....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 8.3.5. Sistema d'unió de la càmera Datalogic a un marc de perfils d'alumini [27]</i>	<i>83</i>
<i>Figura 8.3.6. Rosques de cap de martell per a les ranures dels perfils d'alumini.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 8.3.7. Distància curta entre la càmera i el PC de programació. Font pròpia</i>	<i>84</i>
<i>Figura 8.3.8. Robot amb càmera Omron CMOS Sony IMX430. Font pròpia</i>	<i>85</i>

<i>Figura 8.3.9. Panell de control industrial amb pantalla HMI integrada</i>	86
<i>Figura 8.3.10. Distribució dels botons per al panell elèctric de control industrial. Font pròpia</i>	86
<i>Figura 8.3.11. Suport per al panell de control industrial. Font pròpia</i>	87
<i>Figura 8.3.12. Instal·lació del controlador al xassís de la cinta transportadora. Font pròpia</i>	87
<i>Figura 8.3.13. Terminal Blocks de E/S instal·lats en estructures metàl·liques</i>	88
<i>Figura 8.3.14. Cables recollits del dom d'il·luminació. Font pròpia</i>	88
<i>Figura 8.3.15. Vista superior del layout millorat de la línia completa. Font pròpia</i>	89
<i>Figura 8.3.16. Vista des del final del layout millorat de la línia completa. Font pròpia.....</i>	90
<i>Figura 8.3.17. Vista des de l'inici del layout millorat de la línia completa. Font pròpia.....</i>	91
<i>Figura 8.3.18. Vista superior de l'estació de defectes greus redissenyada. Font pròpia.....</i>	92
<i>Figura 8.3.19. Vista lateral de l'estació de defectes greus redissenyada. Font pròpia.....</i>	93
<i>Figura 8.3.20. Vista isomètrica de l'estació de defectes greus redissenyada. Font pròpia ..</i>	94
<i>Figura 9.4.1. Diagrama de flux del procés de gestió de riscos</i>	110
<i>Figura 10.1.1. Total del pressupost</i>	114
<i>Figura 10.4.1. Serveis de Protolabs</i>	119
<i>Figura 10.4.1. Referències per a l'estimació del cost del panell de control industrial.....</i>	120
<i>Figura 11.1. Llista de directives i reglaments relatius al marcat CE</i>	121
<i>Figura 11.2. Esquema de normes derivades de la Directiva de Màquines</i>	122
<i>Figura 11.4.. Normes de Control de Qualitat de les indústries</i>	123

Índex de taules

<i>Taula 7.1.1. Matriu Denavit-Hartenberg associada. Font pròpia.....</i>	7
<i>Taula 7.1.2. Matriu Denavit-Hartenberg del robot SCARA. Font pròpia.....</i>	10
<i>Taula 7.3.1. Quadres de càrrega i velocitats del Slider Bed Belt Conveyor, model TA.....</i>	16
<i>Taula 7.5.11. Comparació de velocitat d'impressió de diferents infils [12]</i>	40
<i>Taula 7.6.1. AMFE actualitzat després de definir les estacions de la línia.....</i>	69
<i>Taula 9.1.1. Terminis d'entrega a tenir en compte. Font pròpia.....</i>	95
<i>Taula 9.1.2. Capítols del projecte de l'Estudi Econòmic.....</i>	95
<i>Taula 9.1.3. Llistat de tasques per al Diagrama de Gantt. Font pròpia.....</i>	96
<i>Taula 9.1.4. Llistat de sub-tasques pel Diagrama de Gantt. Font pròpia</i>	98
<i>Taula 9.2.1. Preu en HN dels apartats del capítol I de l'Estudi Econòmic</i>	99
<i>Taula 9.2.2. Definició de les HN a Microsoft Project. Font pròpia</i>	99
<i>Taula 9.2.3. Creació de sub-tasques a Microsoft Project. Font pròpia</i>	100
<i>Taula 9.2.4. Tasques de l'avantprojecte en el Diagrama de Gantt. Font pròpia</i>	100
<i>Taula 9.2.5. Detall de l'inici de l'activitat "Objectius i Abast". Font pròpia.....</i>	101
<i>Taula 9.2.6. Activitats abans i després de l'entrega de l'Avantprojecte. Font pròpia</i>	102
<i>Taula 9.2.7. Tasques del Projecte de Detall en el Diagrama de Gantt. Font pròpia</i>	102
<i>Taula 9.2.8. Llista completa de tasques, subtasques i períodes.....</i>	105
<i>Taula 9.4.1: Pla de contingència</i>	109
<i>Taula 9.4.2. Guia d'indicadors per complir amb la normativa de seguretat de màquines ...</i>	111
<i>Taula 10.1.1. Capítol 1 del pressupost.....</i>	113
<i>Taula 10.1.2. Capítol 2 del pressupost.....</i>	114
<i>Taula 10.2.1. Personal subcontractat necessari per a la instal·lació i setup de la línia. Font pròpia</i>	115
<i>Taula 10.2.2. Costos fixos anuals</i>	116
<i>Taula 10.3.1. Costos d'inversió inicials.....</i>	116

<i>Taula 10.3.2. Rendibilitat econòmica del projecte a 5 anys</i>	117
<i>Taula 10.3.3. Capítol 1 del pressupost.....</i>	117
<i>Taula 10.4.1. Costos d'impressió dels utilitatges en PA11 en pols. Font pròpia</i>	118
<i>Taula 11.3.. Normes A, B i C relatives a la robòtica industrial</i>	123

Glossari de termes

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials International</i>
EOAT	<i>End OF Arm Tool</i>
EPDM	Cautxú etilè-propilè-diè (<i>Ethylene Propylene Diene Methylene</i>)
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
ISO	International Organization for Standardization
IVA	Impost sobre el Valor Agregat
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PETG	PolyEthylen Terephthalato de Glicol
SCARA	Selective Compilant Assembly Robot Arm
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
TCP	<i>Tool Center Point</i>
TFG	Treball Final de Grau
UNE	Una Norma Española
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

Guia de capítols

Aquest apartat permet aportar una guia que indiqui quins són els apartats comuns en les memòries de Mecànica i Electrònica (subratllats), i quins són exclusius del document present.

7. Desenvolupament de la solució

7.1. Càlculs del braç robòtic

7.2. Càlculs productius

7.3. Càlculs de la cinta transportadora

7.4. Disseny de les pinces

7.5. Impressió d'un prototip amb software Ultimaker Cura

7.6. Disseny de la línia de producció

7.7. IoT i Cloud Computing

7.8. Perspectiva de gènere

8. Millora de la solució

8.1. Mètodes de disseny de línies de producció

8.2. Alternatives de disseny de planta

8.3. Modelització en Solidworks del layout millorat

9. Planificació

9.1. Tasques del projecte

9.2. Diagrama de Gantt

9.3. Reunions programades per al compliment del TFG

9.4. Anàlisi de riscos i pla de contingència

10. Pressupost

10.1. Capítols del pressupost

10.2. Industrialització i estructura de costos

10.3. Rendibilitat econòmica

10.4. Consideracions

11. Normatives

11.1. Conceptes bàsics

11.2. Marcat CE i Directiva de màquines

11.3. Estructura de les normes de seguretat

11.4. Normativa relativa a robòtica industrial

11.6. Control de qualitat

11.7 Normatives amb PLC

11.8. Elements de fixació

11.9. Fabricació Additiva

12. Conclusions

7. Desenvolupament de la solució

7.1. Càlculs del braç robòtic

El robot Scara té dos articulacions rotacionals per girar el braç (eixos J1 i J2), i una articulació cilíndrica per baixar i girar simultàniament la pinça (J3 i J4). Per tant, té 4 graus de llibertat, 3 de rotació i 1 de translació.

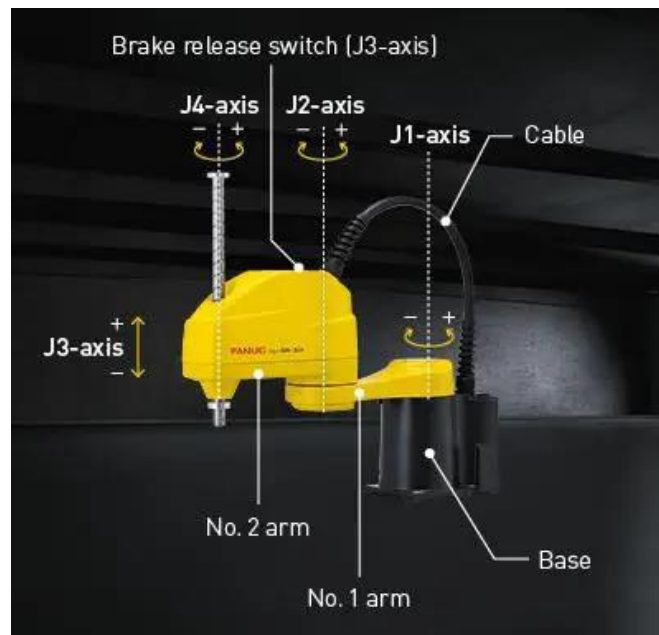


Figura 7.1.1. Nomenclatura dels eixos del robot SCARA

Hi ha dos tipus de coordenades: cartesianes (x, y, z) i articulars ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$). Per ubicar la eina (TCP), s'utilitzaran coordenades cartesianes, i per definir com s'han de moure les articulacions per a que la eina arribi a un punt concret, s'utilitzen les articulars.

En base a aquests dos tipus de coordenades i el que es vol conèixer, hi ha dos problemes de cinemàtica:

- **Problema cinemàtic directe.** Es vol conèixer la posició i orientació de la eina (TCP) respecte el sistema de coordenades de referència (normalment la base del robot), en funció de les coordenades articulars del robot i la geometria dels elements/articulacions.

- **Problema cinemàtic invers.** Es vol determinar quina configuració ha d'adoptar el robot (valor de les coordenades articulars) per tal d'aconseguir que l'extrem final del robot (TCP) estigui en una posició i orientació determinades respecte el sistema de coordenades de referència.

Per a aplicacions de Pick & Place, cal controlar en tot moment la posició de la eina, de manera que el problema a aplicar és el cinemàtic directe. Bàsicament, el moviment de l'eina es pot descompondre com a rotacions i translacions:

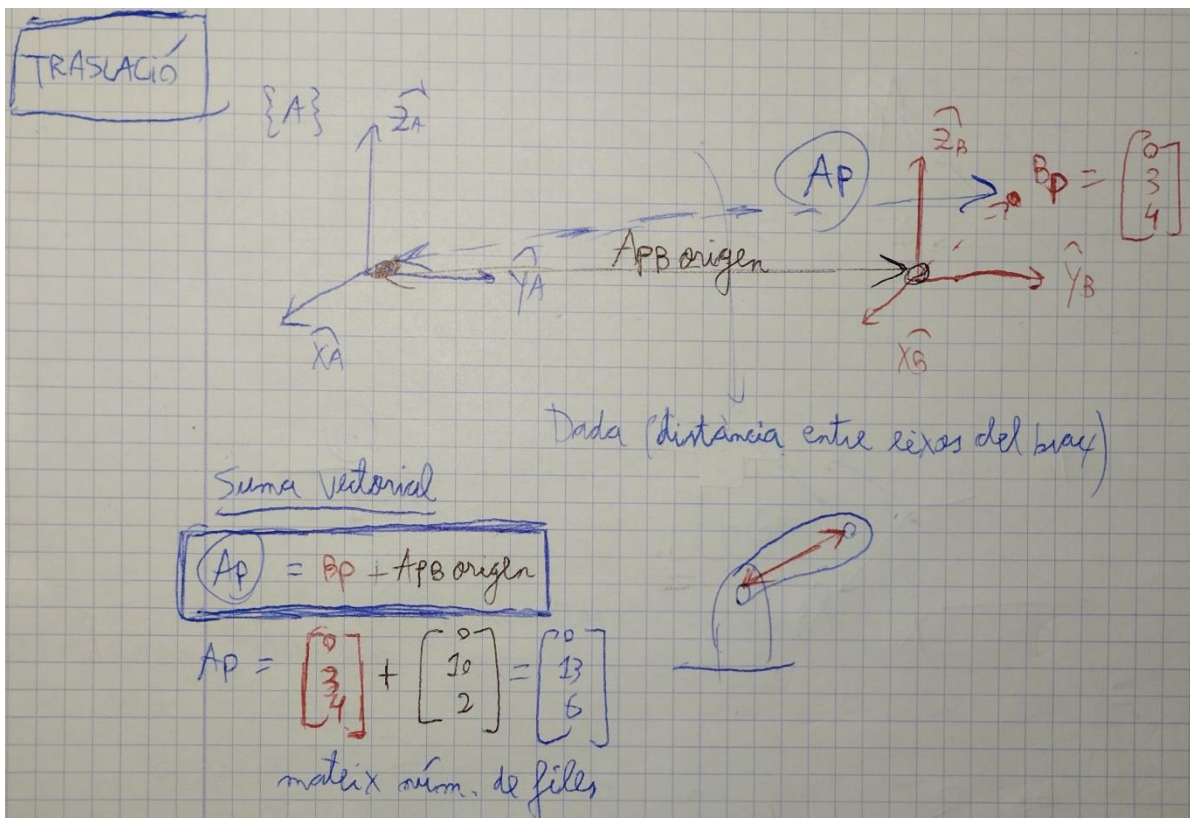


Figura 7.1.2. Moviment d'un punt en el vector $(x,y,z) = (0; 10; 2)$. Font pròpia

En una translació, la posició final de la junta $B_p (0; 3; 4)$ està referenciada respecte la trama B. Si es vol referenciar a la trama de la posició anterior, només cal sumar el vector B_p a la distància entre trames APB_{origen} .

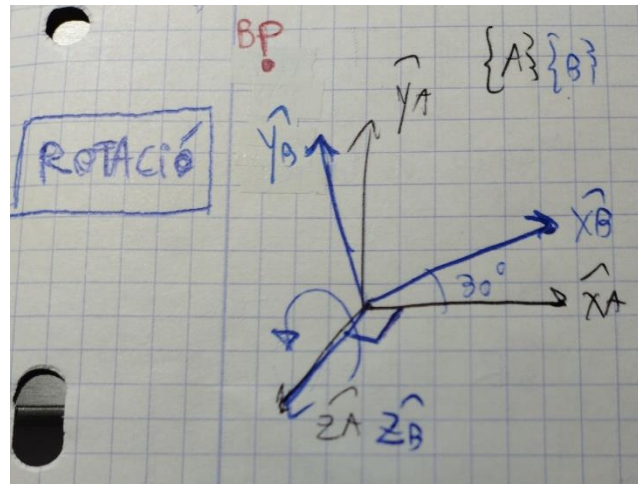


Figura 7.1.3. Rotació de 30 graus d'una trama al voltant del eix z: Font pròpia

En un rotació, els eixos de la trama final giren respecte els de la trama original, al voltant de l'eix x (R_x), y (R_y) o z (R_z). Aquestes matrius s'anomenen matrius de rotació, i si es multipliquen per la posició final B_p , s'obté el punt expressat en la trama original A_p .

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \quad R_y = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix} \quad R_z = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 7.1.4. Matrius de rotació al voltant dels eixos x, y i z. Font pròpia

Combinant els dos moviments, es construeix el que es coneix com matriu de transformació T . La nomenclatura ${}^A_B T$ indica que es passa de la trama A a la B. Per tant, per expressar el punt respecte la trama A (A_p), es multiplica B_p per la matriu de transformació.

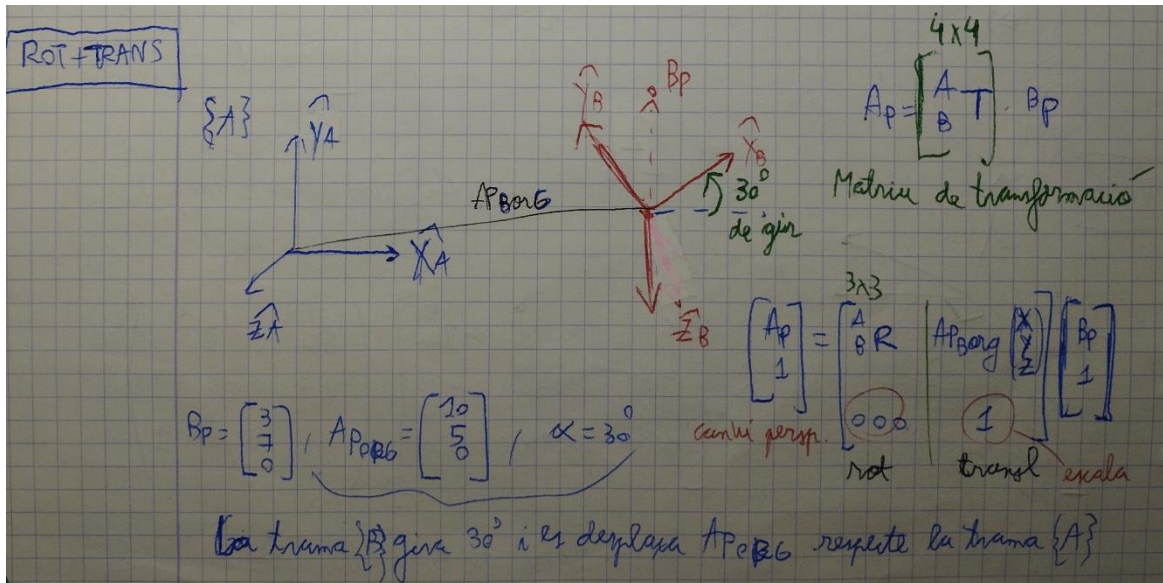


Figura 7.1.5. Matriu de transformació (rotació i translació). Font pròpia

En cas de voler fer el pas invers, obtenir el punt B_P , es multiplica el punt A_P per la matriu de transformació inversa. Es pot expressar com ${}^B_A T$ o com ${}^A_B T^{-1}$.

$$A_P = \begin{bmatrix} A \\ B \\ T \end{bmatrix} \cdot B_P$$

↓

$$B_P = A_P \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ T \end{bmatrix}^{-1} \text{ inversa}$$

Figura 7.1.6. Matriu de transformació inversa. Font pròpia

El robot té marcats eixos de coordenades en punts claus dels seus elements, anomenats trames. Aquests punts clau són la base del robot (trama d'origen o referència U), les articulacions (A i W), la punta de la eina (T), la referència de la superfície on es troba l'objecte a agafar (S) i l'objecte a agafar (G):

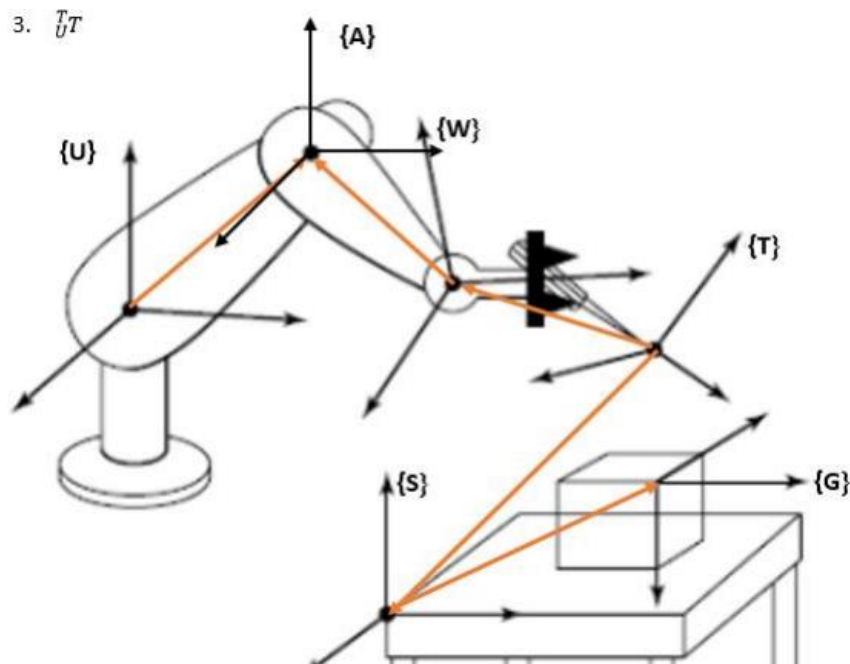


Figura 7.1.7. Trames de les articulacions, el TCP i l'objecte a agafar. Font pròpia

Per tant, aplicant el que s'ha explicat anteriorment, es pot expressar la posició de l'objecte respecte la base del robot amb la matriu de transformació ${}^U_G T$. Per a obtenir aquesta matriu, s'ha de partir de la trama U, i passar per les trames A, W, T, S i U. Cada cop que es canvia de trama es multiplica la matriu de transformació corresponent, i si es desplaça en sentit contrari al marcat per les fletxes taronges, invertir la matriu. Alguns exemples són:

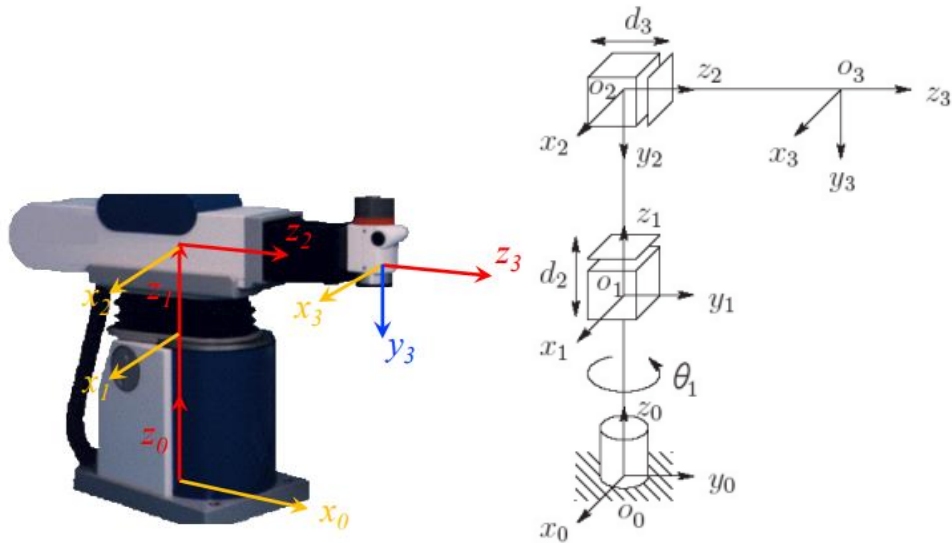
$$1. \quad {}^U_G T = {}^U_A T * {}^A_W T^{-1} * {}^W_T T^{-1} * {}^T_S T * {}^S_G T$$

$$2. \quad {}^G_T T = {}^G_S T^{-1} * {}^S_T T^{-1}$$

$$3. \quad {}^T_U T = {}^T_W T * {}^W_A T * {}^A_U T^{-1}$$

Metodologia Denavit-Hartenberg

Aquesta metodologia permet aplicar transformacions de manera senzilla coneixent la geometria del robot (graus de llibertat, dimensions de les articulacions). En aquest exemple es mostra com es descompon el robot en les trames de la base, articulacions i eina:



- Θ : Rotació sobre $Z(i-1)$ per posar $X(i-1)$ paral·lel a $X(i)$
- D : Translació sobre $Z(i-1)$ per fer coincidir els orígens de les trames $(i-1)$ i (i)
- a : Translació sobre $X(i)$ per fer coincidir els orígens de les trames $(i-1)$ i (i)
- α : Rotació sobre $X(i)$ per posar $Z(i-1)$ paral·lel a $Z(i)$

Les files de la taula es numeren amb la i , que és la trama actual. Per tant, en $i=1$ es posaran tots els girs i desplaçaments per portar la trama anterior (0) a on està la actual (1).

L'exemple a continuació mostra un robot amb dos graus de llibertat angulars (θ_1, θ_4), i dos longitudinals (d_2, d_3). Les distàncies físiques dels braços del robot s'expressen amb la lletra l , per diferenciar-les de les distàncies mòbils d .

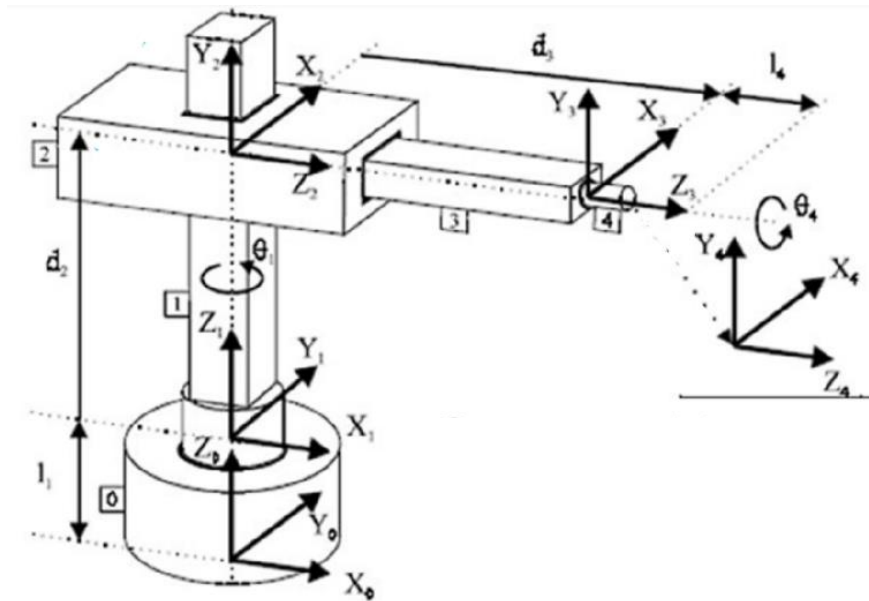


Figura 7.1.8. Trames i graus de llibertat de les articulacions d'un robot

La matriu Denavit-Hartenberg quedarà així:

i	θ	d	a	α
1	$\Theta 1$	L1	0	0
2	90	D2	0	90
3	0	D3	0	0
4	$\Theta 4$	L4	0	0

Taula 7.1.1. Matriu Denavit-Hartenberg associada. Font pròpia

Per moure la trama 1 en la mateixa posició i orientació que la trama 2, cal fer dos girs: un gir de $+90^\circ$ al voltant de l'eix Z_1 per col·locar X_1 sobre X_2 , i un gir de $+90^\circ$ al voltant de l'eix X_2 per portar Z_1 a Z_2 .

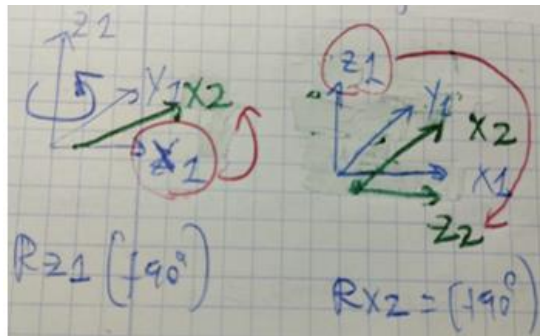


Figura 7.1.9. Rotacions per a que la trama 1 arribi a la posició de la trama 2. Font pròpia

Per passar de la taula de Denavit-Hartenberg a matrius de transformació, només cal aplicar l'equació següent:

$$T_{i-1}^i = R_x(\alpha) \cdot D_x(a) \cdot R_z(\theta) \cdot D_z(d)$$

Figura 7.1.10. Pas de la taula de de Denavit-Hartenberg a matrius de transformació. Font pròpia

Per tal d'automatitzar el càlculs de les matrius de rotació, aquest codi de Matlab permet calcular automàticament les matrius de rotació donats els angles:

```
alpha = 0; beta = 0; gamma = 0; % paràmetres d'entrada
Rx = [1 0 0; 0 cosd(alpha) -sind(alpha); 0 sind(alpha) cosd(alpha)]
Ry = [cosd(beta) 0 sind(beta); 0 1 0; -sind(beta) 0 cosd(beta)]
Rz = [cosd(gamma) -sind(gamma) 0; sind(gamma) cosd(gamma) 0; 0 0 1]
```

Càlculs sobre el robot SCARA

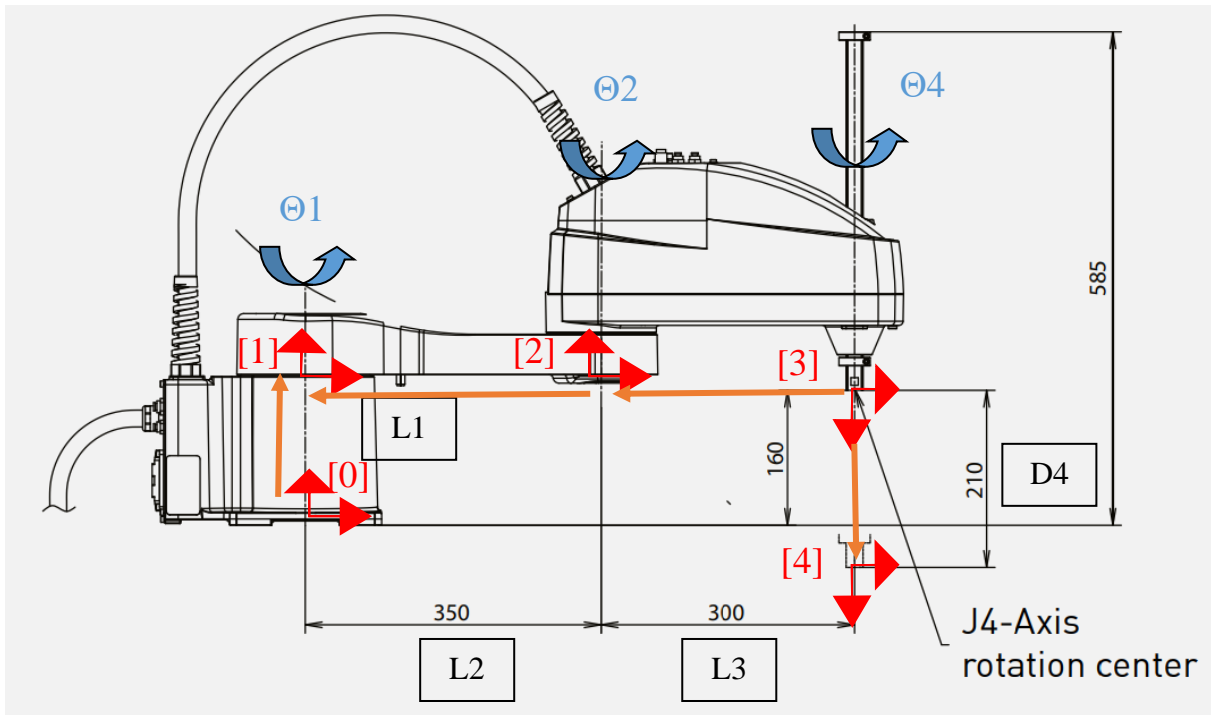


Figura 7.1.11. Trames i graus de llibertat ubicades en el robot SCARA. Font pròpia

L'eix Z normalment està alineat amb l'eix de simetria de l'articulació, l'eix x el d'abscisses i l'eix y el que queda:

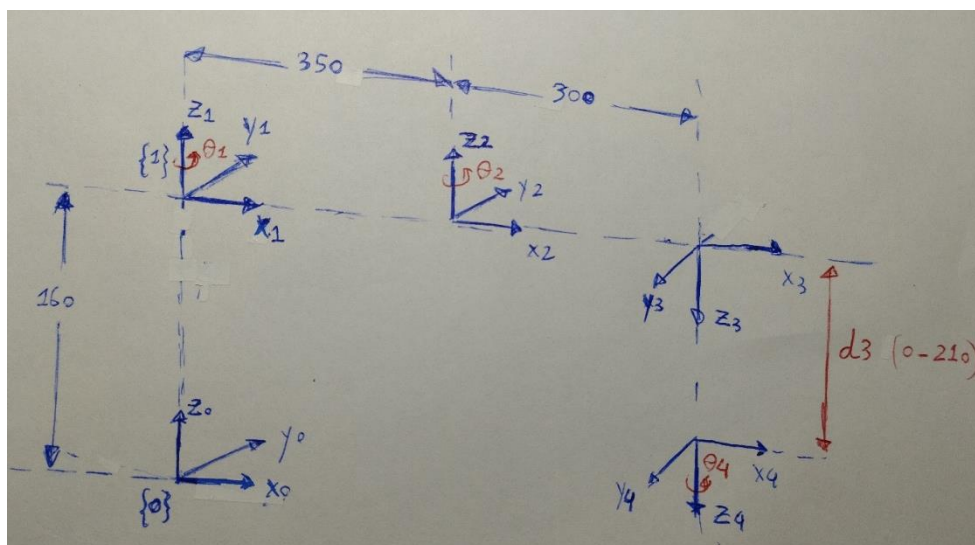


Figura 7.1.12. Esquema de trames i graus de llibertat. Font pròpia

La taula de Denavit-Hartenberg que queda és la següent:

i	θ	d	a	α
1	Θ_1	160	0	0
2	Θ_2	0	350	0
3	0	0	300	+180°
4	Θ_4	D3	0	0

Taula 7.1.2. Matriu Denavit-Hartenberg del robot SCARA. Font pròpia

L'única vegada on es canvia d'orientació els eixos de coordenades és quan es passa de la trama [2] a la [3]. Aplicant la regla de la mà dreta, si es posa el polze a l'eix X3, per portar Z2 on es troba Z3 cal girar +180°, ja que és un gir antihorari. Si fos en sentit horari, el signe seria negatiu.

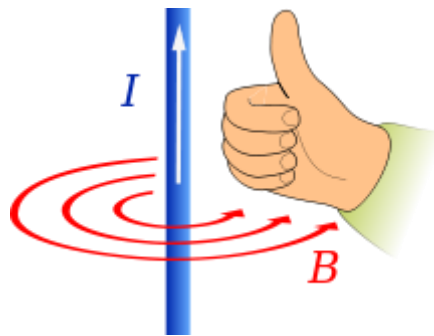


Figura 7.1.13. Regla de la mà dreta

En la zona de defectes greus, si es manté el braç totalment estirat, per deixar la junta a la zona de residus, només cal girar la articulació J1 uns -90°.

Pel que fa al moviment de les pinces, la articulació J3 ha de baixar uns $d_3 = 80$ mm des de la posició de repòs per a que la pinça arribi al nivell de la cinta, i la articulació J4 ha de girar un angle θ_4 per alinear-se amb els radis.

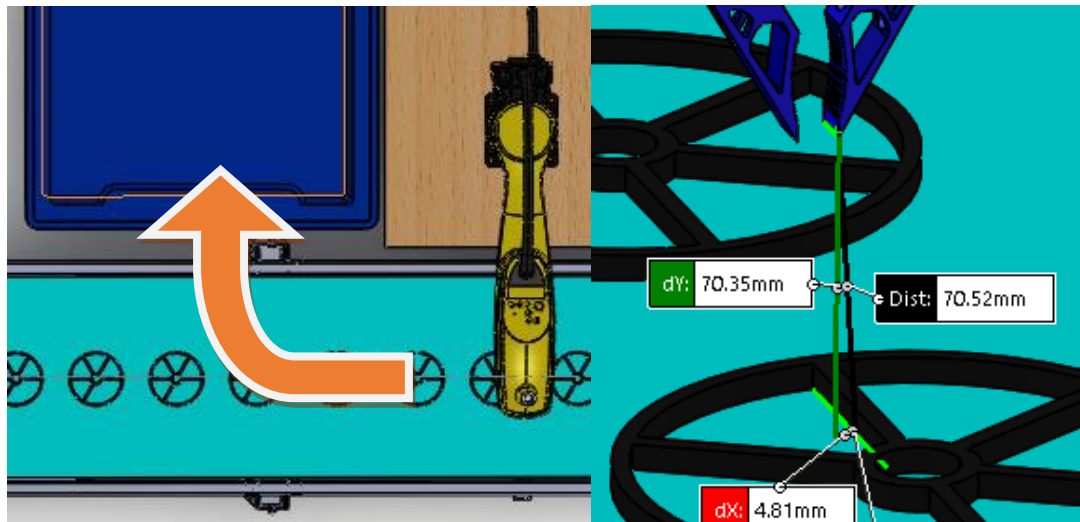


Figura 7.1.14. Paràmetres d'entrada del moviment cap a l'estació de defectes greus. Font pròpia

Pel que fa a la zona de defectes lleus, els moviments són exactament iguals, excepte que el gir de J1 és en el sentit contrari, 90°.

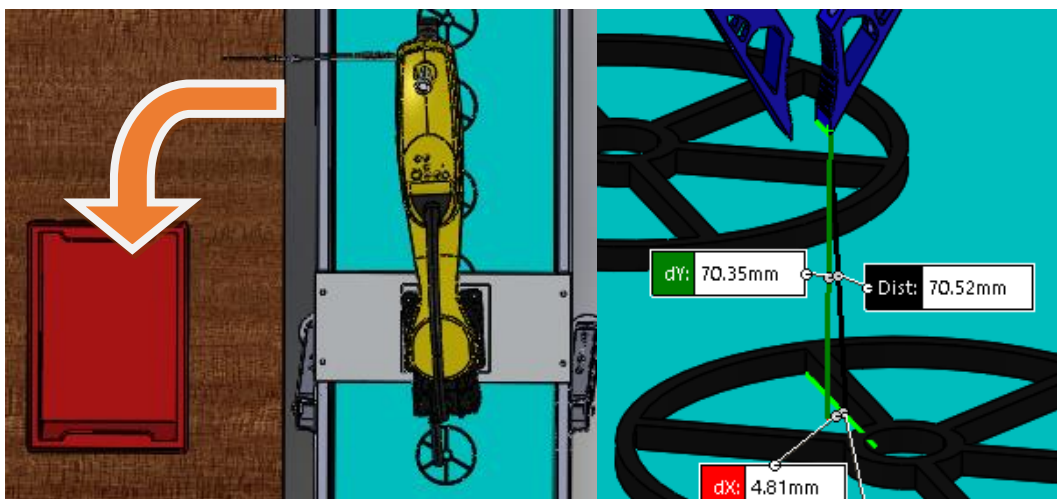


Figura 7.1.15. Paràmetres d'entrada del moviment cap a l'estació de tall de rebaves. Font pròpia

En la memòria d'electrònica s'ha desenvolupat un programa de Python per calcular automàticament les matrius de rotació i de translació, donats els paràmetres de la taula Denavit-Hartenberg.

7.2. Càlculs productius

En el sistema d'avaluació de defectes dissenyat, les juntes amb defectes greus tardaran pocs segons en ser identificades i retirades de la línia de producció, però si no en tenen, han de passar a l'estació d'avaluació de defectes lleus. Tal i com es veurà al diagrama de flux, si el robot 2 detecta rebaves excessives, l'operari les ha de tallar manualment i tornar la junta a la cinta per a que vagi a la taula d'avaluació de fractures. Si no detecta rebaves excessives, simplement segueixen el seu camí fins a la última taula. Per tant, les juntes amb rebaves excessives faran el recorregut amb el màxim de temps dins la línia de producció.

- $T_{\text{trencades}} = T_{\text{transport1}} + T_{\text{càmera1}} + T_{\text{robot1}}$
- $T_{\text{deformades}} = T_{\text{trencades}}$
- $T_{\text{fractures}} = T_{\text{transport2}} + T_{\text{càmera2}} + T_{\text{robot2}} + T_{\text{operari1}}$
- $T_{\text{rebaves}} = T_{\text{transport3}} + T_{\text{operari2}}$

Valors estimats:

- $T_{\text{transport1}}$. Temps que tarden les juntes en transportar-se per la cinta des de la línia de producció fins l'estació de defectes greus = 20s,
- $T_{\text{transport2}}$. Temps que tarden les juntes en transportar-se des de l'estació de defectes greus fins la taula de detecció de rebaves = 10s,
- $T_{\text{transport3}}$. Temps que tarden les juntes en transportar-se per la cinta des de la taula de rebaves fins la taula de micro-esquerdes = 10s
- $T_{\text{càmera1}} = T_{\text{càmera2}}$. Temps que tarden les càmeres en ubicar i inspeccionar les peces i detectar defectes = 2s
- $T_{\text{robot1}} = T_{\text{robot2}}$. Temps de cicle complet del robot SCARA = 8s
- T_{operari1} . Temps que tarda l'operari1 en tallar les rebaves = 30 s
- T_{operari2} . Temps que tarda l'operari2 en inspeccionar les fractures = 60 s

Per entrar en més detall, el cicle de treball del robot té les etapes següents:

- Baixar l'articulació J3 mentre la pinça gira (J4) per posar els dits entre dos radis de la junta
- Tancar els dits de la pinça i pujar l'articulació vertical (J3)
- Girar el braç robòtic (J1) fins alinear-lo al contenidor de residus
- Obrir els dits de la pinça per deixar caure la junta defectuosa al contenidor
- Girar el braç robòtic (J1) a la posició original

Recollint tots els temps aproximats, els temps de detecció per defecte queden de la manera següent:

- $T_{\text{trencades}} = 20 + 2 + 8 = 30 \text{ s}$
- $T_{\text{deformades}} = 30 \text{ s}$
- $T_{\text{fractures}} = 10 + 2 + 8 + 30 = 50 \text{ s}$
- $T_{\text{rebaves}} = 10 + 60 = 70 \text{ s}$
- $T_{\text{MAX}} = T_{\text{trencades}} + T_{\text{rebaves}} + T_{\text{fractures}} = 30 + 50 + 70 = \mathbf{150 \text{ s}}$

Si es volgués una producció diària de $400 \text{ juntes}/8\text{h} = 50 \text{ juntes}/\text{h}$, cada junta s'hauria de processar en com a màxim $60\text{s} / 50 \text{ juntes} = 1.2 \text{ minuts}/\text{junta} = 72\text{s}$, de manera que T_{rebaves} hauria de ser inferior a aquest temps.

Una producció diària de $200 \text{ juntes}/8\text{h} = 25 \text{ juntes}/\text{h}$, cada junta s'hauria de processar en com a màxim $60\text{s} / 25 \text{ juntes} = 2.4 \text{ minuts}/\text{junta} = 144\text{s}$. Veient que T_{rebaves} tarda 150s, és una producció massa ajustada, sense deixar marge a irregularitats ni marge de maniobra davant d'avaries.

Per tant, una producció justificable seria de com a màxim 160 juntes diàries = 20 juntes/h, de manera que cada junta s'hauria de processar en com a màxim $60\text{s}/20 \text{ juntes} = 3 \text{ min}/\text{juntes} = 180\text{s}$.

7.3. Càlculs de la cinta transportadora

En dissenyar i dimensionar una cinta transportadora, els principals paràmetres que s'han de tenir en compte són:

- Selecció del motor i el reductor
- Velocitat de la cinta
- Tensió i recollida
- Material a transportar
- Distància que ha de transportar-se
- Entorn de treball, per exemple, temperatura, humitat, etc.

Per a un transportador horitzontal simple, la força de tracció efectiva ve donada per la fórmula següent [1]:

$$F_u = \mu R * g * (m + m_b + m_R)$$

- F_u = Força de tracció efectiva
- μR = Coeficient de fricció en passar sobre el corró
- g = Acceleració deguda a la gravetat
- m = Massa de la mercaderia transportada en tota la longitud del transportador
- m_b = Massa de la cinta
- m_R = Massa de tots els corrons giratoris menys la massa del corró motriu

Per dimensionar el motor elèctric, es pot calcular la potència mecànica necessària a partir de la força de tracció i la velocitat de la cinta [2]:

$$\text{Potència requerida (W)} = \text{Força de tracció de la banda (N)} * \text{Velocitat de cinta (m/s)}$$

$$\text{Força de tracció} = \text{Pes total sobre la cinta} + \text{coeficient de fricció}$$

$$\text{Pes total} = \text{Nombre de juntes} * \text{pes per junta} + \text{metres de cinta} * \text{kg/m de banda}$$

A més dels càlculs de forces i masses, en un entorn de producció cal saber la seva capacitat de transport i la inversió necessària:

$$C = \frac{3600 * v}{d}$$

C = Capacitat de transport (junts/hora)

v = Velocitat mitja de desplaçament (m/s)

d = Diàmetre de la junts (m)

$$I = D * P$$

I = Inversió (€)

D = Distància entre el punt de recollida i el punt de lliurament del producte (m)

P = Preu per metre de cinta transportadora

La informació per omplir aquestes fórmules es podrà trobar en *datasheets*:

Standard Specifications TA

BELT – Ultimate 140 BBS–Nitrile.

BED – 4 in. deep x 12 ga. formed steel slider bed-powder-painted. Standard 5 ft. and 10 ft. long sections bolt together with splice plates.

END DRIVE – Located on discharge end of conveyor, chain guard on left hand side.

DRIVE PULLEY – 4 in. dia. with 1 in. dia. shaft at bearings or 8 in. dia. with 1 3/16 in. dia. shaft at bearings; machine crowned and fully lagged. See chart.

TAIL PULLEY – 4 in. dia. with 1 in. dia. shaft at bearings; machine crowned.

SNUB IDLER – Adjustable 2 1/8 in. dia. for 4 in. pulley–2 1/2 in. dia. for 8 in. pulley. Pre-lubricated ball bearings. Guards included.

RETURN IDLER – Adjustable 1.9 in. dia. pre-lubricated ball bearings.

TAKE-UP – Take-ups at tail pulley. Provides 4 in. of belt take-up.

BEARINGS – Sealed, pre-lubricated, self-aligning, ball bearings on drive and tail pulleys.

SPEED REDUCER – Sealed worm gear C-face speed reducer. No. 50 roller chain to drive pulley.

MOTOR – 1/2 HP, 208/230/460V/575, 3 Ph. 60 Hz. Totally Enclosed C-face.

BELT SPEED – Constant 65 FPM.

CAPACITY – Maximum load per linear foot of conveyor 75 lbs. NOT TO EXCEED capacity in charts.

FLOOR SUPPORTS – Supplied as optional equipment.

Figura 7.3.1. Especificacions del Slider Bed Belt Conveyor, model TA [3]

Load Capacity Chart @ 65 FPM									Speed Chart For Shaft-mounted End Drive On TA With 4 in. dia. Drive Pulley	
HP	Belt Widths To	4" Dia. Drive Pulley				8" Dia. Drive Pulley			Speed FPM	Max HP
		Lengths Up To								
		11'	21'	31'	41'	51'	77'	102'		
Distributed Load (lbs.)									34	1/2
1/2	6"-16"	335	320	310	300	285	260	230	41	1/2
	18"-28"	320	300	285	270	255	210	170	52	1/2
1	6"-16"	650	635	625	615	605	625	595	68	1
	18"-30"	635	620	600	585	570	580	540	82	1
									103	1

Taula 7.3.1. Quadres de càrrega i velocitats del Slider Bed Belt Conveyor, model TA [3]

7.4. Disseny de les pinces

La Pinça paral·lela elèctrica FESTO EHPS-25-A-RA1A inclou diferents cables, plat de fixació per a braços robòtics, i sensor de proximitat, marcat en la imatge següent [4].

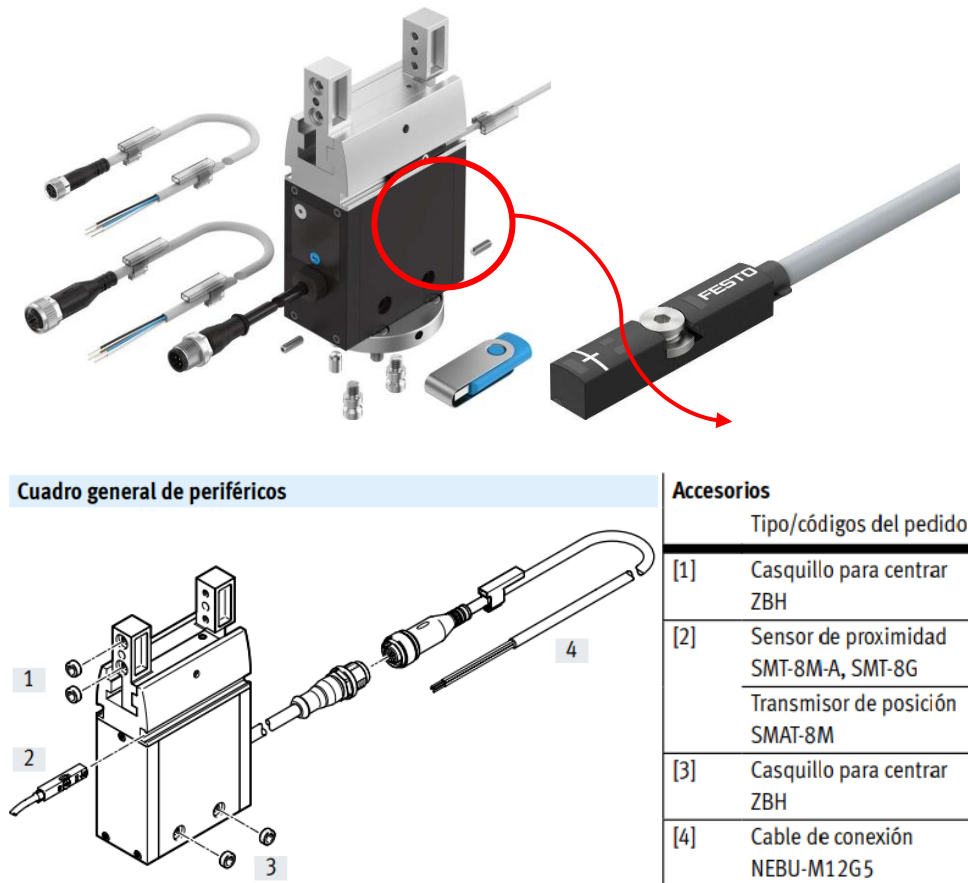


Figura 7.4.1. Pinça paral·lela elèctrica FESTO EHPS-25-A-RA1A [5]

Com es pot comprovar, compleix els requisits dimensionals d'obertura màxima (major de 37 mm) i mínima (menor de 28 mm):

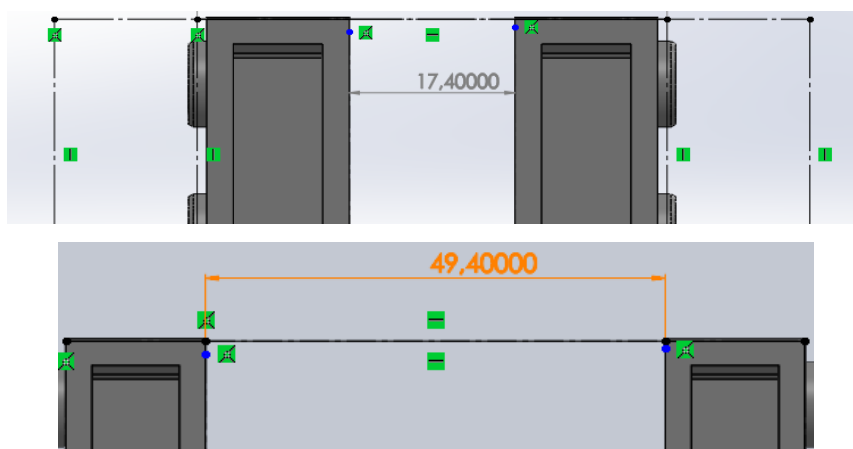



Figura 7.4.2. Comprovació del compliment del rang d'obertura màxim i mínim. Font pròpia

Per tenir suficient longitud de cable per connectar-se al PLC, s'escull la longitud de cable màxima (7.5 m) per al sensor de proximitat (2) i l'alimentació de la pinça (4):

Referencias de pedido: cables de conexión para conector de la pinza					
	Conexión eléctrica en el lado izquierdo	Conexión eléctrica en el lado derecho	Longitud del cable [m]	N.º art.	Código del producto
	Zócalo recto M12x1, 5 pines	Zócalo recto M12x1, 5 pines	5	574321	NEBU-M12G5-E-5-Q8N-M12G5
			7,5	574322	NEBU-M12G5-E-7.5-Q8N-M12G5
	Zócalo recto M12x1, 5 pines	Zócalo acodado M12x1, 5 pines	0,5	8003617	NEBU-M12G5-K-0.5-M12W5
			2	8003618	NEBU-M12G5-K-2-M12W5


Referencias de pedido: sensor de proximidad para ranura en T, magnetorresistivo						Hojas de datos → internet: smt
	Tipo de fijación	Salida de conmutación	Conexión eléctrica	Longitud del cable [m]	N.º art.	Código del producto
Contacto normalmente cerrado						
	Montaje en la ranura por arriba, forma constructiva corta	PNP	Cable trifilar	7,5	574340	SMT-8M-A-PO-24V-E-7,5-OE

Figura 7.4.3. Opcions de cablejat de la Pinça paral·lela elèctrica

L'acoblament al braç robòtic per mitjà del plat adaptador es fa d'aquesta manera:

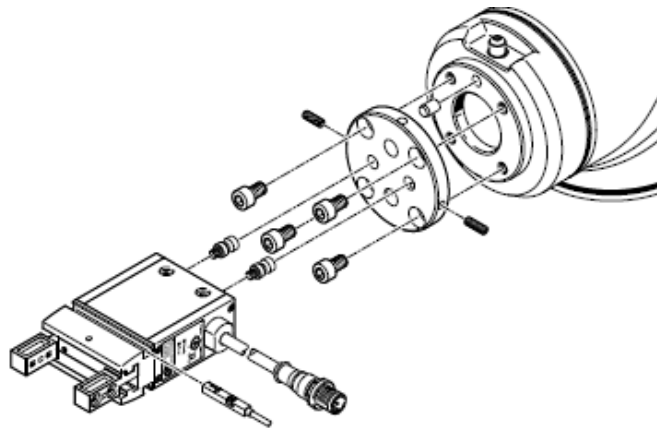


Figura 7.4.4. Unió de la pinça al braç robòtic a través del plat adaptador

Per defecte, les pinces venen sense dits. Cal dissenyar uns dits a mida que compleixin el requeriment de 10 mm de gruix per a poder agafar la junta entre els radis.

Pel disseny inicial, s'han agafat referències d'internet, i s'ha traçat la forma bàsica i les toleràncies que ha de complir:

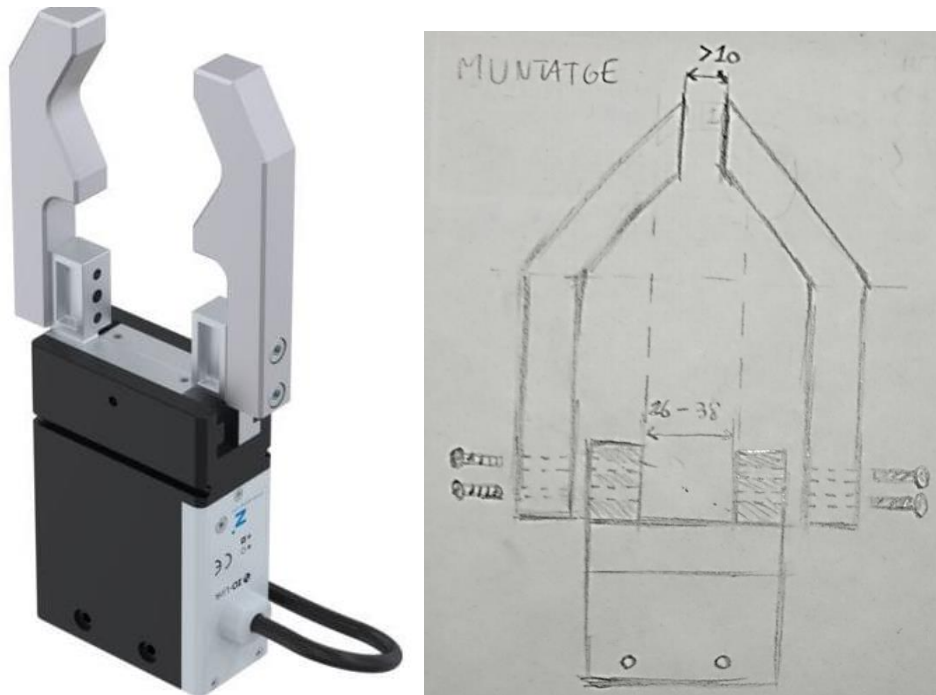


Figura 7.4.5. Disseny inicial dels dits de la pinça. Font pròpia

A partir d'imatges de referència i recomanacions del tutor de TFG, s'han integrat les millores de disseny següents:

- Forats avellanats per a un acoblament intuïtiu: aplicant la filosofia japonesa Poka-Yoke (a prova d'errors), no hi ha manera de cargolar-ho en la orientació incorrecte.

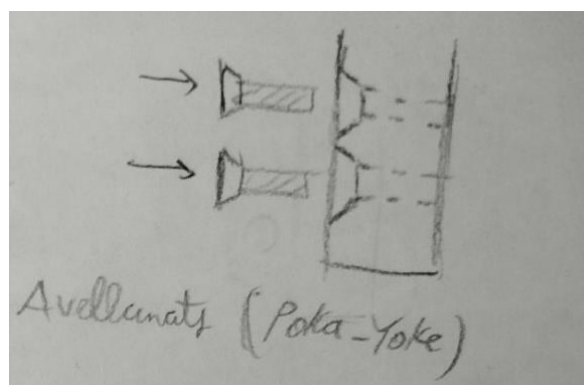


Figura 7.4.6. Acoblament a la pinça per cargols avellanats. Font pròpia

- Eliminar els cants vius. Les cantonades amb canvis bruscos de superfície són propenses a concentracions de tensions, i poden danyar els operaris. Per tant, se solen arrodonir:

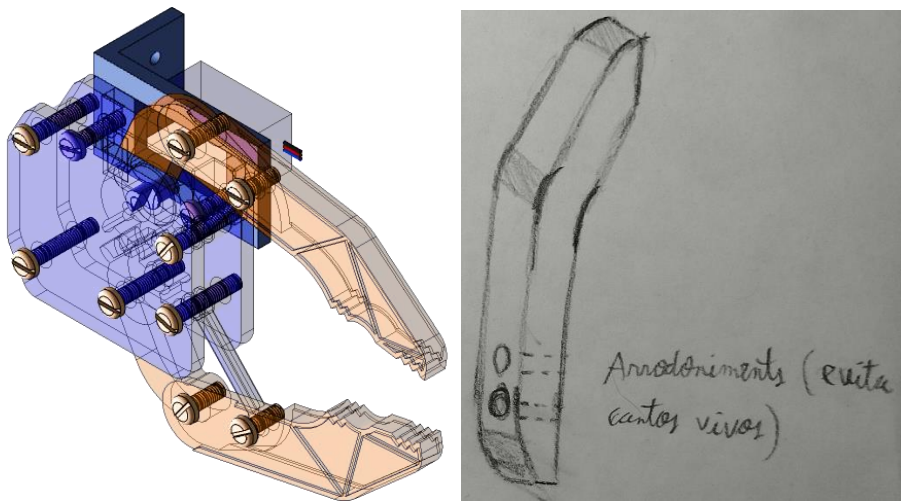


Figura 7.4.7. Arrodoniment de les cantonades. Font pròpia

- Adequació de la superfície de contacte. Per tal de millorar la adherència de la pinça amb la peça (*grip*), se sol modificar la forma i rugositat de la superfície dels dits de la pinça.

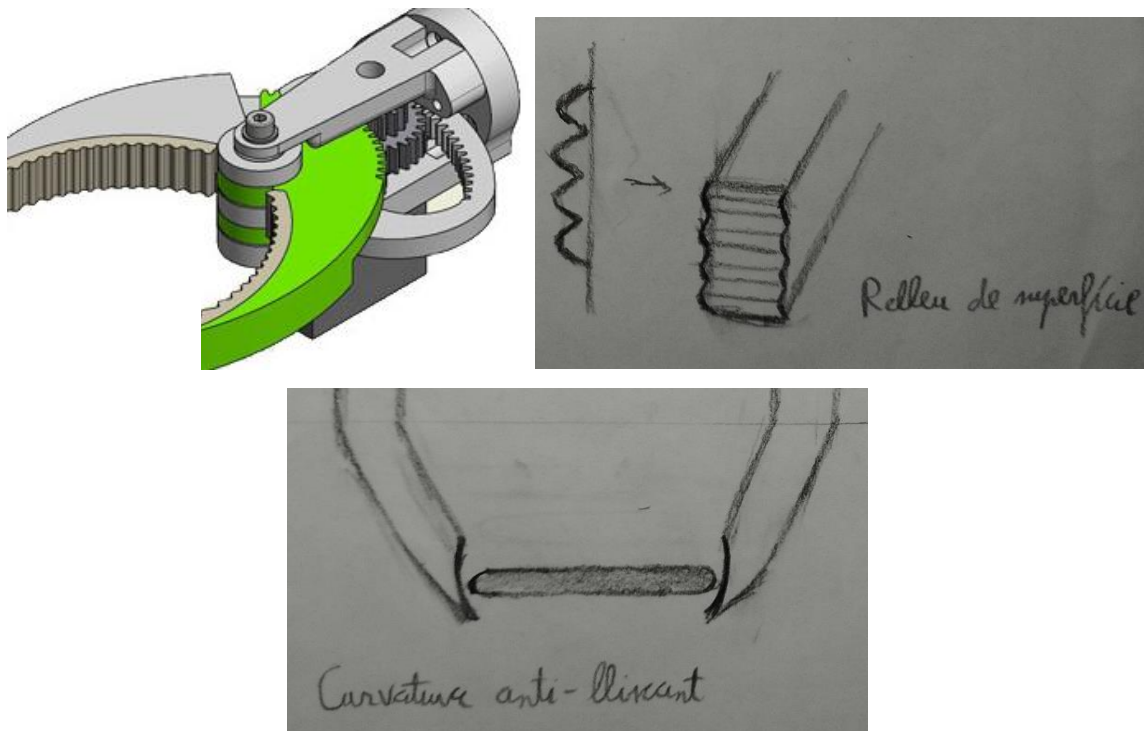


Figura 7.4.8. Tractament de superfícies per agafar les juntes. Font pròpia

Implementant tots aquests canvis, els dits de la pinça es veuen així (la rugositat dentada s'ha elaborat amb l'eina "Matriu Circular" de Solidworks).

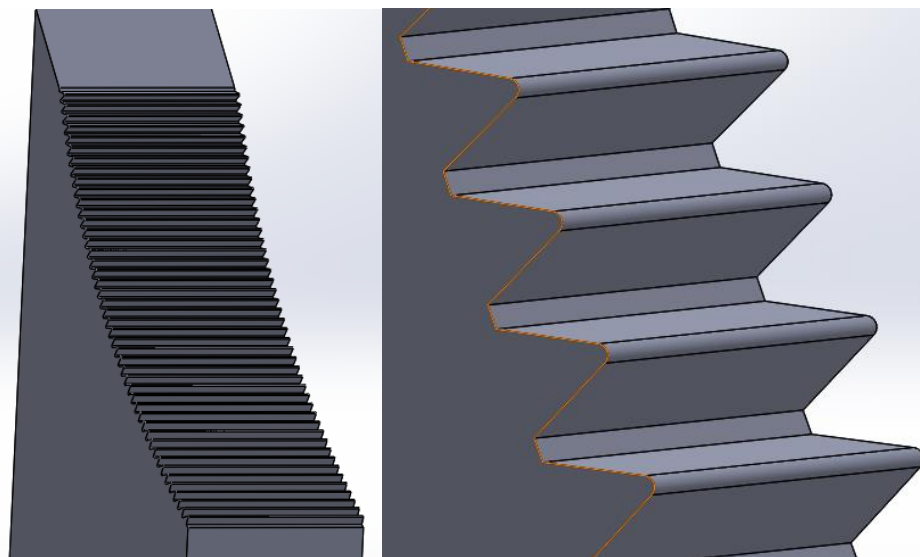
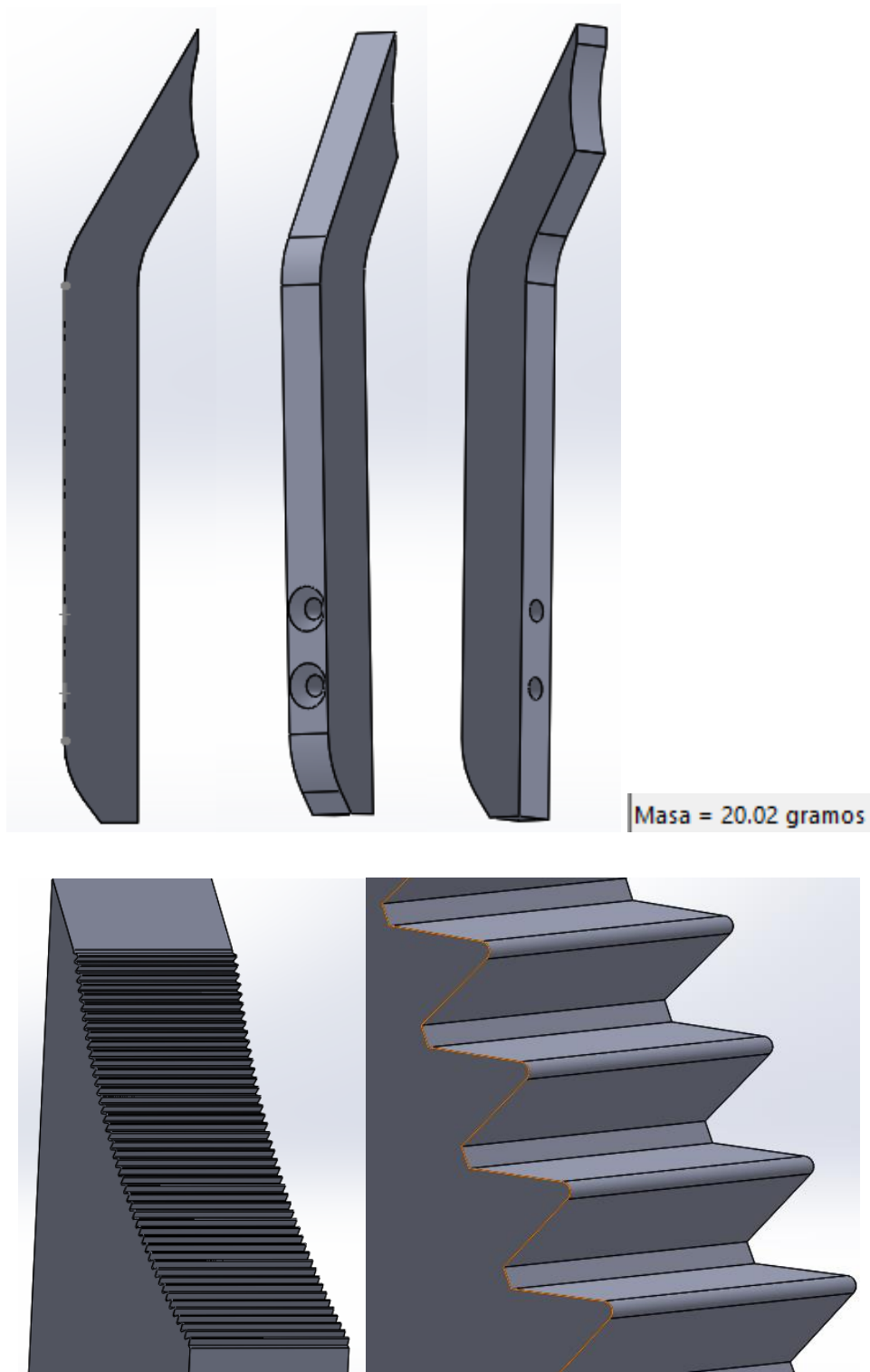


Figura 7.4.9. Versió inicial dels dits modelitzada en Solidworks. Font pròpia

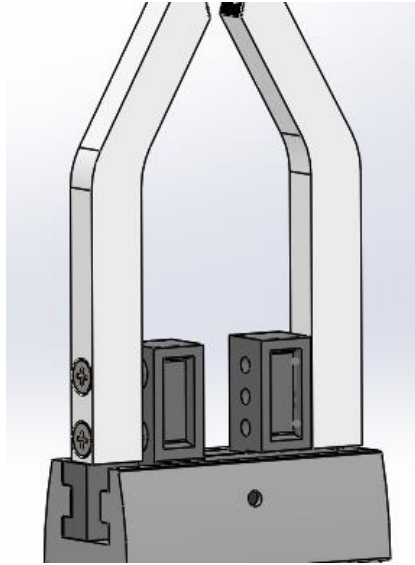


Figura 7.4.10. Muntatge dels dits sobre la pinça en Solidworks. Font pròpia

El material que s'utilitzarà en les simulacions és Poliamida PA6, que té propietats similars al Nylon PA11.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2620	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.34	N/D
Módulo cortante	970.4	N/mm ²
Densidad de masa	1120	kg/m ³
Límite de tracción	90	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	103.648886	N/mm ²

Figura 7.4.11. Propietats físiques per a l'anàlisi mecànic de la peça

Inicialment aquest disseny pesa 20.02g, de manera que si es suposa un preu aproximat de 100€/kg de PA11 en pols per la impressió SLS, fabricar-la costarà 2€.

Per reduir aquest cost, es farà un estudi topològic, posant com a fixació els cargols avellanats i com a restricció una reducció de massa del 20%. Per no comprometre la alineació de les pinces, també es posa una restricció de desplaçament en la direcció d'obertura de 2 mm.

7.4.1. Optimització topològica

La eina Optimització topològica és una eina molt potent per deixar la peça amb només el material útil, retirant les parts que no contribueixen en resistir els esforços. Tot i així, és una operació que consumeix molts recursos computacionals i pot tardar hores, de manera que s'han aplicat els canvis següents [6]:

- Primer, s'ha aplicat una escala 1:2. Com més gran sigui la peça, major serà el nombre d'elements finits que crearà la malla.
- Segon, configurar les opcions de topologia adequades

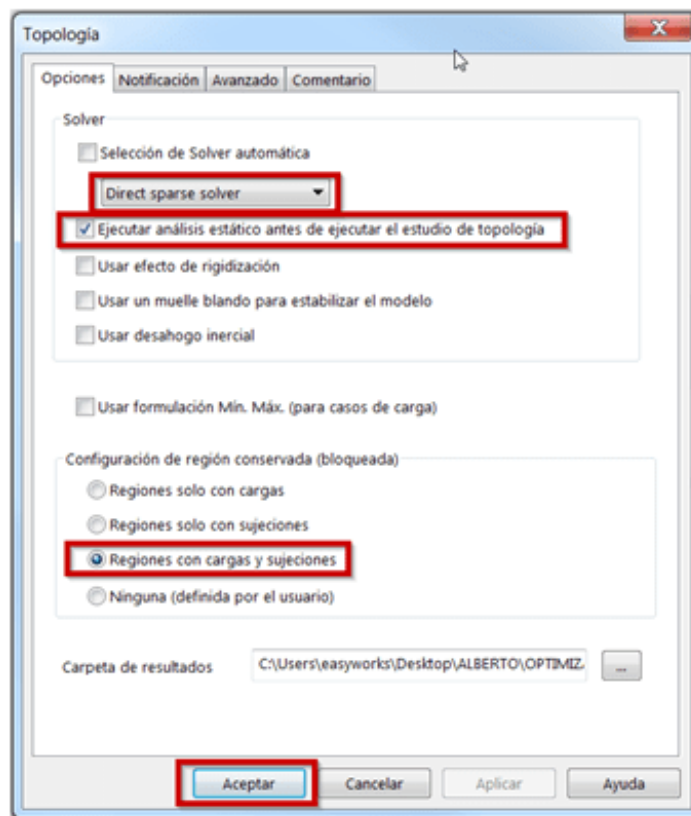


Figura 7.4.12. Configuració de la Optimització Topològica

- Tercer, indicar les regions conservades. Si no es marca aquesta opció, l'estudi topològic pot no respectar aquestes restriccions i modificar la seva forma. En el cas de la pinça, es tracta dels forats pels cargols avellanats.

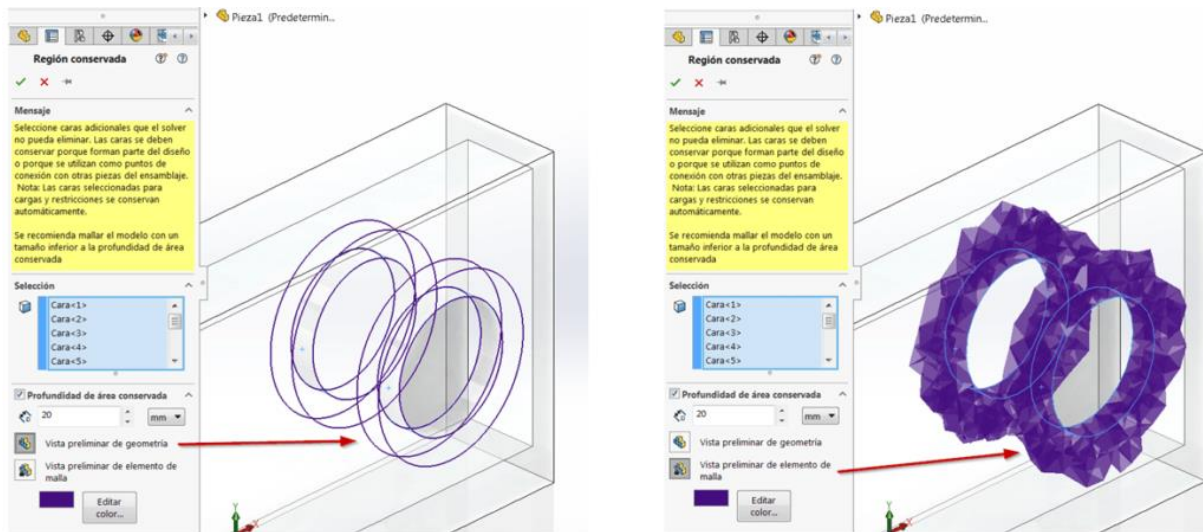


Figura 7.4.13. Regions a conservar.

- Quart, aplicar controls de simetria, per a que el disseny optimitzat sigui simètric respecte un pla seleccionat i quedi més estètic.
- Cinquè, posar una malla adequada. Ja que interessa reduir la massa en el cos de la pinça, s'aplicarà un mallat més fi en tota la pinça i un control de malla més gruixut en l'àrea en contacte amb la peça i la zona de fixació per cargols, ja que allà no interessa treure massa.

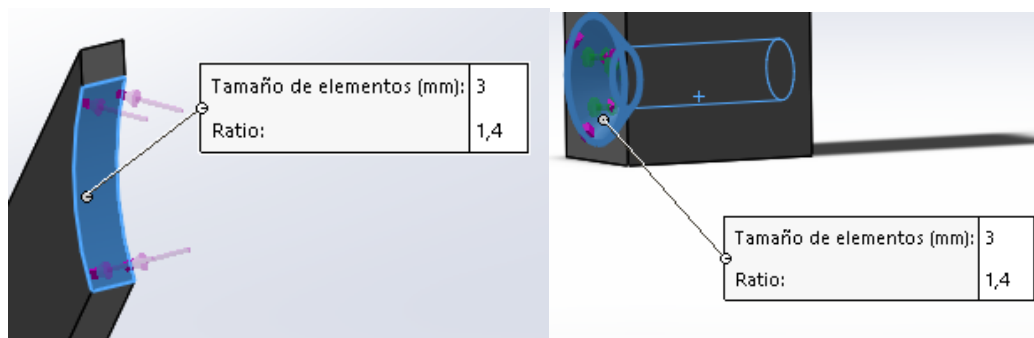


Figura 7.4.14. Controls de malla aplicats. Font pròpia

Després d'executar la simulació, els resultats de la restricció de massa són clars i entenedors, sense formes aleatòries o impràctiques:

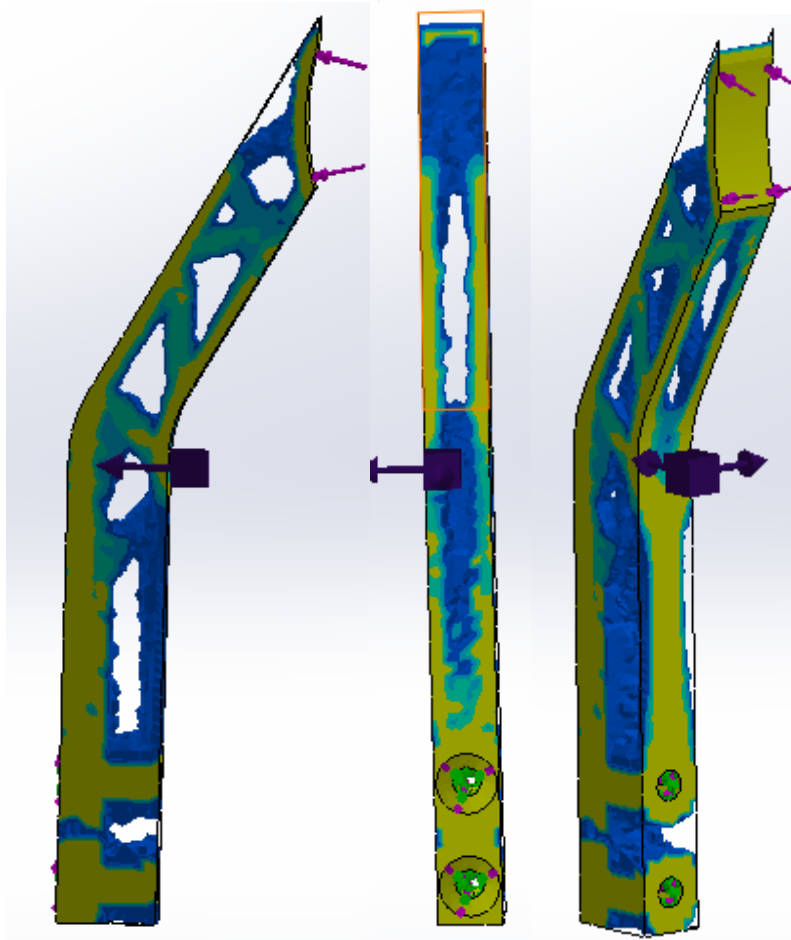


Figura 7.4.15. Resultats de la optimització topològica . Font pròpia

Com es pot apreciar, la cara de contacte amb la peça i les zones de fixació dels cargols s'han conservat (groc), i al llarg de tota la peça han aparegut forats de formes triangulars i trapezoidals. Això té sentit, ja que les triangulacions són molt útils per augmentar la rigidesa estructural i evitar deformacions.

El resultat de la restricció de massa s'anomena massa del material, i es pot suavitzar per tenir una forma més definida i propera a la desitjada:

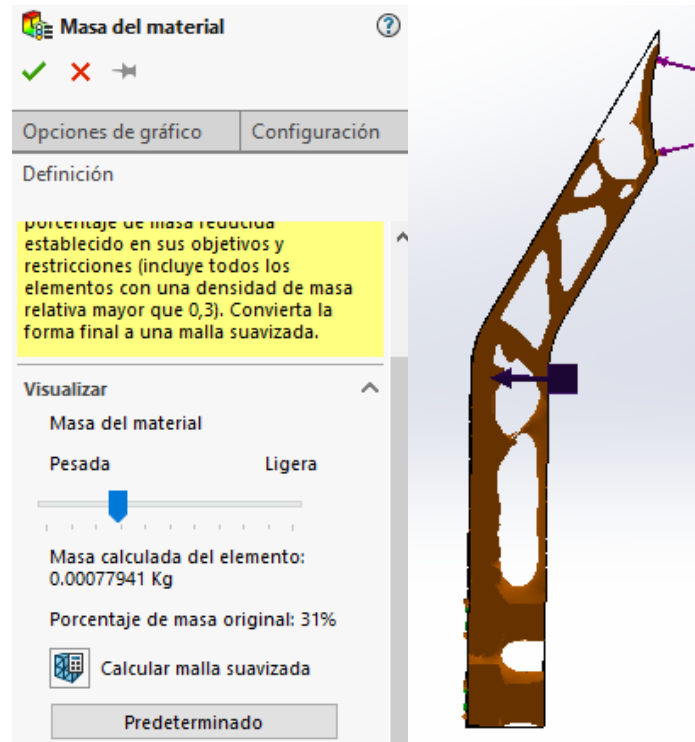


Figura 7.4.16. Paràmetre de massa de material

Si s'exporta la forma suavitzada, a la pestanya "Configuracions" es pot alternar la visualització de la peça original i la optimitzada:

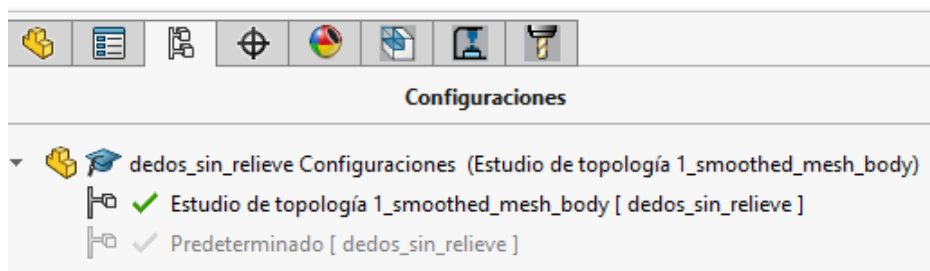


Figura 7.4.17. Alternar entre la vista original i la optimitzada topològicament

Jugant amb les opcions de visualització de peces, es poden ressaltar les parts que es mantenen (negre) i els forats (blanc).



Figura 7.4.18. Ressaltat de les parts a treure. Font pròpia

Com es pot veure, les línies dels forats en la peça obtinguda no són llises, sinó que presenten una certa rugositat irregular. En conseqüència, el que s'ha fet és agafar el model inicial i crear un croquis resseguint el perfil dels forats.

El resultat queda més net, amb forats ben delimitats:

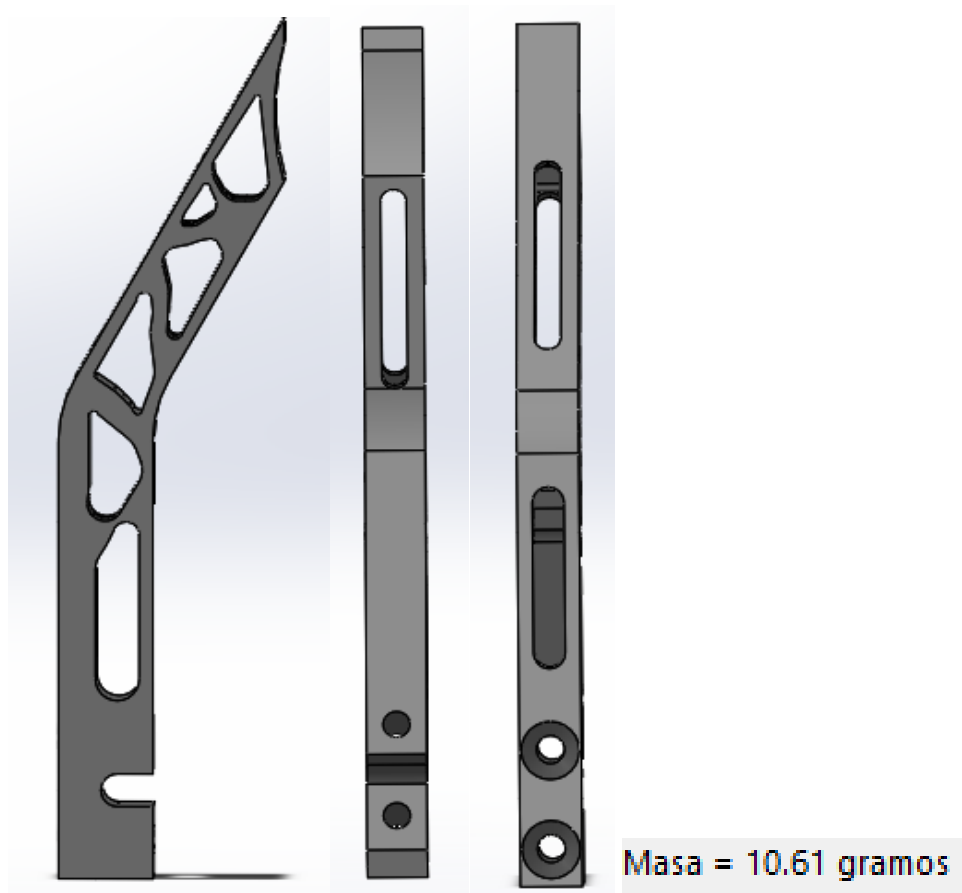


Figura 7.4.19. Forma final de les pinces. Font pròpia

Després de tots els talls efectuats, la peça pesa 10.67g, de manera que amb el preu aproximat de 100€/kg de PA11 en pols per la impressió SLS, fabricar-la costarà 1.067€, **reduint el preu quasi a la meitat.**

7.4.2. Simulació del model obtingut

Per tal de verificar la peça, s'elaborarà un anàlisi estàtic on s'aplicarà una força de 10N (1 kg aprox.) a la zona de contacte amb la peça.

Com són zones susceptibles a patir deformacions, s'aplicarà un mallat més fi a les zones de subjecció dels cargols, els arrodoniments de les cantonades i la zona d'aplicació de força.

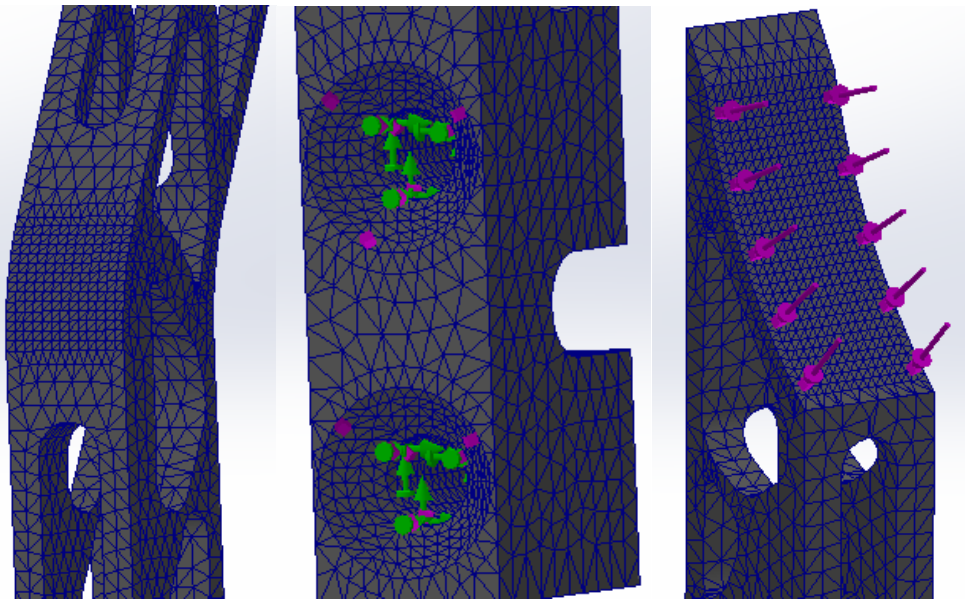


Figura 7.4.20. Tractament de malla en les zones més importants per analitzar. Font pròpia

Els resultats de Tensió (anàlisi de falla de Von Mises), i desplaçaments són els següents:

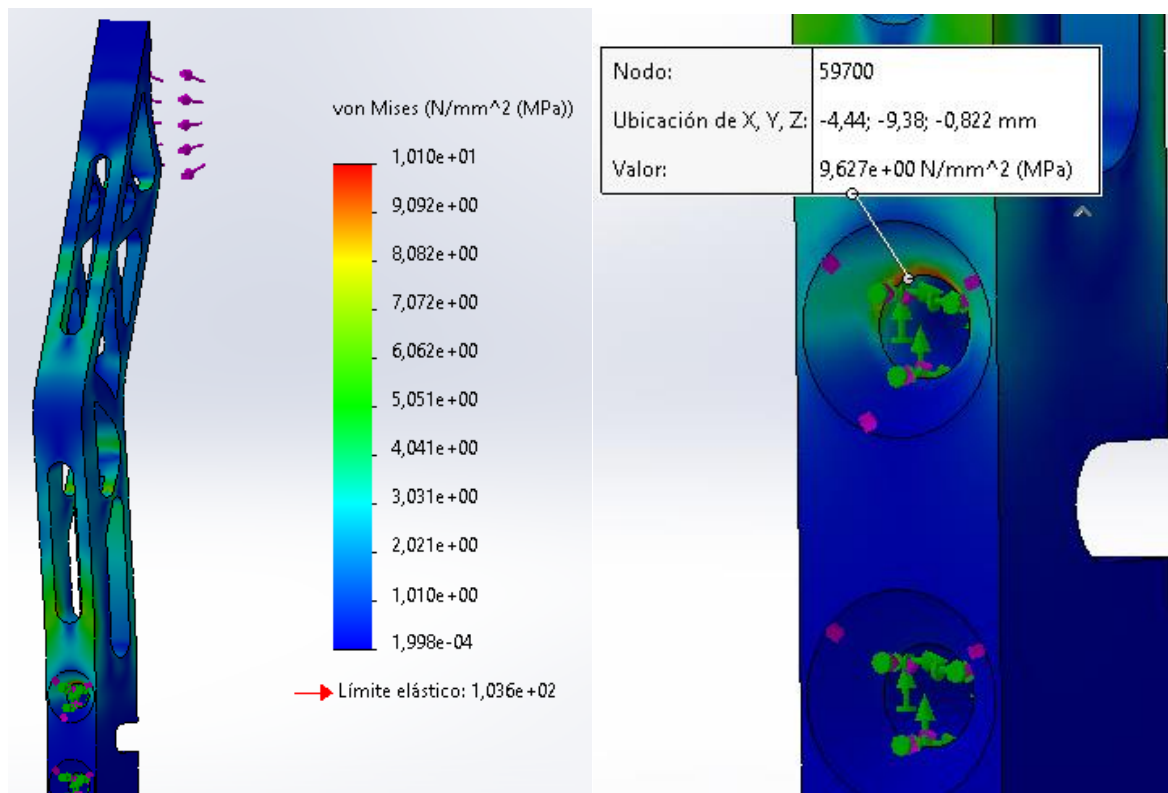


Figura 7.4.21. Resultat de l'anàlisi de tensions Von Mises. Font pròpia

Com es pot comprovar, la tensió màxima és de 10.01 MPa i està situada al forat pel cargol superior, lluny dels 103.6 MPa del límit elàstic.

La distribució de deformacions unitàries és molt similar a la de tensions, i per tant el valor màxim es troba en la mateixa zona:

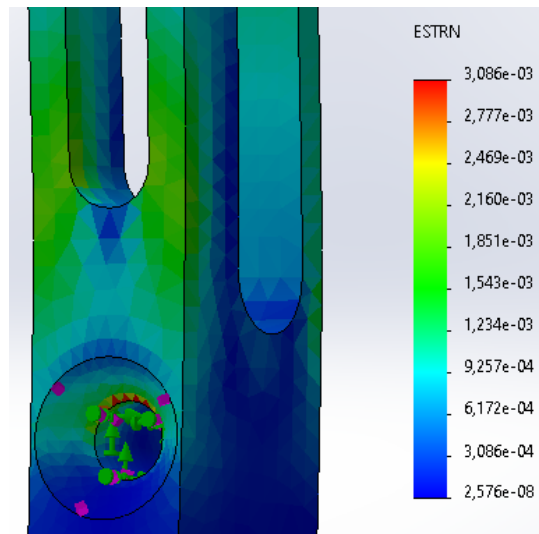


Figura 7.4.22. Resultat de deformacions unitàries. Font pròpia

Pel que fa als desplaçaments, resulta clar que el valor màxim es troba en el punt d'aplicació de la força. El valor màxim és de 1.2 mm, que es troba dins de l'acceptable per manipular les juntes de goma, ja que la seva flexibilitat dona joc a rectificar el recorregut de les pinces en cas de tenir pinces deformades.

Aquí cal tenir dues consideracions: la primera és que s'ha simulat amb una força d'1 kg, molt major al que pesa una junta, de manera que no s'espera cap deformació quan es manipulin les juntes. La segona és que si s'hagués de manipular una peça rígida, aquesta deformació podria causar que la pinça estigui oberta en excés, fent que no pugui agafar la peça amb fermesa amb el recorregut programat.

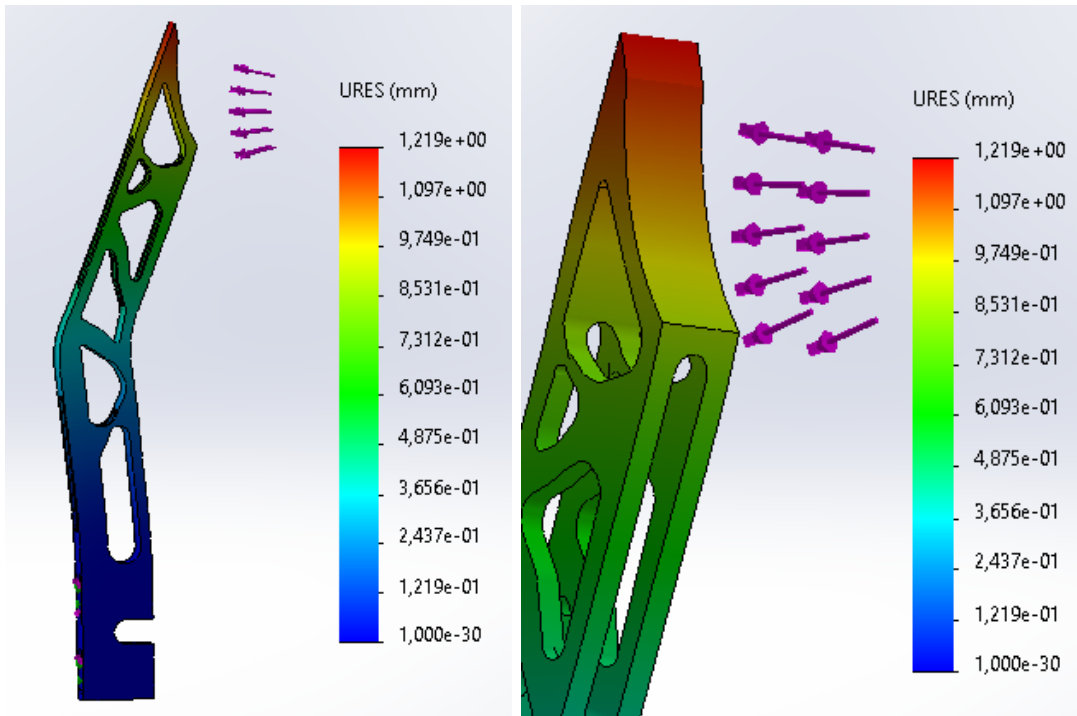
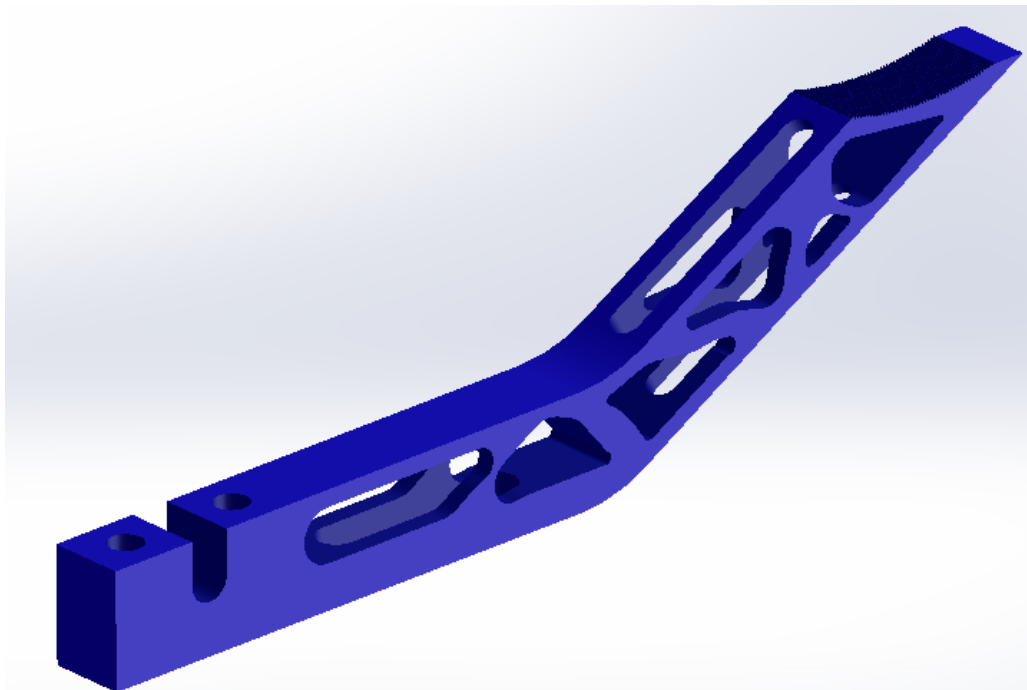


Figura 7.4.23. Resultat de l'anàlisi de desplaçaments. Font pròpia

Aplicant un color vistós i un renderitzat d'imatge, la peça final es veu així:



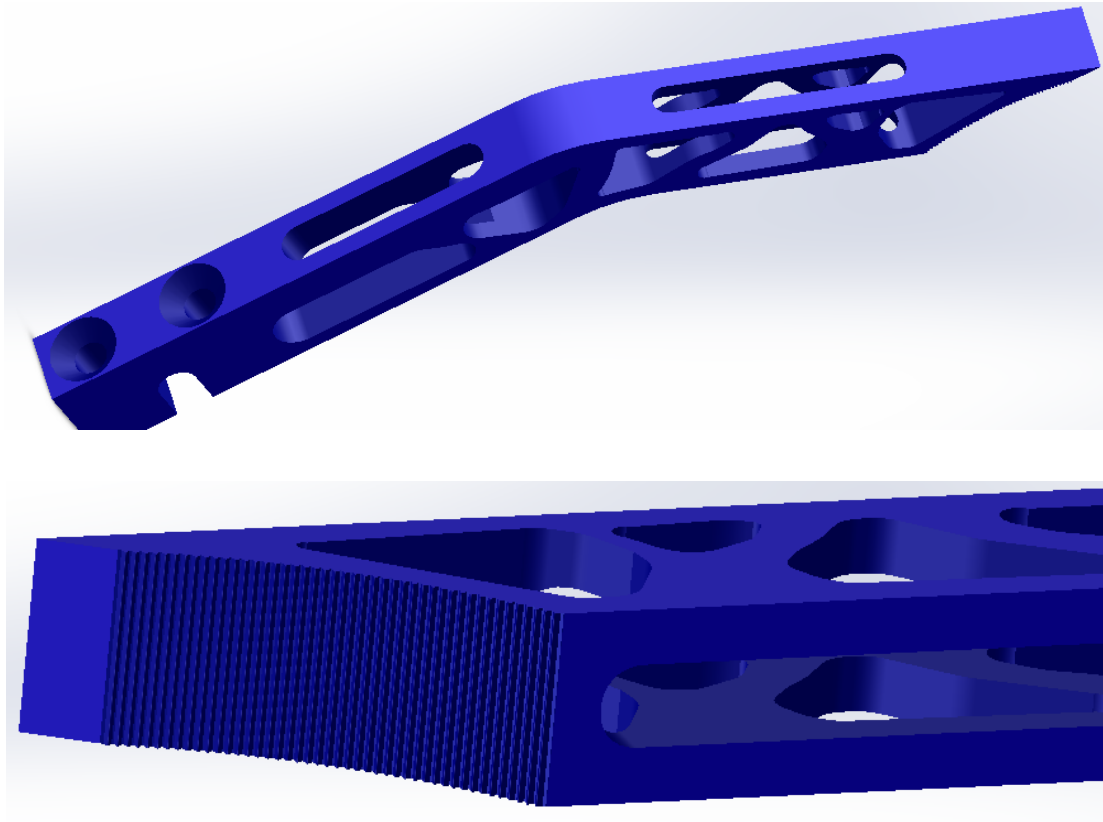


Figura 7.4.24. Vistes de la versió final del disseny funcional. Font pròpia

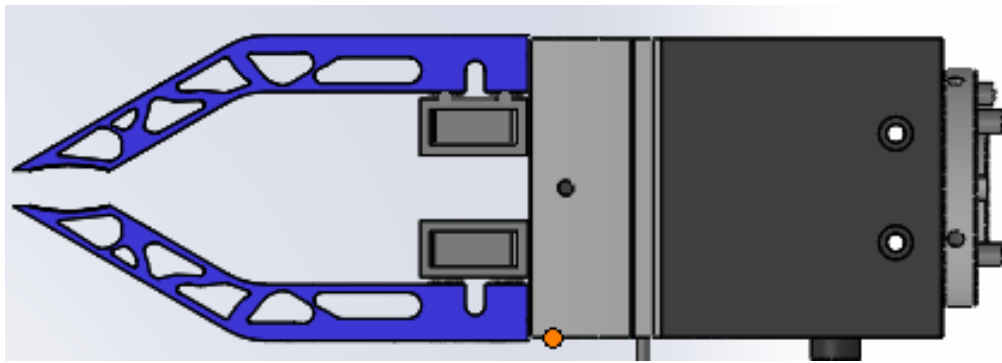


Figura 7.4.25. Muntatge dels dits finals en la pinça paral·lela. Font pròpia

És important remarcar que el disseny dels dits s'ha pensat tenint en compte la flexibilitat de les juntes. Per tant, en l'estat de carrera mínima de la pinça (17.4 mm), la distància entre els punts de contacte dels dits ha de ser de com a màxim la meitat del diàmetre de la junta de 5 radis ($28/2 = 14$ mm) per a assegurar una subjecció ferma.

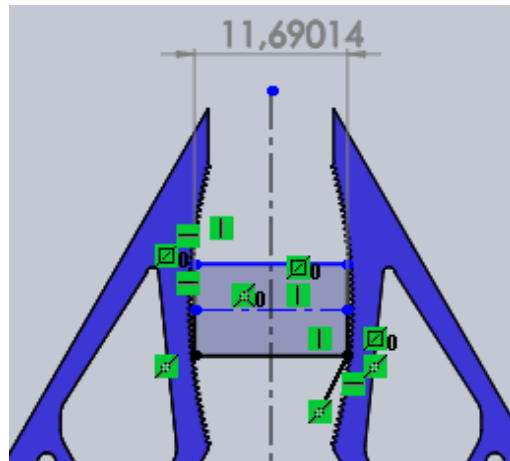


Figura 7.4.26. Compliment del paràmetre d'obertura mínima en el TCP. Font pròpia

Per a que el disseny sigui apte per a imprimir amb FDM sense requerir estructures de suport, en cas de voler utilitzar aquesta tecnologia per motius econòmics, convé només fer els forats del perfil i no els del llom de la pinça:

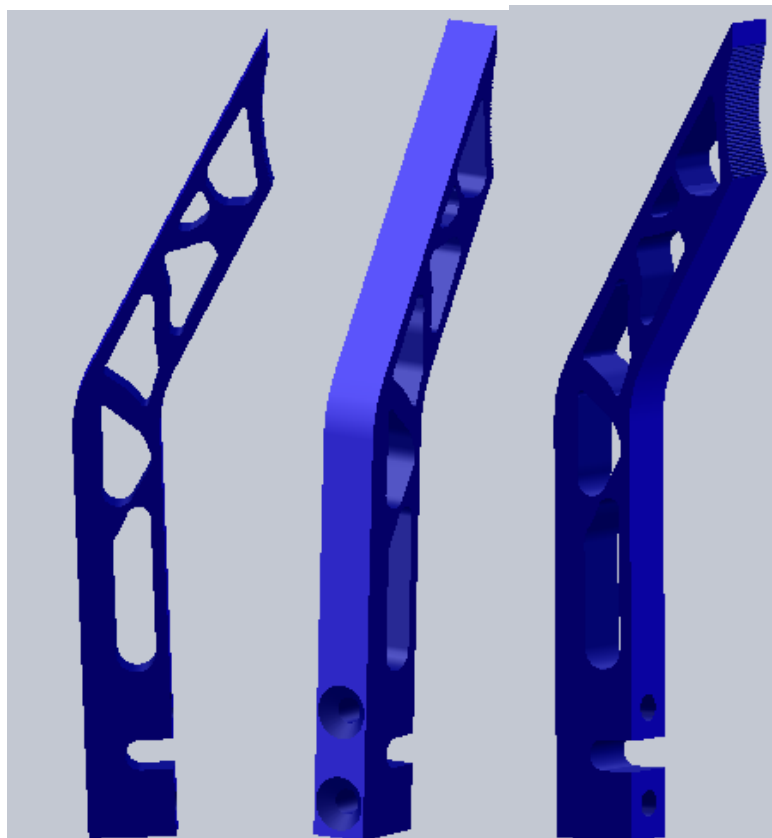


Figura 7.4.27. Adaptació del disseny per a la impressió FDM. Font pròpia

7.5. Impressió d'un prototip amb software Ultimaker Cura

L'empresa AIS Vision Systems compta amb la impressora FDM FLSUN V400 per a fabricar utillatges o peces per als seus equips de visió. S'ha disposat de la oportunitat de transformar el disseny formal dels dits del *gripper* en un prototip material, i com el material utilitzat ha estat PETG, una de les opcions recomanades en l'apartat de viabilitat, representa una validació realista de la funcionalitat del disseny i dels possibles problemes que es poden originar.

Per tal d'imprimir l'arxiu de Solidworks del gripper, cal guardar el .step en el format .stl. És el format de transmissió de dades estàndard en la indústria per a la creació ràpida de prototips (*Fast Prototyping*), i també el format estàndard per a les tecnologies de fabricació additiva. Utilitza una malla de triangles per a definir la forma d'un objecte. Com més petits són aquests triangles, major serà la resolució i el pes del fitxer final, per la qual cosa és aconsellable arribar a una solució de compromís entre la resolució i el pes del fitxer. [7]



Figura 7.5.1. Format STL dels fitzers

Després, programes com Ultimaker Cura [8] permeten especificar els paràmetres d'impressió adaptats a la peça i el material.

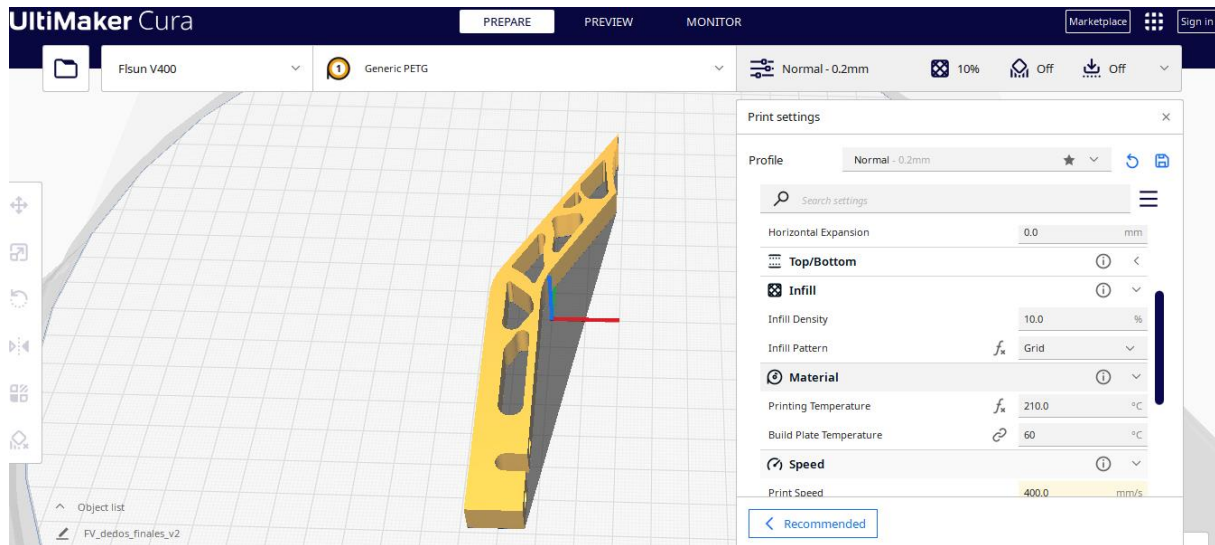


Figura 7.5.2. Interfície del programa Ultimaker Cura. Font pròpia

Per tal que imprimeixi dos dits a la vegada i quedin clarament diferenciats en la plataforma d'impressió, la distribució que aprofita millor l'espai és la següent:

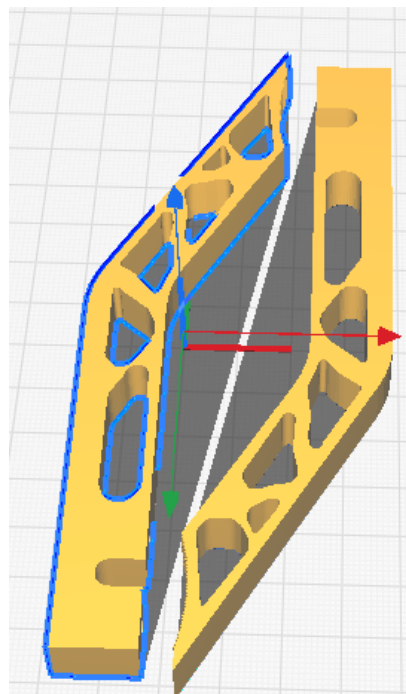


Figura 7.5.3. Disposició dels dit en la plataforma d'impressió. Font pròpia

Hi ha un gran nombre de paràmetres d'impressió, i varien de valor en funció del material a utilitzar, les formes a realitzar i el gruix de les parets. Si no es defineixen adequadament, poden sorgir defectes d'impressió, que en la impressió FDM són bastant diversos. Per tant, convé crear-se perfils d'impressió o Profiles per tenir paràmetres predefinitos i així gestionar còmodament la impressió amb diferents materials. Els prototips s'han imprès amb filaments de PETG, de manera que cal obrir el profile per a aquest material:

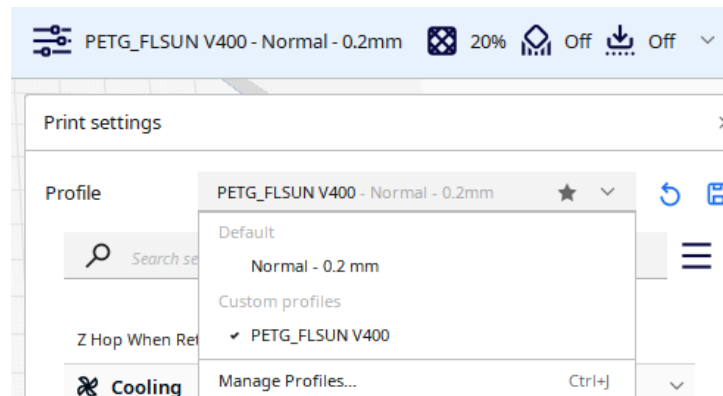


Figura 7.5.3. Profile d'impressió del PETG

7.5.1. Paràmetres d'impressió

Cada cop que s'aplica un canvi en els paràmetres, s'ha de seleccionar "Slice" per a visualitzar-los en el Preview. Els més destacables són:

- *Layer height.* És el gruix de cada capa, i determina la resolució de la impressió i la qualitat de l'acabat. Quant menor sigui, major és la qualitat de l'objecte imprès, però també augmenta el temps d'impressió, perquè es necessiten més capes per a confeccionar la peça. És important escollir un valor intermedi: una altura massa reduïda pot causar problemes en l'expulsió de material per l'extrusor, i una altura de capa elevada pot comprometre l'adhesió de les capes. [9]

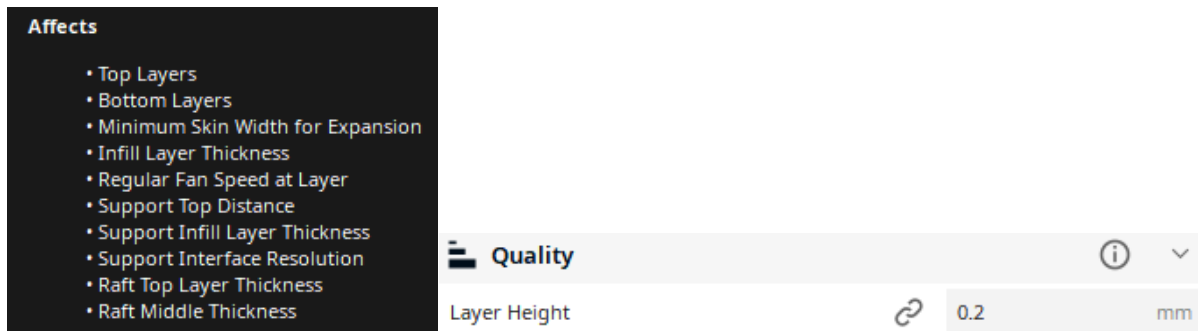


Figura 7.5.4. Paràmetre de Layer Height

- *Shell/Wall thickness*. El disseny de les peces per a la impressió 3D està condicionat pel gruix de les parets que es vol aconseguir. Si les parets són molt gruixudes, les peces resultants seran més costoses, tardaran més a imprimir-se i poden fins i tot poden trencar-se; si en canvi són molt fines, és possible que la peça no sigui funcional, es doblegui durant la impressió o, de nou, costi més de produir perquè caldrà rectificar el disseny. [10]



Figura 7.5.5. Paràmetre de Wall Thickness

Les parets es visualitzen com línies de color verd, i s'han declarat 2 parets: la exterior pel contorn de la peça, i la interior per delimitar els forats.

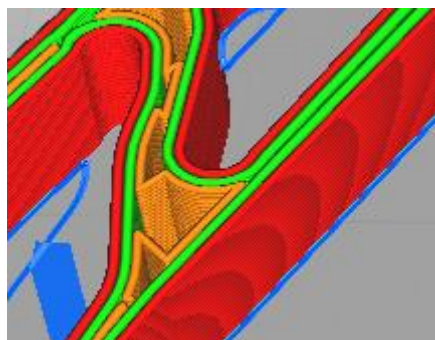


Figura 7.5.6. Visualització de les parets de la peça

- *Top/Bottom Thickness*. Les capes superiors i inferiors no es veuen afectades per la configuració de farciment (infil), per la qual cosa seran capes massisses. Depenent de la forma de la peça i del infil escollit, es necessitaran més o menys capes. [11]

Top/Bottom Thickness

The thickness of the top/bottom layers in the print. This value divided by the layer height defines the number of top/bottom layers.

Affects

- Top Thickness
- Bottom Thickness

Top/Bottom		(i) ▼
Top/Bottom Thickness	0.6	mm
Top Thickness	f_x 1.0	mm
Top Layers	5	
Bottom Thickness	0.6	mm
Bottom Layers	3	

Figura 7.5.7. Paràmetre Top/Bottom Thickness

- *Infil*. Les peces FDM normalment no s'imprimeixen sòlides per reduir el temps d'impressió i estalviar material. L'estructura que utilitzen està formada per un perímetre exterior anomenat closca (shell), i una estructura interna de baixa densitat, anomenada emplenament (infil).

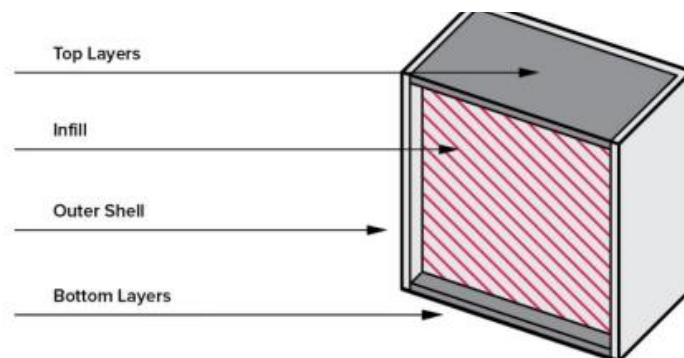


Figura 7.5.8. Estructura Infil

Hi ha diferents tipus de infills, però els més utilitzats són els quatre següents:

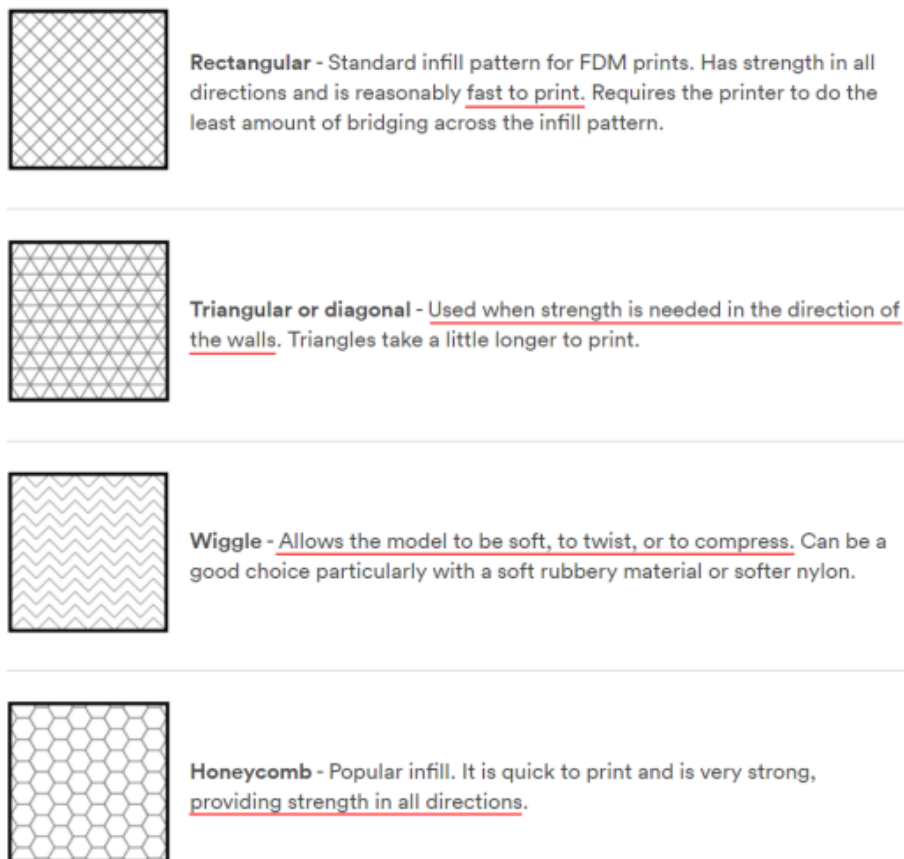


Figura 7.5.9. Tipus d'estructures Infil

El infill permet aconseguir peces lleugeres amb propietats mecàniques d'interès (robustesa i solidesa). Aquestes formes no serien possibles amb mecanitzats tradicionals, mentre que la impressió FDM les pot implementar sense problemes per elaborar estructures amb propietats mecàniques similars a les que tindria una peça massissa. D'entre les opcions disponibles, el **honeycomb (Tri-hexagonal)** és especialment interessant per combinar ràpida impressió i gran resistència mecànica en totes direccions.

Aquesta pàgina web ha realitzat simulacions d'impressió 3D amb el programa Simplify3D per comprovar tots els tipus de infill amb igualtat de paràmetres d'impressió. Amb les dades obtingudes han conclòs que el patró d'impressió infill no afecta en gran manera en els temps d'impressió 3D quan s'utilitzen **percentatges de Infill baixos** (entre 8% i 11%). Però quan es tracta amb percentatges alts de Infill (entre 47% i 56%) sí que es torna molt notable la diferència dels temps d'impressió 3D en funció als patrons d'impressió triats.

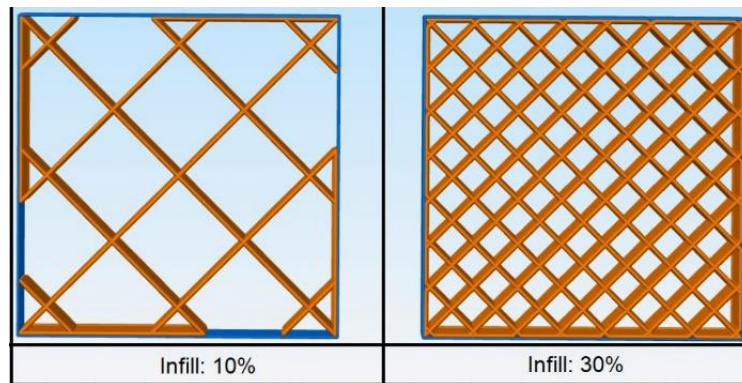


Figura 7.5.10. Paràmetre Infil Density (%)

Tipo de patrón	Rectilinear	Grid	Triangular	Wiggle	Fast Honeycomb	Full Honeycomb
% Infill	50%	48%	47%	51%	54%	56%
Peso (g)	40.64g	40.71g	40.69g	41.04g	40.55g	40.36g
Tiempo de impresión	2h y 30m	2h y 31m	2h y 31m	4h y 34m	4h y 16m	4h y 1m
Velocidad (g/min)	0.27g/min	0.27g/min	0.27g/min	0.15g/min	0.16g/min	0.17g/min

Taula 7.5.11. Comparació de velocitat d'impressió de diferents infils [12]

Com més dens és el infill, major és la proporció de material respecte els espais buits. El de 10% té massa poc material, comprometent la rigidesa estructural, i el 40% en pot utilitzar massa. La proporció **20%** és un bon punt mig.

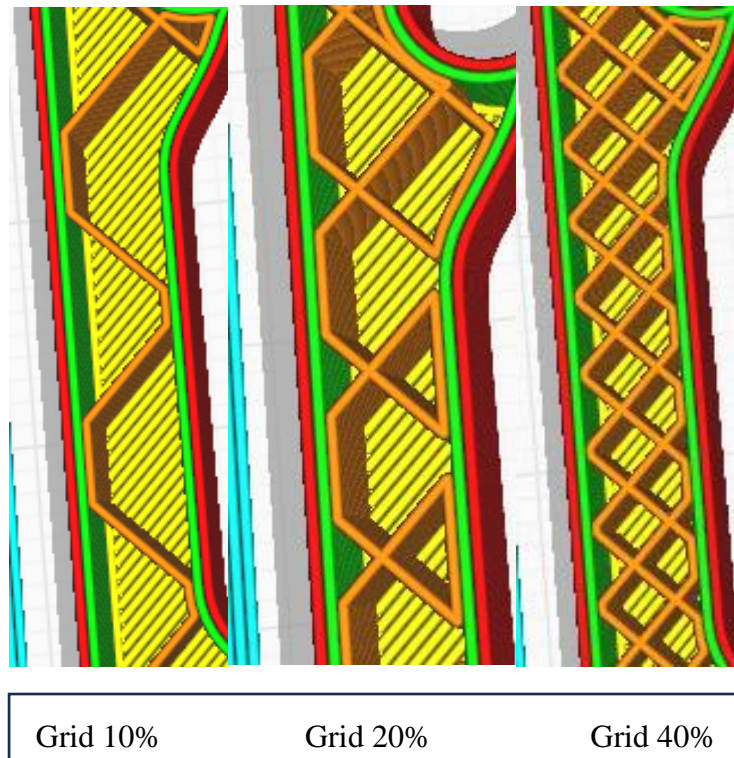


Figura 7.5.12. Paràmetre Top/Bottom Thickness. Font pròpia

No tots els patrons de infills són adequats per a omplir peces tant fines. Mentre que el patró Grid es reparteix homogèniament per la peça, hi ha altres que presenten problemes:

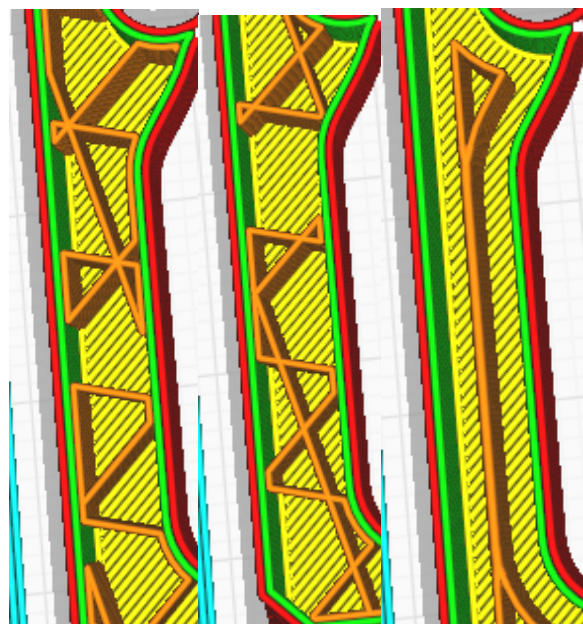


Figura 7.5.13. Triangle (irregular)/ Tri/hexàgon (irregular) /Concentric (peça massa estreta)

- *Temperature.* La temperatura del capçal exerceix un paper molt important en la qualitat de la impressió. Si és massa alta, es produiran problemes de encordat (stringing)/ exsudat (oozing), deixant la peça plena de “pèls”, però si és massa baixa, l'extrusor començarà a saltar. Per a imprimir PETG, la seva impressora ha d'estar equipada amb un extrusor (hotend) que pugui aconseguir una temperatura d'almenys 235 ° C, encara que l'ideal serien 250 ° C. [13]

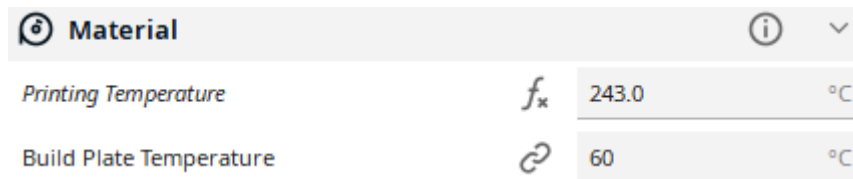


Figura 7.5.14. Paràmetre Temperatura d'impressió de PETG. Font pròpia

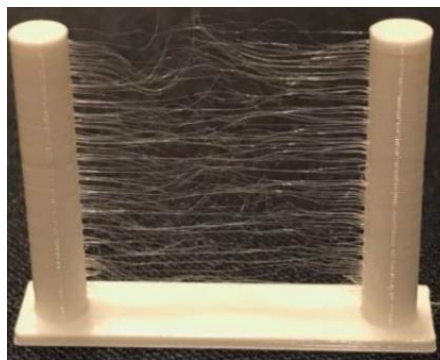


Figura 7.5.15. Fenòmen de stringing / oozing

- *Print speed.* És un dels paràmetres d'impressió més importants que cal considerar, ja que afecta a tots els altres. La impressora FLSUN V400 disposa de la tecnologia per arribar fins als 400 mm/s, de manera que 200 mm/s li resulta assequible.

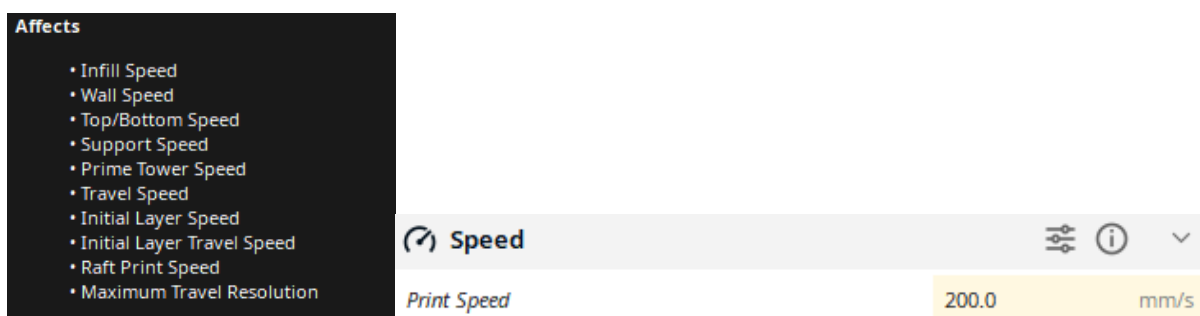


Figura 7.5.16. Paràmetre print speed. Font pròpia

- *Travel*. Afecta a com es mou l'extrusor de material (nozzle). La retracció és el moviment de reculada del filament necessari per a evitar goteig de material durant els desplaçaments que realitza l'extrusor en zones de buit que no s'imprimiran, com per exemple cavitats i forats. L'elevació de l'eix Z (Z-Hop) eleva el HotEnd a la distància especificada per evitar que la punta colpegi la peça en algun desplaçament. [14]

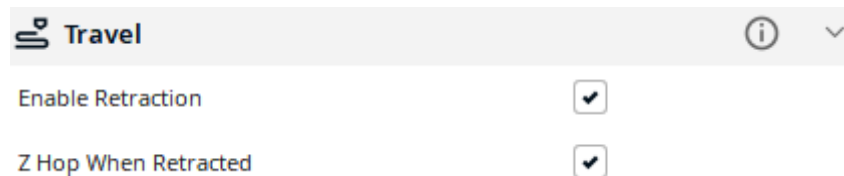


Figura 7.5.17. Paràmetre Travel. Font pròpia

- *Cooling*. La impressora 3D disposa de ventiladors per a que el filament calent, un cop es deposita sobre la base d'impressió (built plate), es solidifiqui més ràpidament. Una major velocitat dels ventiladors permet un millor refredament del material durant la impressió i redueix el oozing, però també pot augmentar la contracció del material (la peça acabarà més petita del previst).

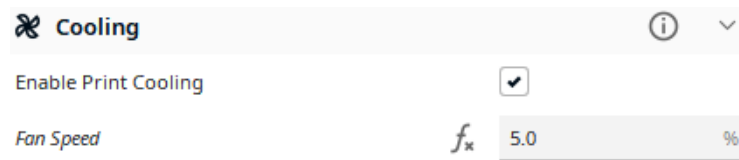


Figura 7.5.18. Paràmetre Cooling. Font pròpia

- *Estructures de suport*. En aquest cas, el disseny dels dits de la pinça sense forats al llom permet excloure la necessitat d'estructures de suport per a formar voladissos (overhang).

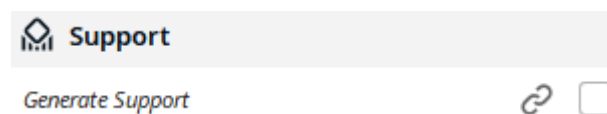


Figura 7.5.19. Paràmetre Support. Font pròpia

- *Skirt*. És un contorn extern que voreja la peça a imprimir sense tocar-la per a que l'extrusor (boquilla) vagi retirant el material en excés i així no gotegi sobre les capes que està imprimint. En el *Preview* es representa com una línia blava que voreja els dos dits:

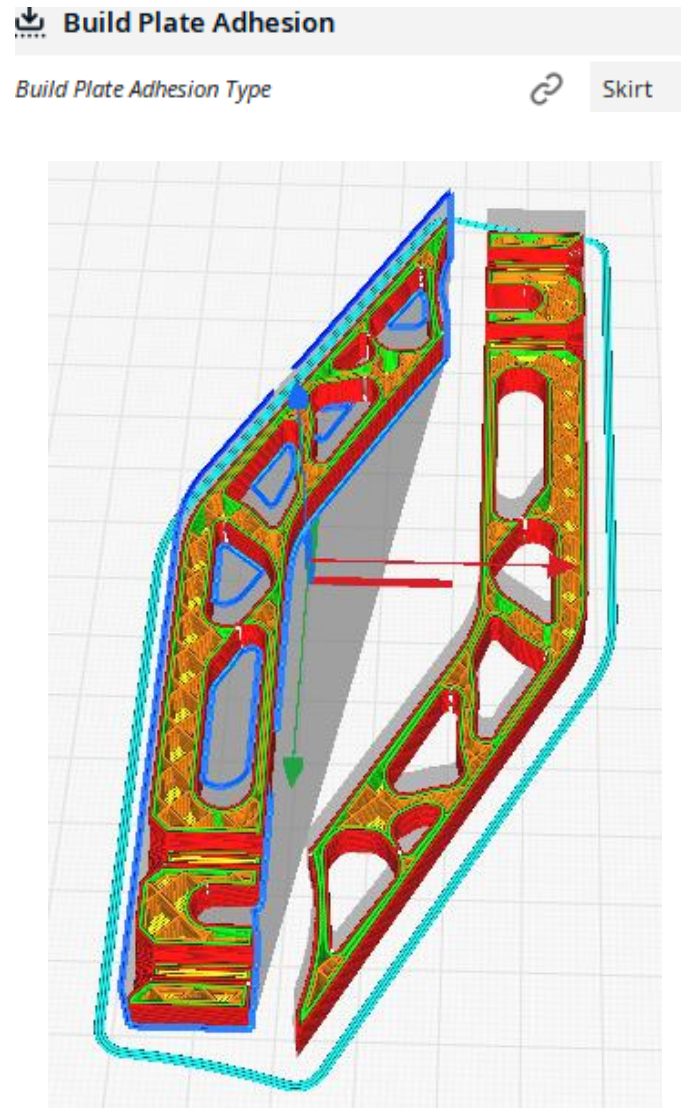


Figura 7.5.20. Visualització del Skirt d'impressió

7.5.2. Control de la impressió

Per a iniciar i controlar el correcte funcionament de la impressora, es disposa d'una interfície online en temps real via IP, amb tots els paràmetres d'interès en la impressió.

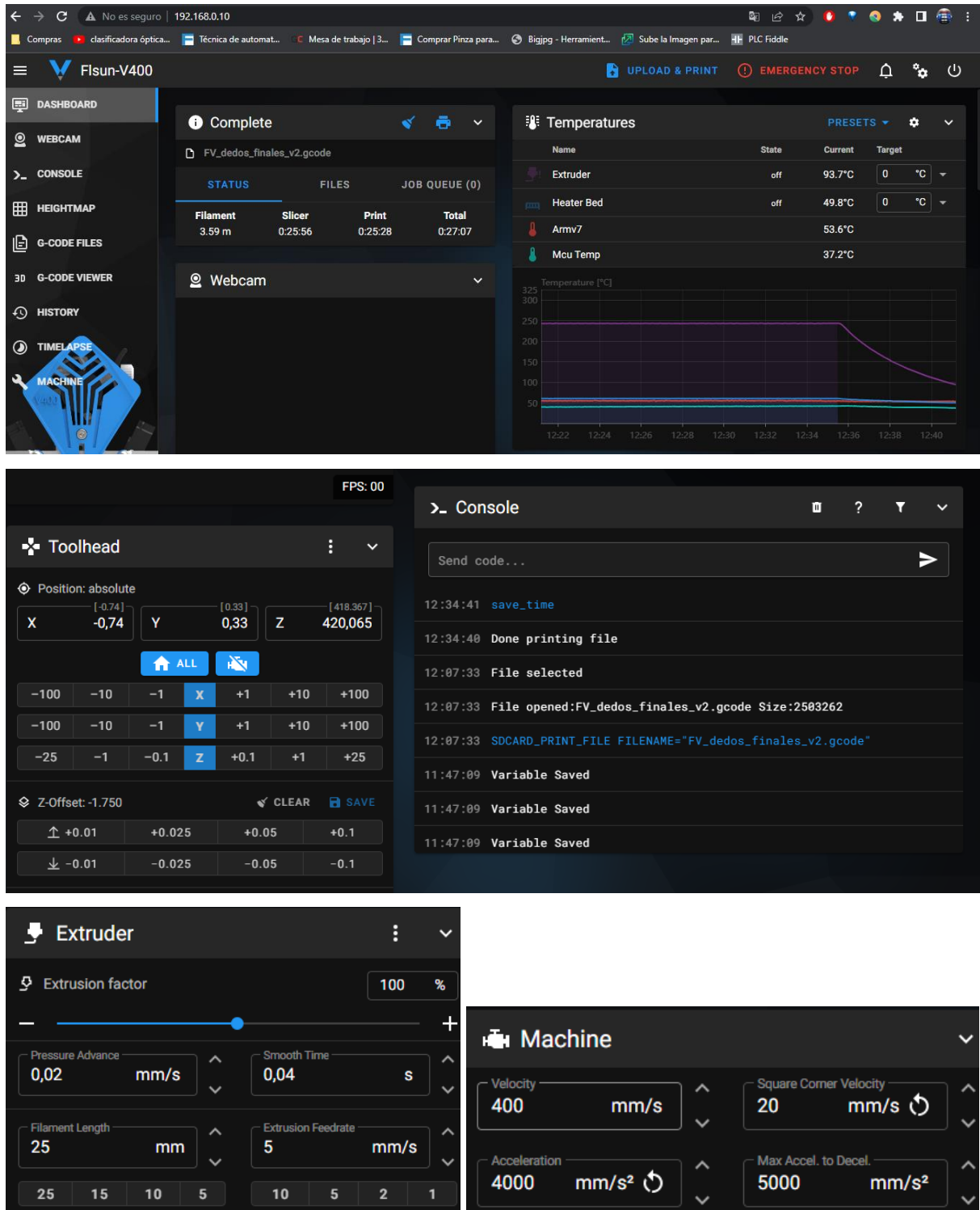


Figura 7.5.21. Monitoreig online dels paràmetres d'impressió

La impressora també compta amb un HMI Pantalla tàctil que mostra la informació més rellevant, com el nom del projecte en execució, el percentatge de completat, entre altres:



Figura 7.5.22. Monitoreig dels paràmetres via HMI. Font pròpia

Es pot apreciar durant la impressió la formació del Skirt:



Figura 7.5.23. Formació del Skirt durant la impressió dels dits

7.5.3. Resultats d'impressió

Amb els paràmetres d'impressió actuals, s'ha pogut imprimir en 3D en 25-30 minuts, conservant correctament totes les formes, però el resultat tenia algun filament penjant. Això es pot retocar amb una eina manual anomenada retalla-rebaves.



Figura 7.5.24. Primera impressió de la peça

Un altre problema és que la rugositat creada en la superfície de contacte amb la peça ha sortit llisa, ja que les dents són massa petites com per a que la impressora les pugui crear. Per tant, cal fer-les més grans. La precisió de la impressora està limitada a la seva precisió i la boquilla utilitzada (la peça s'ha imprès amb una de 0.4 mm). Les dents dissenyades al Solidworks feien 0.3 mm d'alt i 0.4 mm d'ample, o sigui que té sentit que no les hagi pogut imprimir.

Segon intent

S'ha duplicat la mida de les dents (0.8 mm d'ample i 0.6 mm d'alt), i reduït a la meitat el seu nombre per a que siguin més prominents, a més d'augmentar l'arrodoniment de la punta:

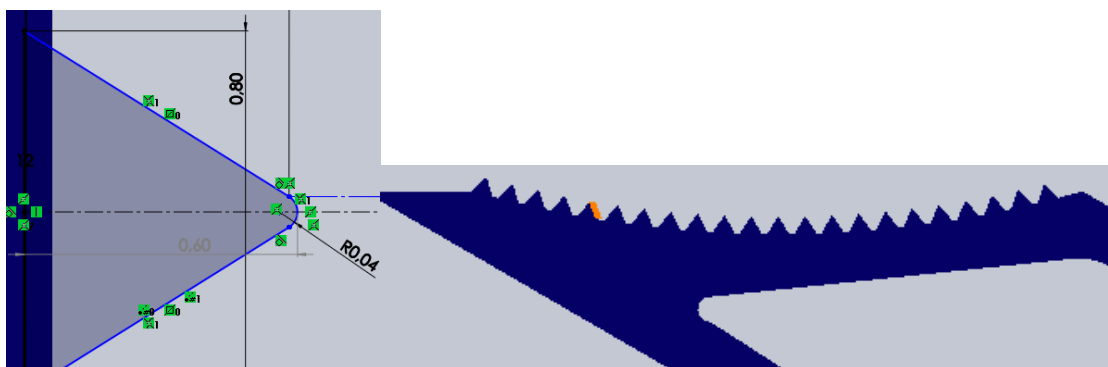


Figura 7.5.25. Modificació del croquis de les dents

Amb els paràmetres d'impressió d'aquest segon intent, es pot apreciar la rugositat creada per les línies de dents, però les puntes no sobresurten tant com es planteja en el disseny de Solidworks. Es podrien fer les dents encara més grans, però això comprometria la funcionalitat del disseny. Per tant, les solucions que es poden adoptar són utilitzar impressió SLS, que té més precisió que el FDM, o disminuir la velocitat d'impressió.



Figura 7.5.26. Millora de la rugositat de la superfície en la segona impressió. Font pròpia

7.6. Disseny de la línia de producció

7.6.1. Càmera

Per tal que el robot ubiqui la peça en temps real en la cinta transportadora i la pugui retirar, ha de tenir integrada una càmera de visió artificial d'àrea, no lineal. [15].



Figura 7.6.1. OMRON GigE Vision Area Scan Camera, Monochrome, CMOS Sony IMX430

També cal procurar que sigui monocroma, ja que si es capten imatges en una càmera a color, s'hauran de passar a escala de grisos.

Aprofitant els forats que té la pinça i la càmera de visió artificial, es pot fabricar una peça adaptadora que permeti carregar la càmera sobre la superfície de la pinça:

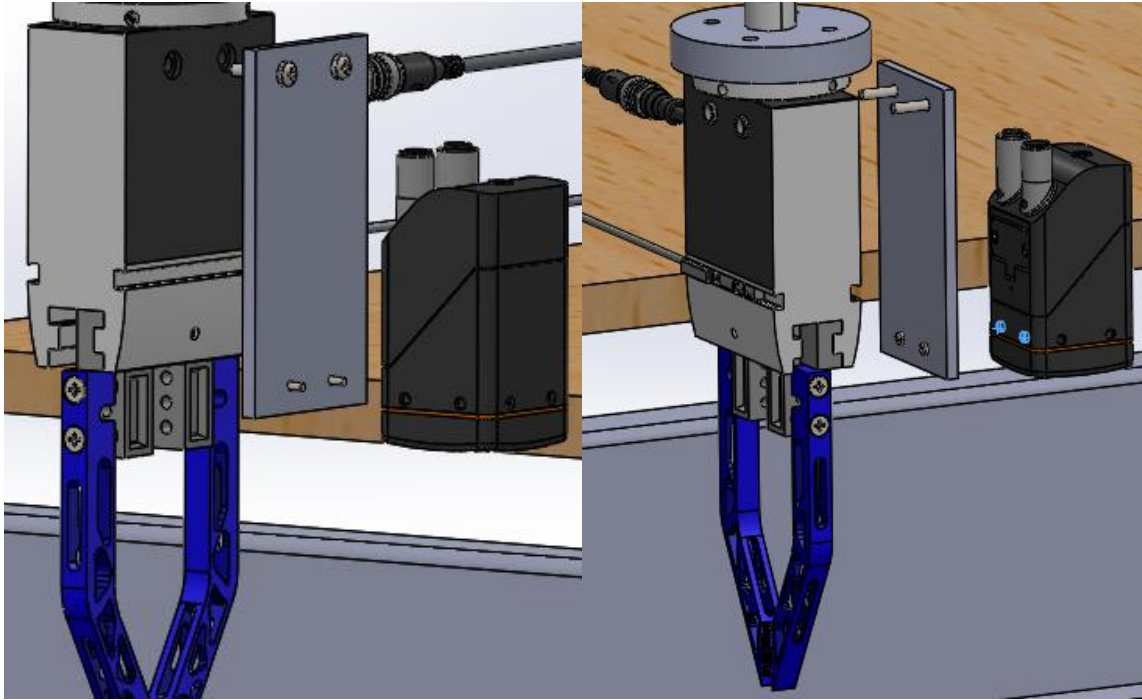


Figura 7.6.2. Acoblament de la càmera a la pinça amb un adaptador. Font pròpia

Per a reduir el pes de l'utillatge i aprofitar les fortaleeses de la impressió 3D, aquesta peça s'imprimirà amb un infil de honeycomb (rusc d'abella), per a resistir forces en totes direccions. El model següent realitzat a Solidworks és il·lustratiu, ja que el infil amb aquest patró es troba al centre i les cares superior i inferior són llises, fent que aquest patró no quedi a la vista.

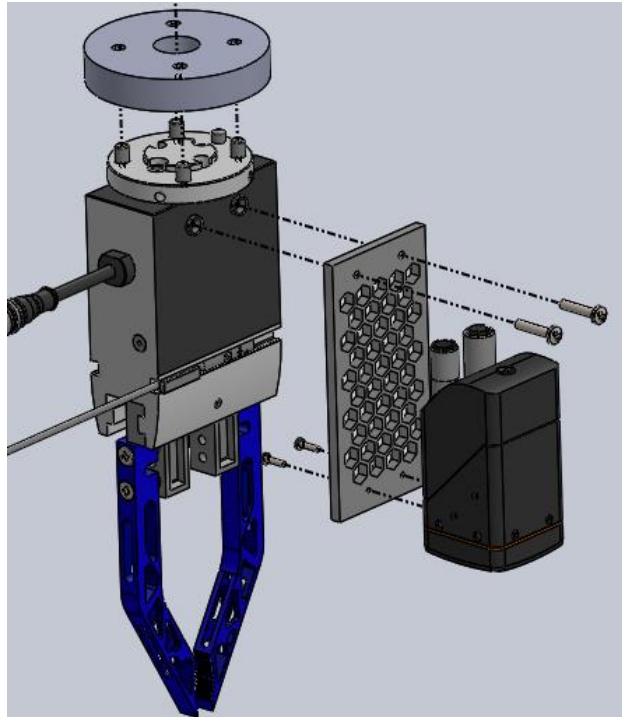


Figura 7.6.2. Disseny de l'adaptador per a Impressió 3D. Font pròpia

7.6.2. Taula de treball

Ha de disposar d'un calaix per eines i una unió mecànica per fixar la pantalla de control/ pc. Si pot ser, les potes ha d'acabar en forma de “ventosa” per esmorteir les vibracions derivades de la inèrcia del braç SCARA. Per simplificar la tasca de disseny, es pot partir d'un model 3D com a referència i afegir els accessoris necessaris, com el que es mostra a continuació:



Figura 7.6.2. Model 3D de taula de treball industrial [16]

Per tal de deixar lliure superfície de treball en la taula, el portàtil s'acoblarà amb un suport metàl·lic en forma de braç, per oferir mobilitat i comoditat a l'hora de posicionar l'ordinador (disponible a Amazon per 53.19 € [17]).

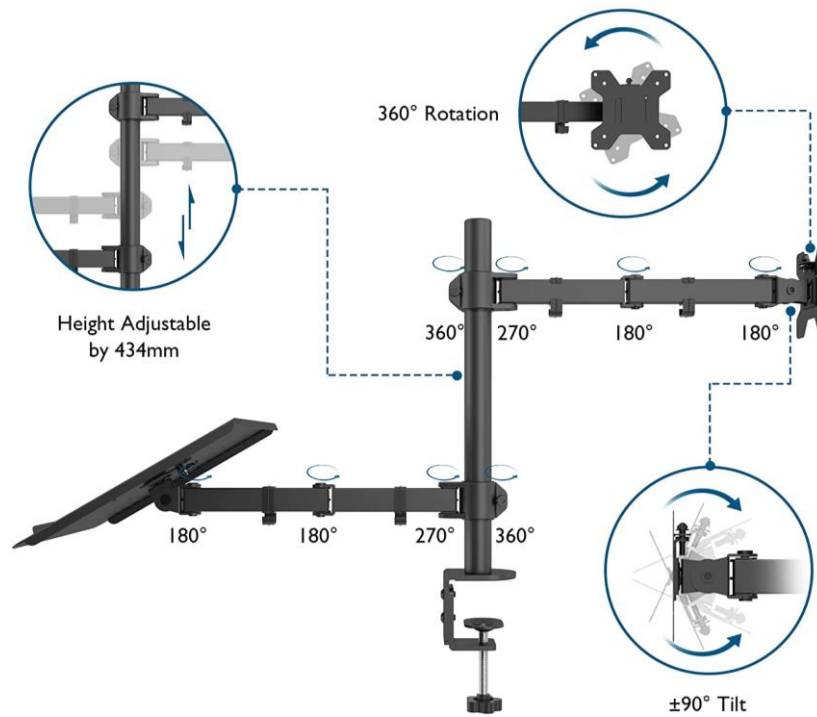


Figura 7.6.3. Suport articulat per a portàtils

Com no s'han trobat models 3D disponibles, s'ha modelitzat a Solidworks des de zero:

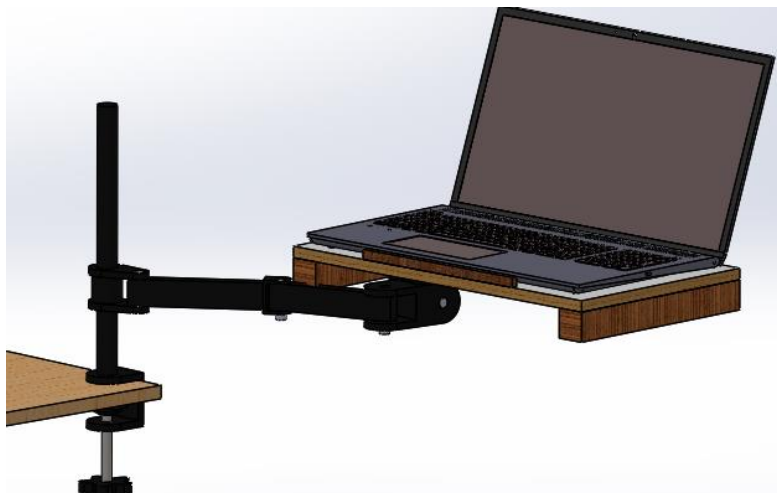


Figura 7.6.4. Modelització del suport articulat de portàtils. Font pròpia

Pla explosionat:

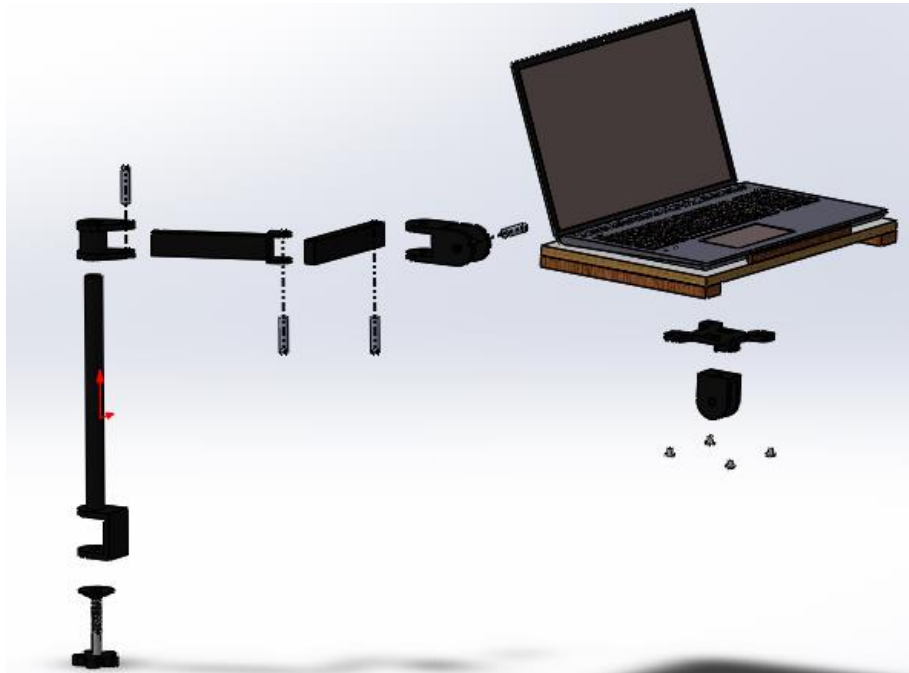


Figura 7.6.5. Vista explosionada del suport articulat de portàtils. Font pròpia

Per tal de fer reparacions preventives i d'emergència al moment, convé disposar de caixes d'eines amb instrumentació adequada. Si la taula no disposa d'un nivell inferior on deixar-les reposant, es poden carregar al bastidor metàl·lic:

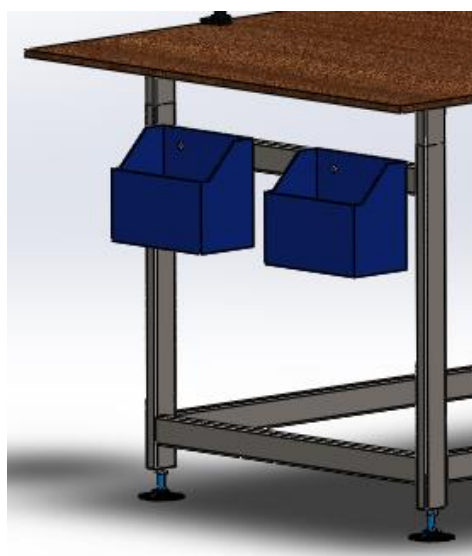


Figura 7.6.6. Caixes d'eines a les taules de treball. Font pròpia

7.6.3. Braç robòtic

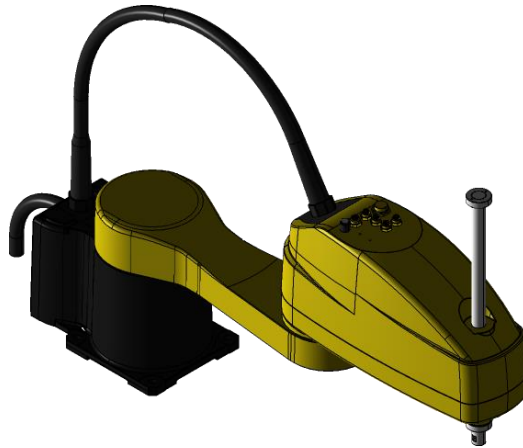


Figura 7.6.7. Model 3D del robot Fanuc SCARA Robot SR-6iA

Per acoblar la pinça al robot SCARA, cal un plat adaptador:

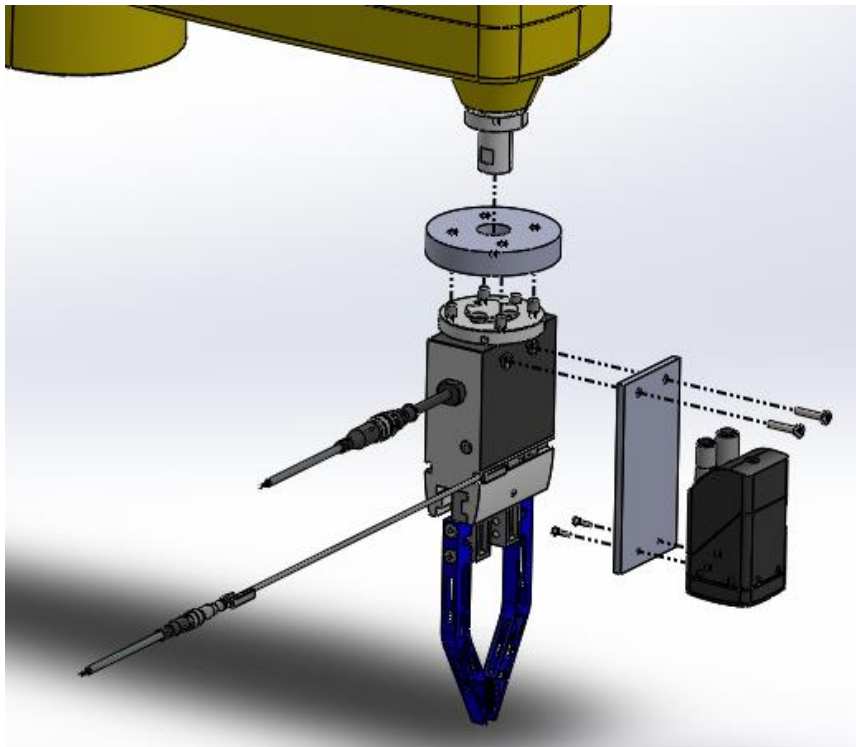


Figura 7.6.8. Plat adaptador per acoblar la pinça al robot SCARA. Font pròpia

7.6.4. Cinta transportadora

Per comptar el nombre de juntes que passen per la cinta, es posarà un sensor fotoelectrònic que compti quan una junta travessa el feix de llum. També serveix per comprovar si s'ha produït alguna parada no prevista, o si les peces no entren d'una en una.

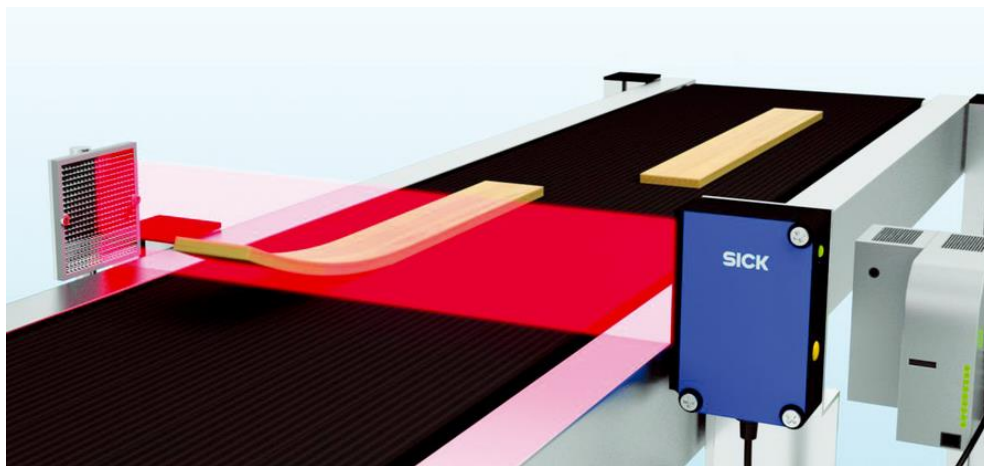


Figura 7.6.9. Exemple de funcionament d'una cèl·lula fotoelèctrica en cinta transportadora

La pàgina web de FESTO ofereix models CAD dels seus productes:



Figura 7.6.10. FESTO Barrera de luz SOOE-TB-L-PNLK-T, alcance 20 M [18]

Hi ha models de cinta transportadora que disposen de perfils amb parets elevades pe a evitar que els productes caiguin fora de la cinta, però els més comercialitzats no en tenen.

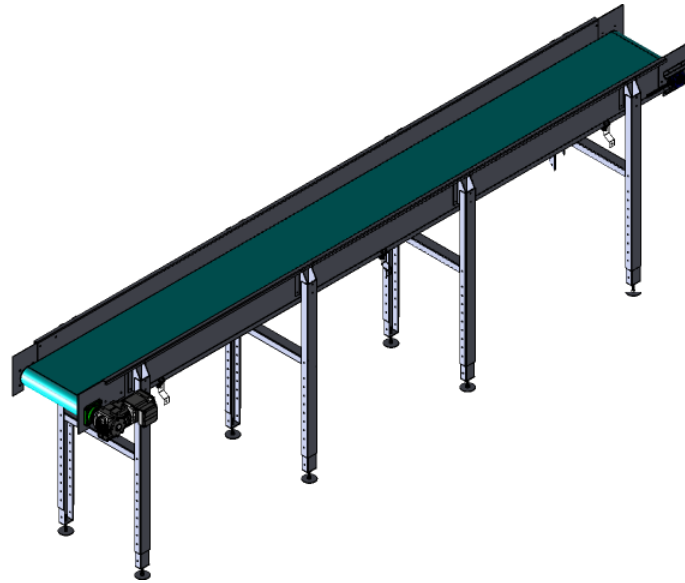


Figura 7.6.11. Model 3D de cinta transportadora amb parets protectores [19]

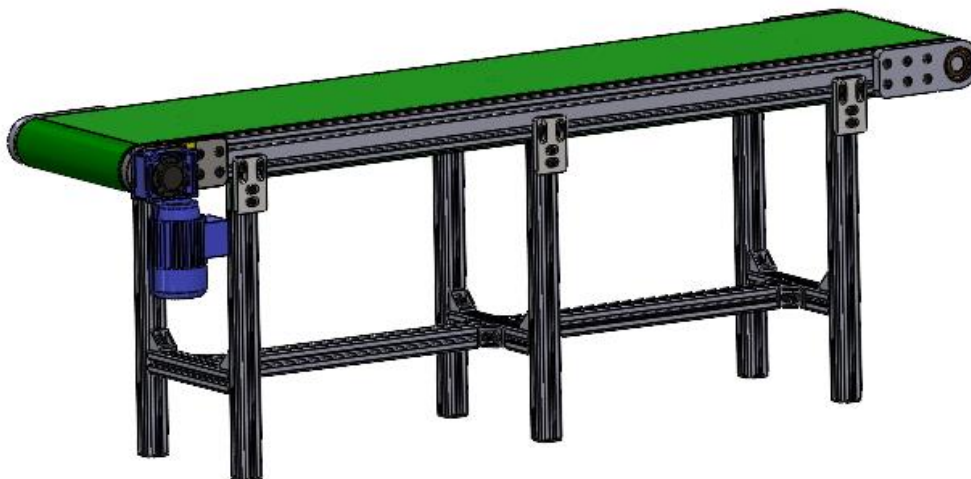


Figura 7.6.12. Model 3D de cinta transportadora sense parets protectores [20]

Per al primer tipus, la base que suporta el robot es pot instal·lar directament sobre els perfils, però per a situar les barreres al nivell de la banda de la cinta, s'hauran de fer forats:

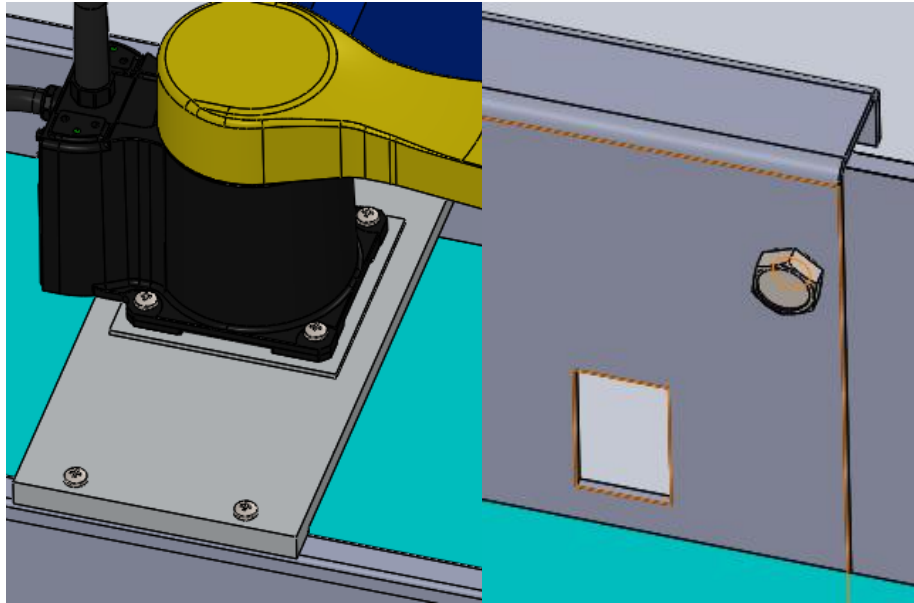


Figura 7.6.13. Acoblament del robot i la barrera de llum en cintes amb parets elevades. Font pròpia

Per a cintes sense perfils elevats, cal dissenyar un utiltatge per a cargolar la barrera als laterals de la cinta, i una estructura de perfils d'alumini per al robot SCARA.

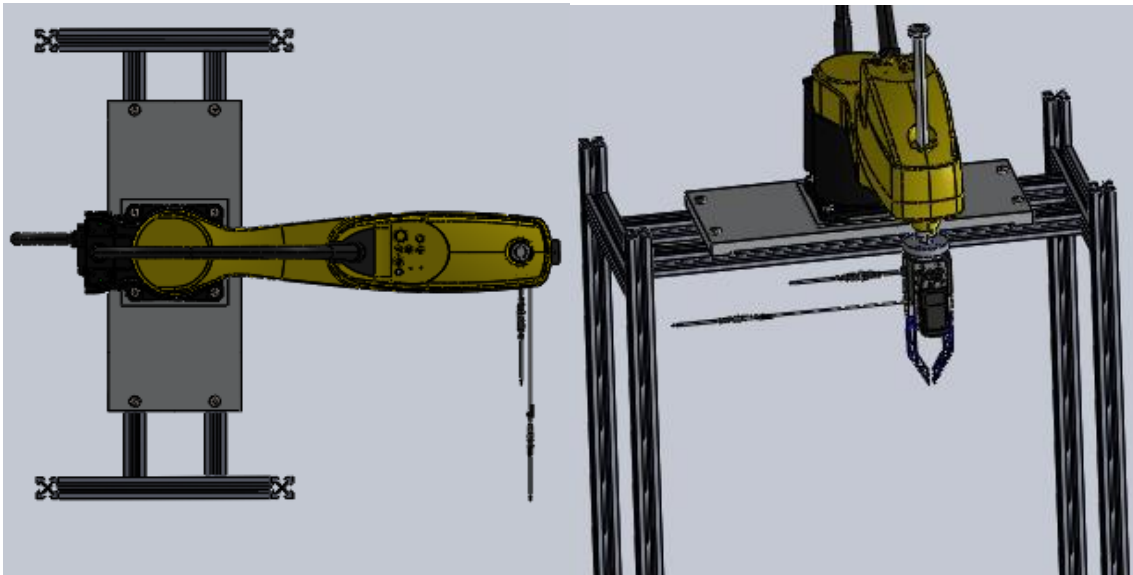


Figura 7.6.14. Acoblament del robot en cintes sense parets elevades. Font pròpia

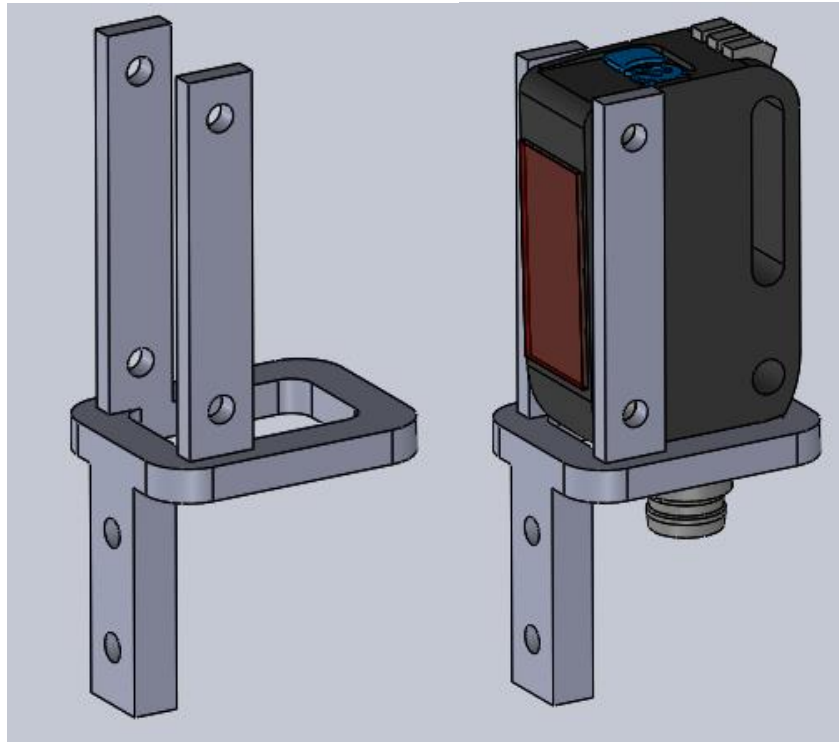


Figura 7.6.15. Acoblament de la barrera de llum en cintes sense parets elevades. Font pròpia

7.6.5. Utillatges per a les microfractures

Per tal de proveir assistència a l'operari per a fer més amena la tasca d'identificar micro-esquerdes i sigui menys propens a cometre errors humans, es proposa el disseny d'utilitatges per posicionar les juntes per tal d'observar zones on apareixen més sovint: l'anell intern i els punts d'unió dels radis, il·lustrades a les Figures 3.9 i 3.10.

Fractures de l'anell intern

L'utilitatge per a les fractures de l'anell intern es pot basar en un plat giratori on ubicar la junta, i amb un espai al centre per a que l'operari vagi comprimint amb els dits la junta per veure si s'obren esquerdes. El pendent que hi ha a la zona central facilita manipular la junta.

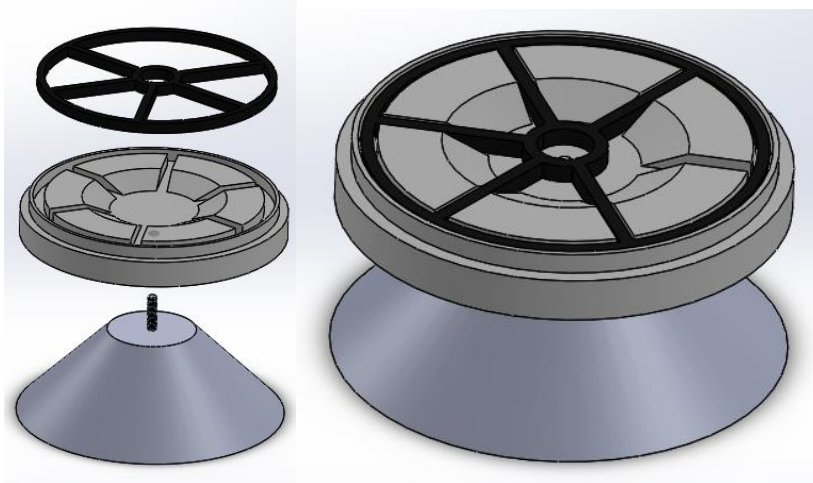


Figura 7.6.16. Utilitatge per a les fractures de l'anell intern. Font pròpia

Per tal de dissenyar la rosca, Solidworks compta amb la operació Rosca. Si es vol seleccionar una rosca mètrica M5, cal seleccionar les opcions Metric Tap (mascle) i Metric Die (femella).

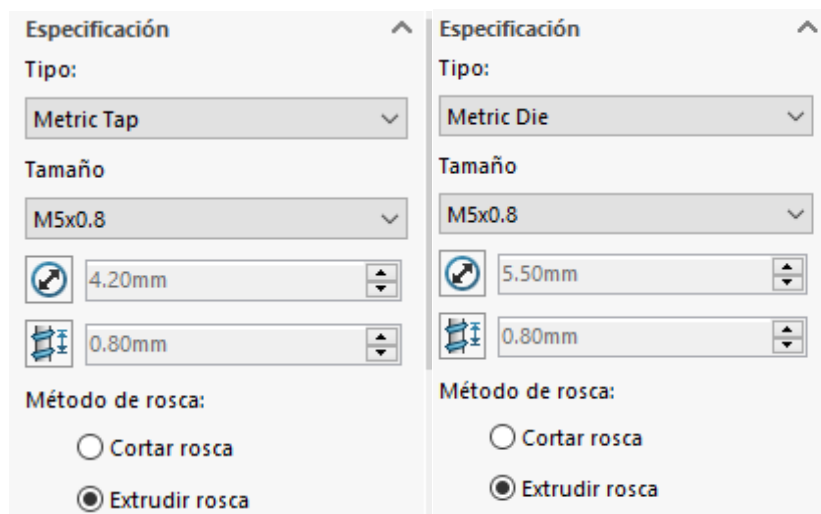


Figura 7.6.17. Operació Rosca de Solidworks [21]

A l'assemblatge, s'estableix una relació posició mecànica de "Tornillo", seleccionant les cares adequades i posant el mateix pas de rosca que un M5 (0.5 mm/ volta).

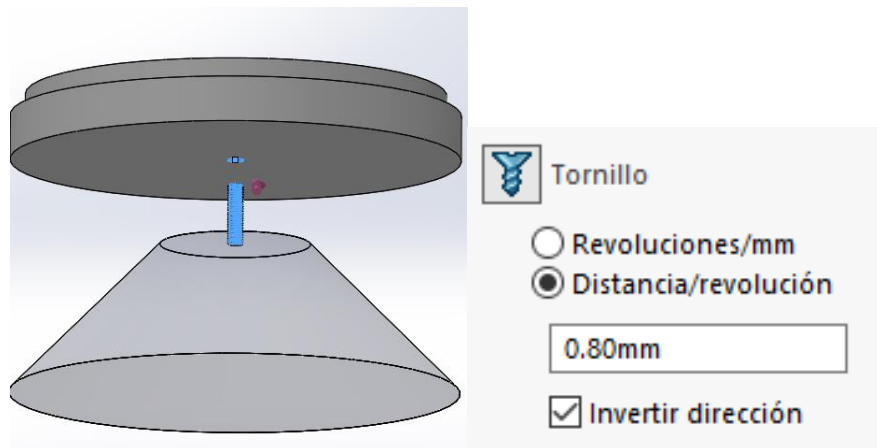


Figura 7.6.18. Unió mecànica “Tornillo” de Solidworks [22]

Fractures dels radis

Els radis de les juntes es poden torsionar en qualsevol sentit si la goma es subjecta per l'anell interior. Una manera molt senzilla d'implementar-ho és amb un cilindre del mateix diàmetre que l'anell interior (Figura 4.1.10). Com les juntes de 4 i 5 radis tenen dimensions diferents d'anells interiors, la plantilla ha de tenir cilindres de les dues mides. Tal i com es veu a la figura següent, es marca degudament el nombre de radis (4R i 5R) per a que l'operari no pateixi confusions:

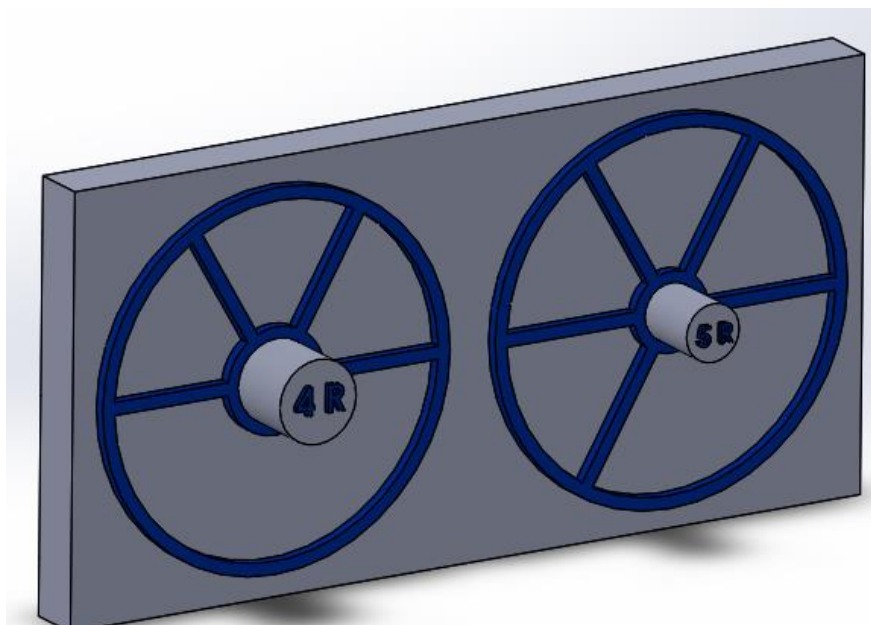


Figura 7.6.19. Utillatge per a les fractures dels radis. Font pròpia

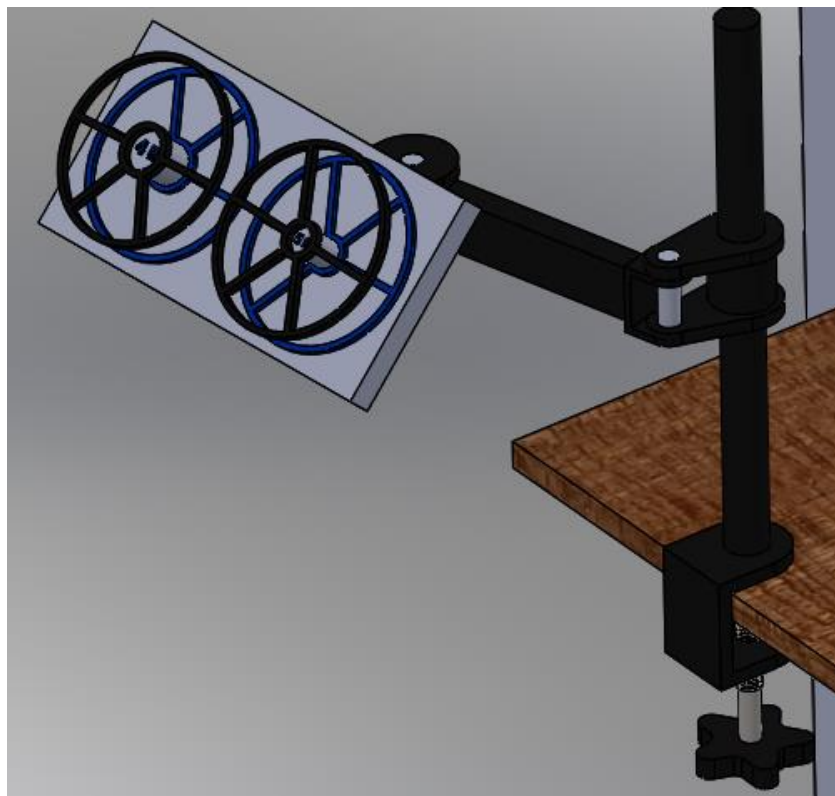
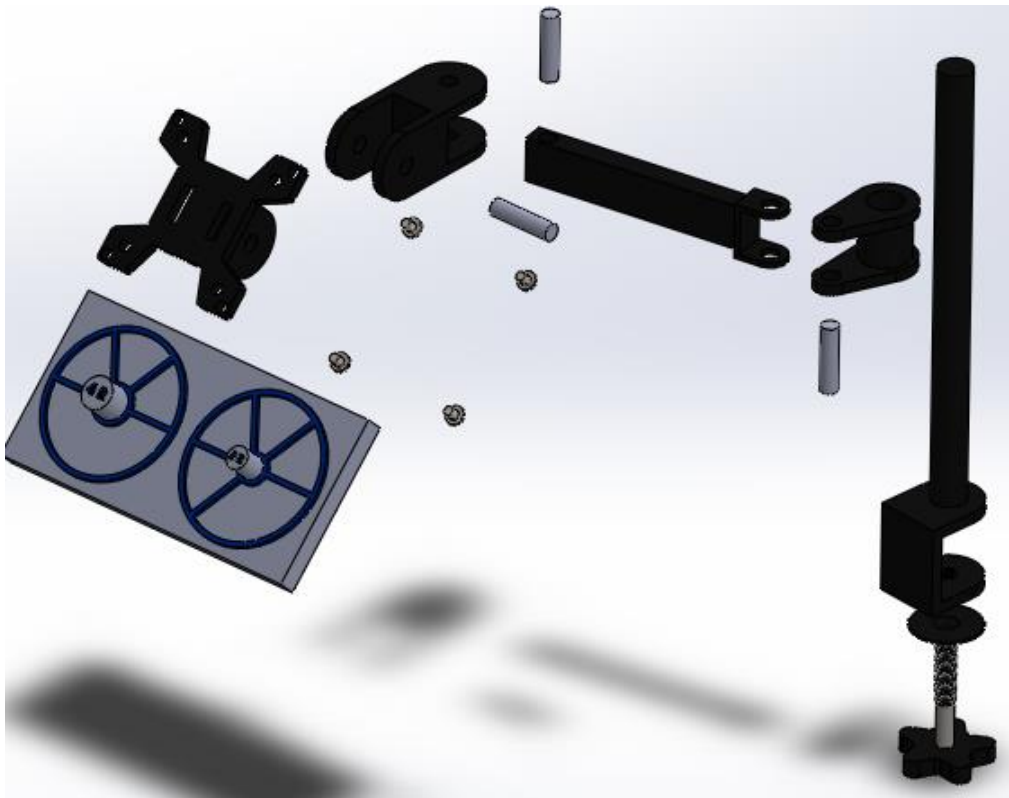


Figura 7.6.20. Assemblatge per a fixar l'utillatge per a les fractures dels radis. Font pròpia

7.6.6. Estacions de treball

Estació de defectes greus

L'estació de defectes greus té un robot SCARA, una taula de treball i un dipòsit per a que el robot deixi caure les peces defectuoses.

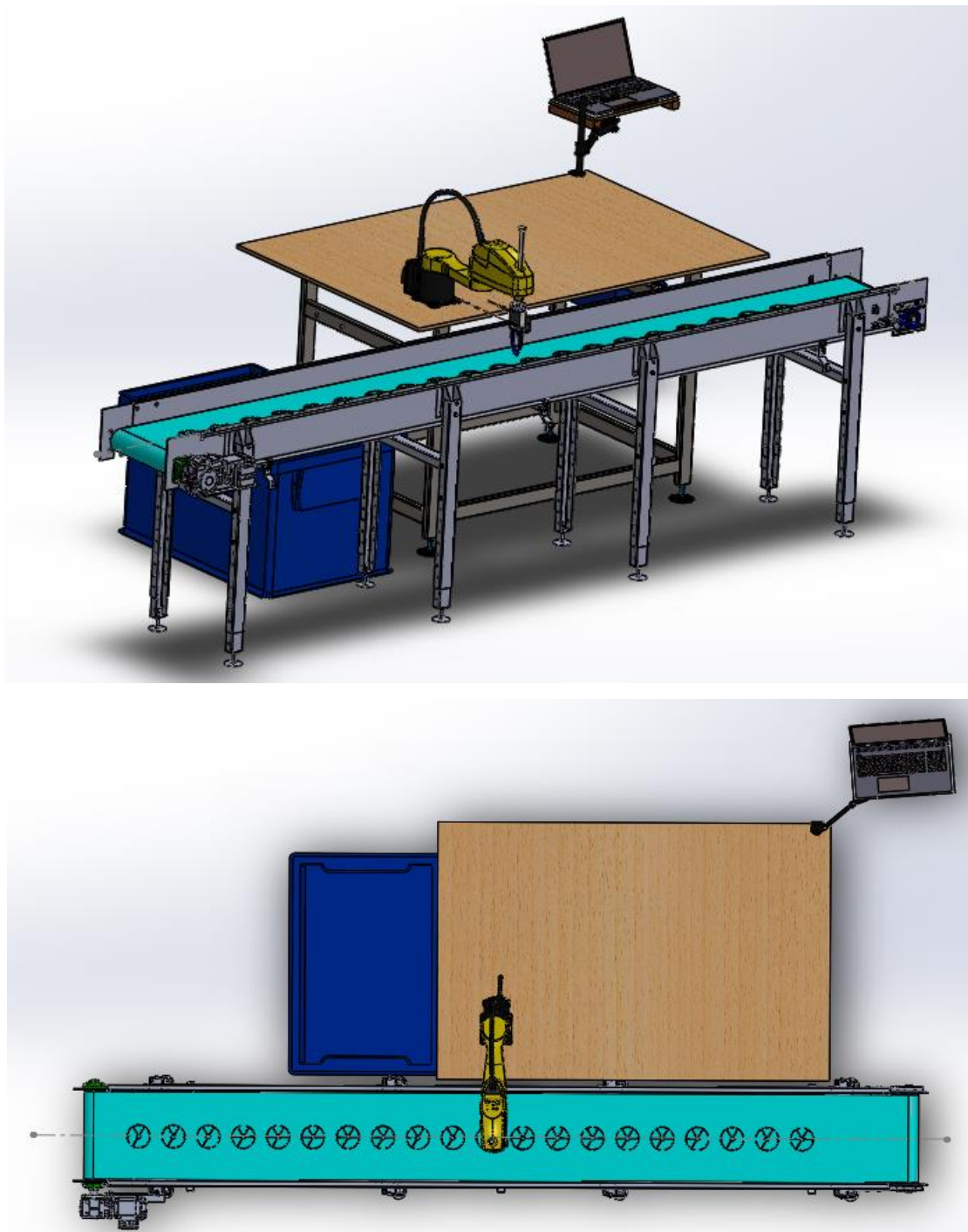


Figura 7.6.21. Disseny inicial de l'estació de defectes greus. Font pròpia

Com es pot veure, la estació de detecció de defectes greus disposa de taula de treball amb ordinador incorporat per al monitoreig de les seves funcions, un robot SCARA amb pinça i càmera DATALOGIC, i un contenidor per a que el robot aboqui directament les peces defectuoses. Al final el dia es pot portar a la zona de gestió de residus manualment o amb una plataforma/carro de transport, en cas que els operaris tinguin problemes de condició física:



Figura 7.6.22. Carro de transport per moure el dipòsit de residus

Per tal de moure adequadament els subensamblatges, cal fer click dret i anar a Propietats per canviar la manera de solucionar-lo a flexible, ja que si no, els seus components no es poden moure. Això afecta sobretot als suports dels ordinadors.

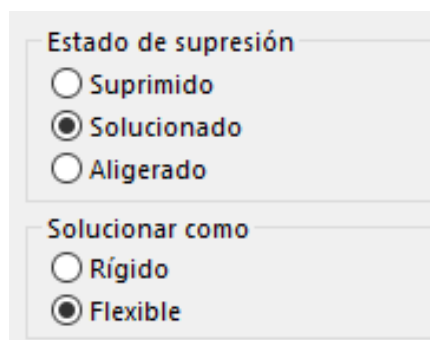


Figura 7.6.23. Com moure subensamblatges. Font pròpia

Estació de defectes lleus

Els defectes lleus, que són les rebaves excessives i microfractures, requereixen d'operaris que manegin les juntes: per tant, cal una taula de treball per a cada inspecció. Per tal de compactar la distribució de planta, es pot posar una taula a cada banda de la cinta transportadora, tal i com mostra aquesta sala de *despiece* de Mecanova [23]:



Figura 7.6.24. Exemple de línia amb taules a tocar de les cintes

La visió artificial pot detectar quan són excessives les rebaves, de manera que un robot SCARA amb càmera integrada les portarà a la taula de l'operari per a que les talli manualment. Per tal d'evitar que es vagin acumulant a la superfície de la taula, convé dissenyar un compartiment per a que els operaris les agafin quan estiguin llestos.

Una manera d'abordar el problema és obrir un forat a la taula i col·locar-hi un mini-contenedor [24], similar al que acumula peces defectuoses però en petit. Cargolant el compartiment a ras de la superfície de la taula confereix al robot un ampli marge d'acció per a que no es caiguin les juntes per fora, i evita que la pinça col·lisióni contra les seves parets.

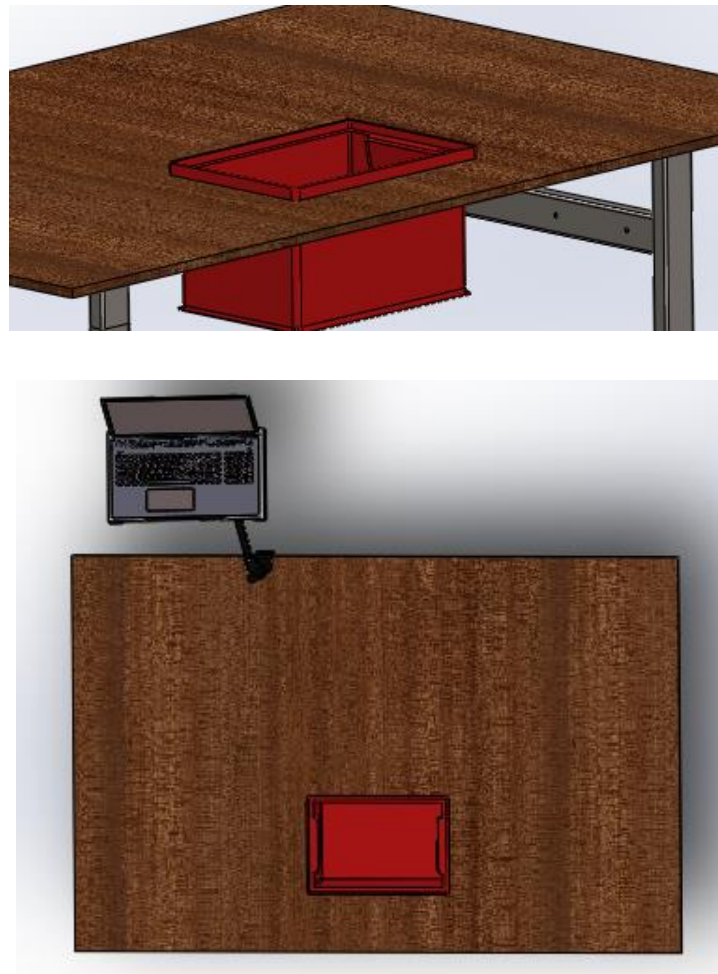


Figura 7.6.25. Integració del contenidor acumulador en la taula de treball. Font pròpia

Tot i així, cal tenir una consideració respecte les condicions de seguretat per a l'operari. Si bé hi ha suficient distància entre la mà de l'operari i el robot en el punt de major aproximació en la seva trajectòria, pel cansament de les hores de treball es pot despistar i acostar la mà més del que li correspon, fent possible una col·lisió amb el robot. Hi ha dos possibles solucions: afegir sensors externs per aplicar els principis dels robots col·laboratius, o obrir una porta o forat per a que els operaris vagin agafant les juntes acumulades en el dipòsit.

La solució de robòtica col·laborativa suposa una major inversió en software i hardware, i es frena la línia de producció cada cop que hi ha una col·lisió imminent. En canvi, instal·lar una porta al contenidor és molt més senzill i econòmic.

També es podria instal·lar una gàbia de seguretat que separi l'operari del robot, però s'haurà de dissenyar a mida.

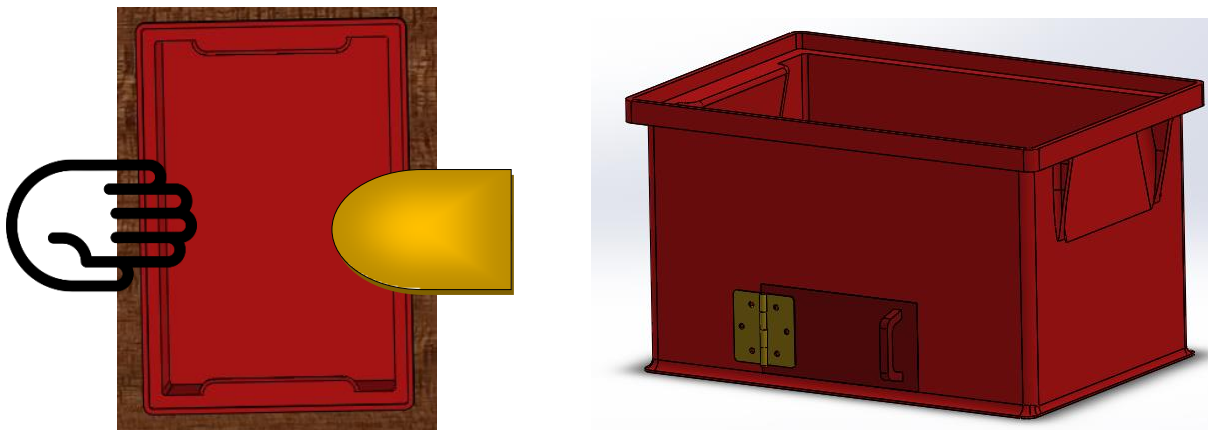


Figura 7.6.26. Maneres d'evitar la col·lisió operari-robot. Font pròpia

Per tal de desviar productes a les dues bandes de la cinta transportadora, és convenient col·locar el robot SCARA al centre de la trajectòria, per tant, en el centre de la cinta transportadora. Per tant, dissenyar una plataforma per col·locar el robot sobre la cinta permet aprofitar el seu recorregut al màxim:

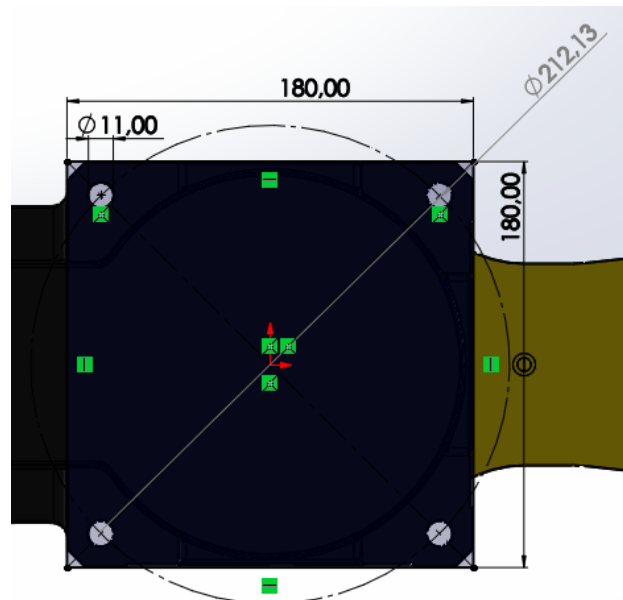


Figura 7.6.27. Ubicació dels forats del robot SCARA. Font pròpia

Tant si el robot s'acaba instal·lant en cintes amb o sense parets elevades, convé dissenyar una base sobre la que reposi el robot i tingui els forats adequats per fixar el robot:

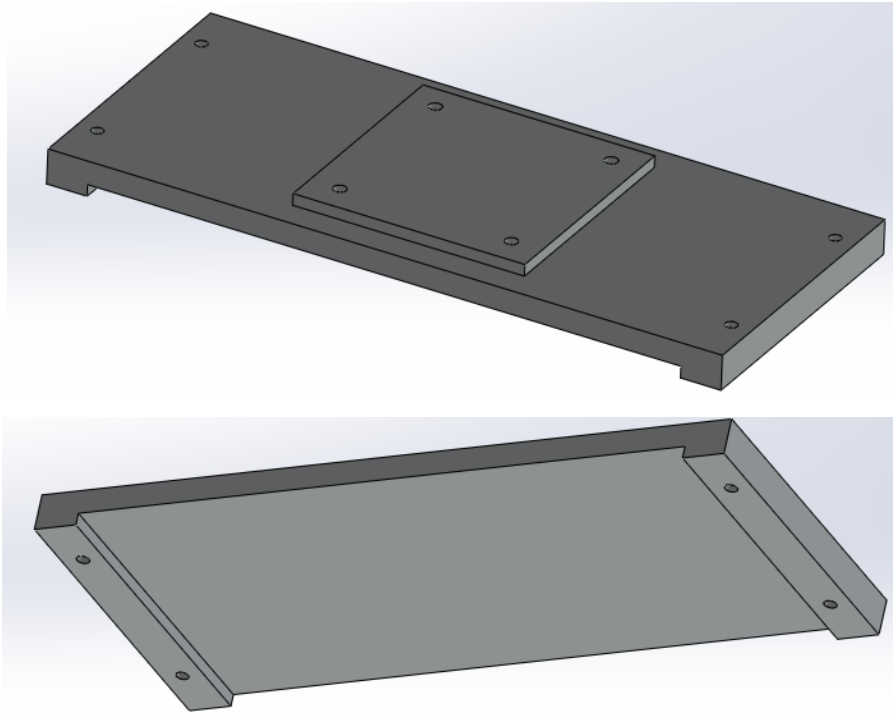


Figura 7.6.28. Base per al robot SCARA. Font pròpia

Amb aquesta base, el robot SCARA es col·locaria així:

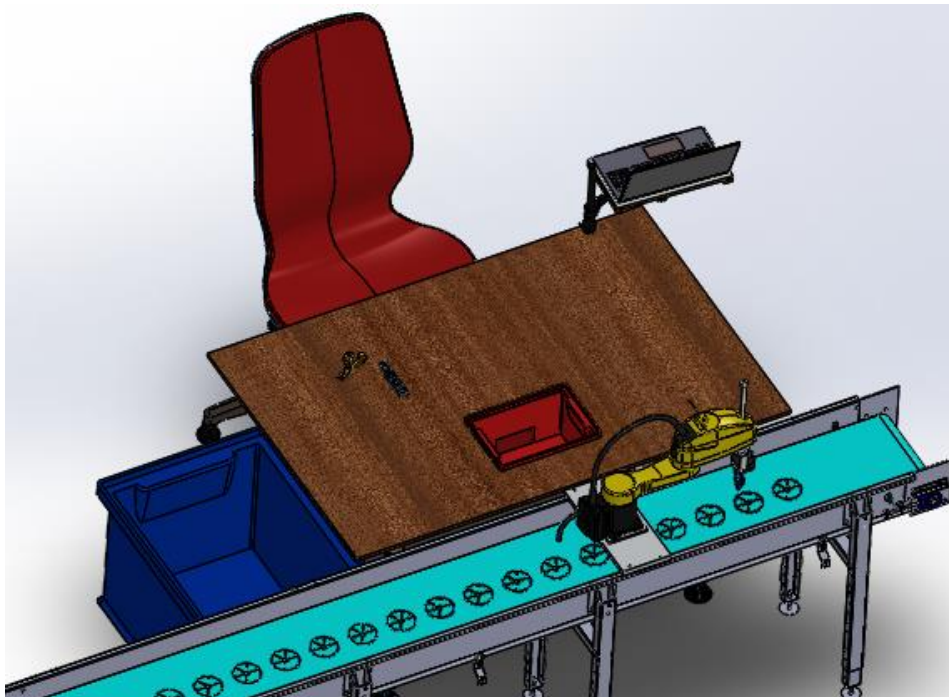


Figura 7.6.29. Disseny inicial de l'estació de tall de rebaves. Font pròpia

La segona part dels defectes lleus són la inspecció de fractures, una operació que l'operari realitza peça per peça. Per tal de facilitar-li la feina i que cometi menys errors per cansament o monotonia, s'implementen els dos utilitatges explicats anteriorment. Si les fractures observades són significatives, s'abocaran al contenidor de rebuig (blau). Si passa els controls, es pot declarar que les juntes han passat totes les etapes del control de qualitat i es col·loquen a les caixes d'empaquetat.

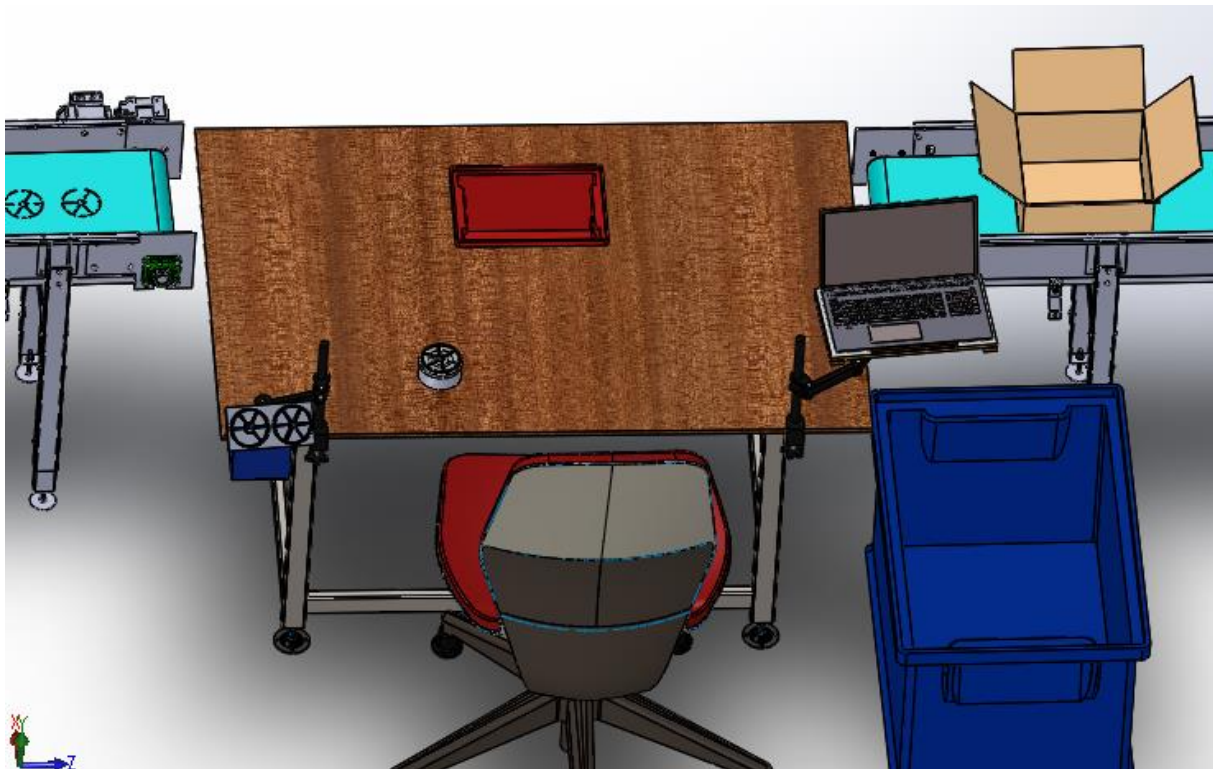


Figura 7.6.30. Disseny inicial de l'estació d'inspecció d'esquerdes. Font pròpia

Per tal de facilitar les connexions amb el PLC i ajuntar tot el cablejat, es disposen les tres taules a una mateixa banda de la cinta transportadora.

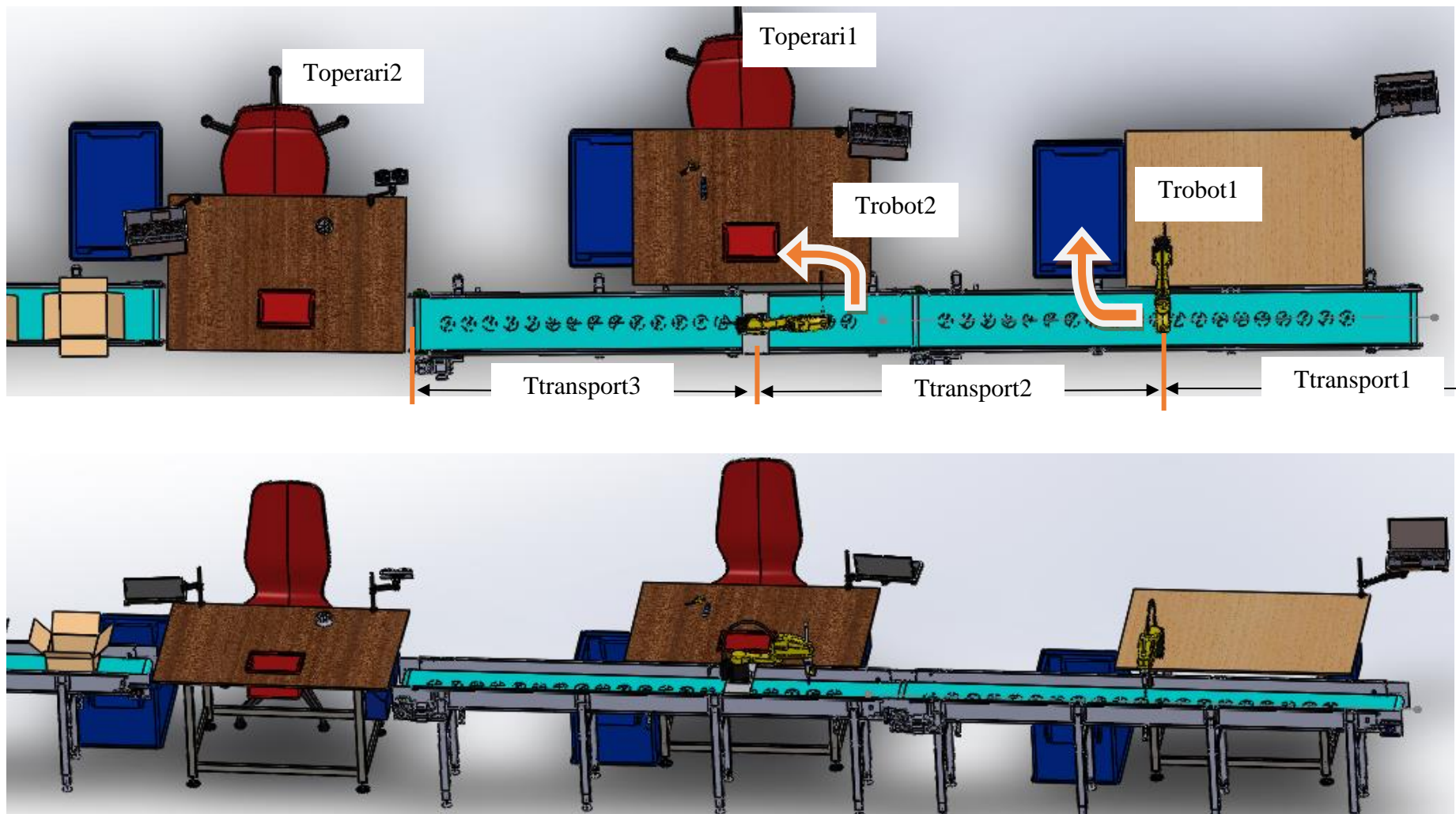


Figura 7.6.31. Disseny inicial de l'estació completa. Font pròpia

AMFE: ANÁLISIS MODAL DE FALLES I EFECTES POTENCIALS (PRODUCTE)																		
Producte: Junta estrellada de vàlvula selectora		Data AMFE Inicial:		Nom del departament: Control de Qualitat					Proveïdor de matèries primeres:			Full: 1						
Codi del component/producte:		Data AMFE última revisió:		Supervisor:					Data de Fabricació:									
Component	Núm. Fallada	Falles potencials				Estat actual					Accions correctores recomanades	Responsable	Situació de millora					
		Mode de fallada	Efecte	Causes	Mètode de detecció	Mesures de control actuals	Gravetat (G)	Ocurrencia (O)	Detectabilitat (D)	NPR inicial			Fase del control de qualitat	Accions preses	Gravetat (G)	Ocurrencia (O)	Detectabilitat (D)	NPR final
Junes estrellades de vàlvula selectora	1.1	Radis trencats	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Les tensions internes superen la tensió de ruptura de l'elastòmer	A simple vista o amb càmeres d'alta velocitat	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (molt ràpida)	100	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, control estadístic, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 1 (detecció en moviment)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 1 a la Fase 2.	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	1 (instantani)	50
	1.2	Anell extern trencat	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Les tensions internes superen la tensió de ruptura de l'elastòmer	A simple vista o amb càmeres d'alta velocitat	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (molt ràpida)	100	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, control estadístic, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 1 (detecció en moviment)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 1 a la Fase 2.	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	1 (instantani)	50
	1.3	Anell intern trencat	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Les tensions internes superen la tensió de ruptura de l'elastòmer	A simple vista o amb càmeres d'alta velocitat	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (molt ràpida)	100	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, control estadístic, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 1 (detecció en moviment)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 2 a la Fase 3.	10 (peça inservible)	5 (1 de cada 100 unitats)	1 (instantani)	50
	1.4	Deformació dels radis	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Contraccions irregulars per refredament de la vulcanització	Càmera de visió artificial de toleràncies dimensionals	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	7 (difícil d'apreciar a simple vista)	315	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 2 (metrologia)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 2 a la Fase 3.	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (requereix càlculs dimensionals amb la càmera)	90
	1.5	Deformació del anell extern	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Contraccions irregulars per refredament de la vulcanització	Càmera de visió artificial de toleràncies dimensionals	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	7 (difícil d'apreciar a simple vista)	315	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 2 (metrologia)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 2 a la Fase 3.	9 (la peça no encaixa en la vàlvula)	5 (1 de cada 100 unitats)	2 (requereix càlculs dimensionals amb la càmera)	90
	1.6	Rebaves sense treure	Peça incompleta	Error humans dels operaris	Càmera de visió artificial amb control d'il·luminació	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	4 (correctible)	5 (1 de cada 100 unitats)	5 (requereix observació atenta o il·luminació controlada)	100	Treure manualment les rebaves, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 3 (il·luminació lineal)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 3 a la Fase 4.	4 (correctible)	5 (1 de cada 100 unitats)	3 (requereix guiat de càmeres i il·luminació)	60
	1.7	Micro-esquerdes	Peça defectuosa (com no encaixarà correctament, no és funcional)	Causa d'esquerdes en elastòmers:	Sistema flector amb guiat d'il·luminació i càmeres de visió artificial	Revisió manual, peça a peça i a simple vista per part d'operaris	7 (fallada per fatiga imminent)	5 (1 de cada 100 unitats)	10 (requereix flectar la peça en múltiples angles i observació atenta)	350	Descartar la peça i enviar-la a gestió de residus, recompte diari de peces amb aquest defecte	Operaris de planta, secció de control de qualitat	Fase 4 (sistema de detecció automàtic d'esquerdes)	Si té aquest defecte, enviar immediatament a gestió de residus. Si no el presenta, enviar la peça de la Fase 4 a la secció d'empaquetat.	7 (fallada per fatiga imminent)	5 (1 de cada 100 unitats)	5 (requereix flectar la peça en múltiples angles i guiat de càmeres i il·luminació)	175

Taula 7.6.1. AMFE actualitzat després de definir les estacions de la línia

7.7. IoT i Cloud Computing

Automatitzar un procés de planta no és suficient en l'entorn professional actual: cal que sigui intel·ligent per integrar-se en el context de la Indústria 4.0, l'objectiu del qual és la transformació digital de les fàbriques. La informació generada en un dia de producció es pot enviar al núvol i emmagatzemar en una base de dades per poder visualitzar el recompte de defectes detectats al dia i realitzar informes per a representar les dades d'una manera més clara i intuïtiva. Fent això, es pot comprovar quins són els defectes més comuns, i si es detecta una tendència de creixement anòmal es pot revisar el procés de fabricació a temps i realitzar accions de manteniment predictiu, minimitzant les despeses en peces defectuoses.

Tot i que no s'expliquin en detall els protocols de Cloud Computing i comunicacions inalàmbrics, es recomana implementar estructures de IIoT (*Industrial Internet of Things*). La maquinària industrial escollida (impresora 3D, controlador del robot Fanuc, panell de control industrial amb pantalla HMI integrada) es poden programar de forma remota, o sigui que apliquen els principis que caracteritzen una Smart Factory pròpia de la Indústria 4.0.

De qualsevol manera, si a més s'implementa una arquitectura IoT, la xarxa de dispositius connectades a la xarxa local de la fàbrica (WLAN) i al núvol sempre es podrà expandir, ja siguin *endpoints* (sensors i actuadors remots) o aplicacions d'usuari.

Per la quantitat de dispositius que pot tenir la línia, la gran quantitat de dades que es poden processar, i les distàncies d'una fàbrica industrial, la tecnologia de comunicació inalàmbrica hauria de ser la Wifi, relegant Zigbee per aplicacions de domòtica.

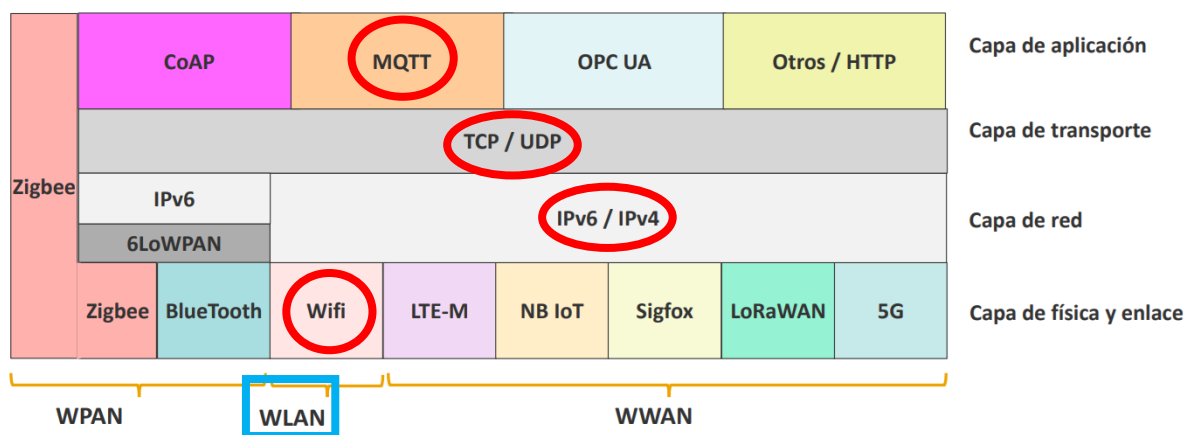


Figura 7.7.1. Protocols de les capes de comunicació a utilitzar en xarxes locals WLAN

7.8. Perspectiva de gènere

Segons la Comissió Europea (2016) *Guidance on Gender Equality in Horizon (2020)*, el gènere “es refereix a la construcció social i cultural de dones i homes, que estableix models de comportament per a la feminitat i la masculinitat, que varia en el temps i en l'espai, i entre cultures. Inclou: normes de gènere (actituds), relacions de gènere (rols) i identitats de gènere”.

Un projecte requereix d'un apartat de perspectiva de gènere en cas que homes i dones, per qüestions biològiques o per factors socials i culturals, utilitzin de manera específica o diferent els productes i els serveis tecnològics. Comporta prestar atenció a les desigualtats (per diferències d'ingressos o per factors socioculturals) en l'accés al producte o servei i ajustar la tecnologia a les diferències biològiques (com força i mida corporal) i a les preferències o necessitats dels homes i de les dones.

Aquest projecte s'orienta en el disseny d'un procés productiu, en concret el control de qualitat, de manera que sí aplicaria desenvolupar aquest apartat. A continuació, s'exposen unes guies que ajudaran a concretar com afecta la perspectiva de gènere en el projecte:

1) Considerar el segment de clients objectiu (dona/home) en la fase de desenvolupament del producte/procés, tenint en compte les seves característiques i les seves necessitats, amb atenció també a altres categories com edat, raça o diversitat funcional.

Tot i que els consumidors finals dels filtres de piscines siguin persones de tots els gèneres, ètnies, edats i condicions físiques/psicològiques, ja que Fluidra és una empresa multinacional que ofereix productes personalitzats, l'automatització del control de qualitat va dirigit a les línies de producció d'aquests fabricants.

Per tant, els operaris que manejaran la línia de producció ha de ser personal qualificat per a realitzar operacions de manteniment en una línia de producció, amb coneixements bàsics d'electrònica i informàtica, i amb suficient capacitat d'aprenentatge com per saber manipular les càmeres i el robot quan els programadors subcontractats hagin realitzat el *setup* en la instal·lació dels equipaments.

2) Identificar i abordar les necessitats diferenciades de dones i homes tant pel que fa al ús del producte o servei com en l'entorn productiu en el que es fabrica el producte.

Els perfils d'alumini on s'instal·len les càmeres i el robot tenen altura regulable per adaptar-se a les fisonomies de tot tipus de persones, i com els operaris, tècnics i enginyers treballen asseguts en butaques, no perjudica a persones amb mobilitat reduïda.

La implementació de tecnologies IIot (*Industrial Internet of Things*) i de SCARAs permetrà als treballadors rebre informes de producció i avisos de avaries/errors de forma remota, sense haver de romandre físicament en la línia.

3) Si s'escau, analitzar l'impacte que les construccions culturals de gènere pugin tenir en el desenvolupament de materials i productes, així com en les noves tecnologies (desenvolupament de l'ordinador, CAD, nous mitjans, tecnologia làser, etc.).

Els materials d'impressió en 3D poden causar un cert impacte en la consciència mediambiental per la petjada mediambiental dels plàstics, però com s'ha vist en la viabilitat mediambiental, el material nylon PA11 és ecològic i reciclable.

La implementació de visió artificial i algorismes de *Deep Learning* per a la identificació de defectes en les juntes pot causar temor als treballadors de ser reemplaçats per ordinadors, però tal i com s'ha vist a la viabilitat tècnica, actualment es necessiten operaris per a detectar micro-esquerdes, i operaris per tallar les rebaves.

4) Incloure al treball de planificació la categoria de gènere pel que fa a la teoria del disseny i les interfícies d'usuari.

Les interfícies d'usuari com el HMI i el SCARA es poden personalitzar per a que siguin intuïtius, clars i visuals, de manera que qualsevol persona els pugui entendre sense problemes.

De cara a la distribució del personal i l'assignació de treball, s'ha de deixar clar en la política de l'empresa que no hi haurà cap diferència salarial, de tractament o càrrega de feina entre els treballadors per motius de gènere, ètnics, o altres, i podran aspirar a les mateixes oportunitats i tasques en la línia de producció.

5) Si és el cas, Identificar l'exposició diferencial dels diferents subgrups de dones i d'homes als productes químics.

L'única exposició a productes químics en la línia de producció és a les partícules i gasos de la impressora 3D, però tal i com s'ha comentat anteriorment, una ventilació adequada i la disposició de mascaretes en exposicions prolongades eviten que el sistema respiratori de qualsevol persona surti perjudicat.

6) Tenir en compte les diferències i desigualtats de gènere en el disseny de les mesures de seguretat dels productes i els processos de producció i en les implicacions sobre la seguretat personal que poden tenir.

Els operaris hauran de portar l'equipament adequat quan realitzin tasques de manteniment en equips elèctrics per a no patir descàrregues de corrent i seguir les metodologies de seguretat industrial en línies de producció.

Pel que fa a danys físics, el robot SCARA es mou amb força velocitat, però la distància respecte els operaris i el HMI de comandament del robot permeten evitar qualsevol tipus de perill o lesió.

Abans de realitzar la implementació del projecte cal assegurar que:

- El personal involucrat té adquirits els coneixements bàsics sobre la perspectiva de gènere i els posa en pràctica, sumant al conjunt de l'equip.
- Anàlisis de la composició de les persones usuàries les quals se'ls presta el servei final.
- Habilitar un seguiment i registre de persones participants segons sexe i gènere.
- Es recomanen les dinàmiques organitzatives i cooperatives en el grup de treball.

Un cop finalitzat i implementat el projecte es requereix d'una avaluació curosa amb l'objectiu de visualitzar possibles desigualtats de gènere sorgides de forma imprevista. El personal involucrat en l'avaluació ha de formar part de diferents gèneres i col·lectius, afavorint la diversitat d'opinió i punts de vista.

A continuació es formulen diverses preguntes a afectes d'indicadors d'avaluació:

- Ha sorgir alguna desigualtat o violència de gènere no prevista?
- El projecte ha afavorit a tots els col·lectius de la societat per igual?
- El projecte ha reforçat estereotips de gènere o culturals?
- El projecte ha beneficiat una persona amb menys poder dins un nucli familiar o comunitat?

8. Millora de la solució

La solució que s'ha desenvolupat en l'apartat anterior correspon a l'etapa de prototipat del cicle de vida d'un projecte, una *base line* que cal optimitzar per a poder arribar a l'etapa d'industrialització. El desenvolupament de la part electrònica del projecte busca trobar els paràmetres de configuració de les càmeres i la il·luminació per tal de detectar els 4 defectes, de manera que aporten informació real sobre la dificultat tècnica de la instal·lació i el temps que es tarda en detectar els defectes. Aquesta informació pràctica permetrà especificar en detall el disseny mecànic per posicionar les càmeres, i dades productives fiables per optimitzar la línia de producció.

8.1. Mètodes de disseny de línies de producció

El disseny d'una línia pot suposar una gran diferència en el seu rendiment. Hi ha de moltes formes i disposicions, però les més comunes solen identificar-se amb lletres [25]:

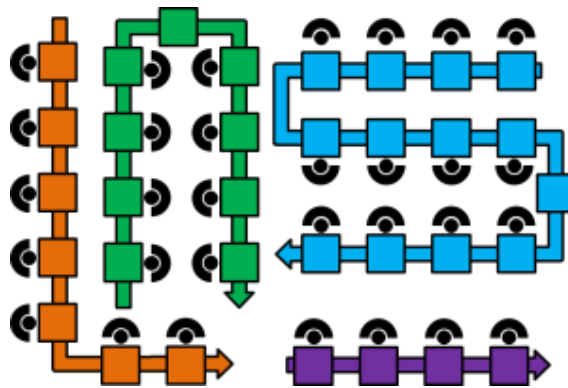


Figura 8.1.1. Formes de les línies de producció

Línia I (recta)

La forma recta és la més simple, i sol utilitzar-se per a línies molt curtes o per a línies automatitzades. L'avantatge és el fàcil accés des dels dos extrems de la línia, tant per al material com per als operadors.

D'altra banda, si és massa llarga, pot arribar als límits de l'edifici i ocupar espai útil per a altres sales i seccions de la fàbrica. A més, actua com una barrera pel flux de material i operaris, obligant-los a envoltar la línia tret que incorpori una espècie de pont o un altre encreuament. Finalment, a causa de la longitud de la línia, administrar i supervisar tot el recorregut és ineficient, i els operaris han de caminar llargues distàncies a peu.

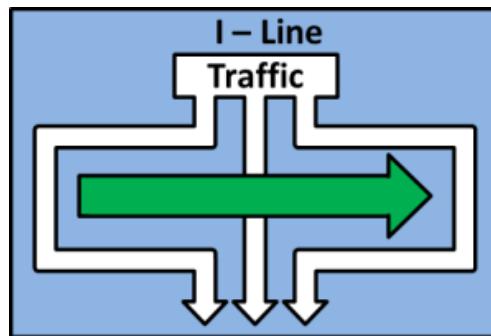


Figura 8.1.2. La línia recta (verd) pot obstruir el trànsit de materials i operaris(blanc)

Línia U

La línia U s'utilitza principalment per a línies de fabricació manual. Tots els operadors estan dins de la «U», mentre que les màquines i materials subministrats venen de fora. L'avantatge principal és que el nivell de productivitat es pot regular segons el nombre d'operaris que hi ha (producció flexible), permetent adaptar-se a la demanda:

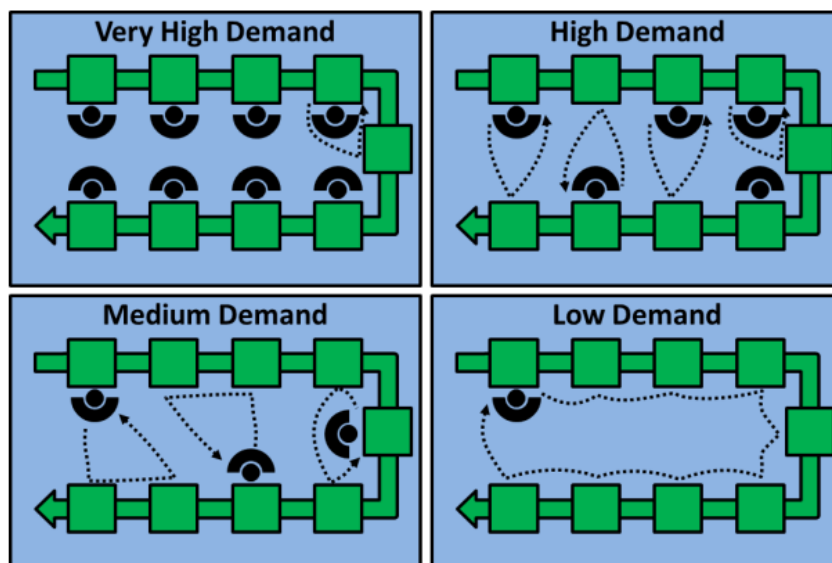


Figura 8.1.3. Adaptabilitat d'altres demandes en afegir operaris en línies de U

Un altre benefici és la capacitat dels treballadors per a atendre múltiples processos, des de l'inici fins al final de línia, sense realitzar grans desplaçaments. Per tant, aquest tipus de línia és molt adequat per al maneig de múltiples màquines. La proximitat de les estacions també permet que les avaries i altres problemes es solucionin més ràpid que en altres línies.

No obstant això, cal assegurar que les màquines siguin prou ràpides i que els treballadors en les diferents configuracions tinguin càrregues de treball similars per a evitar els temps d'espera dels operadors.

Línia de S

La línia S s'usa sovint per a línies particularment llargues, com per exemple línies d'assemblatge automotriu. La seva forma li permet adaptar-se molt més fàcilment en l'espai d'una planta de fabricació, i la logística també és molt més fàcil de manejar.



Figura 8.1.4. Línia d'assemblatge en forma de S

8.2. Alternatives de disseny de planta

Es contemplaran diferents *layouts* de planta per millorar la gestió de l'espai de planta, facilitar el control d'operacions i reduir el temps que es passen les juntes a la línia de control de qualitat. Es farà referència als temps definits a l'apartat de càlculs productius.

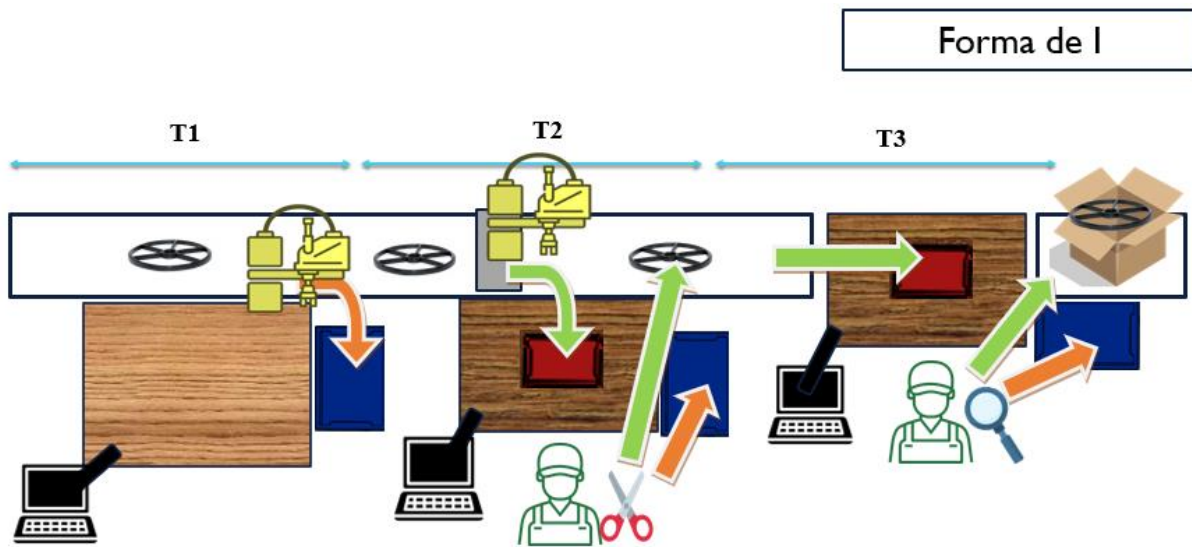
Forma de i

Figura 8.2.1. Esquema visual de la línia en forma de I

En el *layout* original, les tres taules de treball operen seqüencialment, de manera que, en cas de presentar rebaves, passarà per tots els processos:

- Estació de defectes greus (T1): si detecta una peça amb defectes lleus, el robot 1 la llença al contenidor; si no, la deixa passar a la següent estació
- Estació de tall de rebaves (T2): si no les detecta, les deixa passar, però si detecta rebaves, el robot 2 porta les juntes a la taula per a que l'operari talli les rebaves i les torni a la cinta
- Estació de detecció d'esquerdes (T3): TOTES les juntes no descartades van a la estació d'esquerdes per a ser inspeccionades UNA PER UNA, i si passen el control s'empaqueten.

Les peces amb rebaves passaran a la línia un temps $T_{MAX} = T1 + T2 + T3$. En aquest cas, $T1 = T_{trencades}$, $T2 = T_{rebaves}$ i $T3 = T_{esquerdes}$, sumant un màxim de $T_{MAX} = 150$ s.

Forma de U

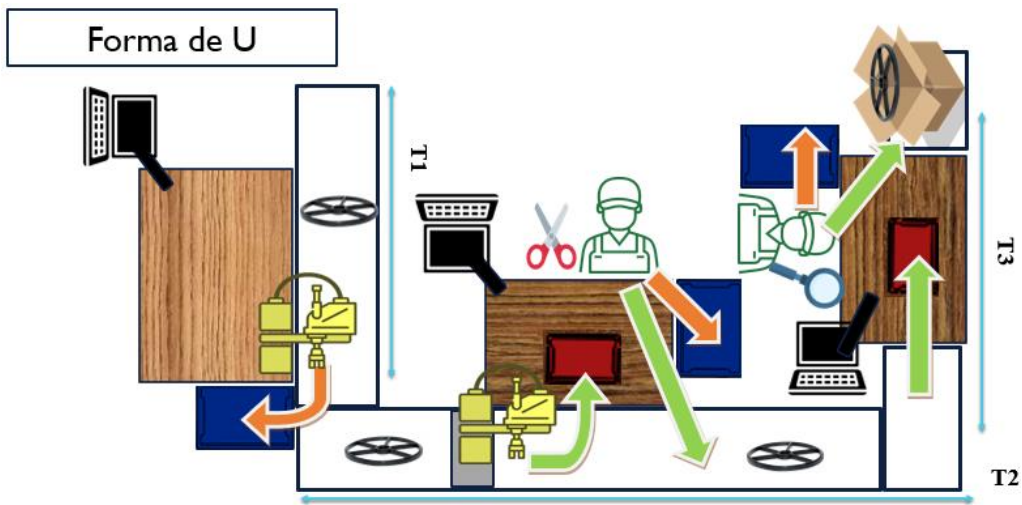


Figura 8.2.2. Esquema visual de la línia en forma de U

La forma de U permet estalviar espai de planta, i com els processos estan més propers, la gestió i control és més senzilla. A més, la gestió dels operaris és més flexible, podent-se moure entre estacions quan es requereixi. Tot i així, les peces amb rebaves tornen a passar per tots els processos, tardant un temps de $T1+T2+T3$. Com segurament es requeriran menys metres de cinta transportadora, el TMAX serà inferior al *layout* inicial.

Processos paral·lels

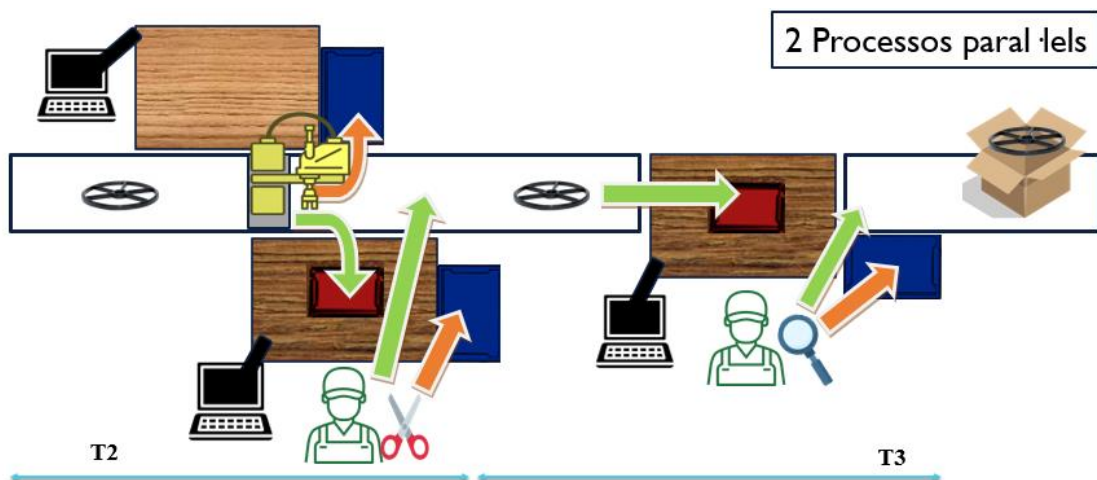


Figura 8.2.3. Esquema visual de la línia de processos paral·lels

Com l'etapa de defectes greus descarta directament les juntes i no requereix d'operaris, es pot executar simultàniament amb l'etapa de tall de rebaves per superposar els temps de cicle. Es pot implementar posant les dues estacions a cada banda de la cinta transportadora, i amb un sol robot SCARA instal·lat sobre la cinta que tingui suficient abast per arribar a les dues estacions. Si detecta defectes greus, les envia al contenidor de l'estació de defectes greus, si detecta rebaves, les posa a la taula de l'estació de tall de rebaves, i si no detecta res, les deixa passar a l'estació d'esquerdas.

Aquesta simultaneïtat permet reduir la longitud de la línia i el temps que les juntes passen en la línia, ja que T_2 correspondrà a $T_{\text{rebaves}} > T_{\text{trencades}}$. Per tant, $T_{\text{MAX}} = T_2 + T_3$.

Una apreciació que cal fer és que el robot SCARA haurà d'operar més ràpid, ja que envia juntes a les dues bandes de la cinta transportadora. Per tant, és millor instal·lar la càmera de visió artificial en un suport independent que integrar-lo en el robot que quasi no para de moure-s.

Línies paral·leles

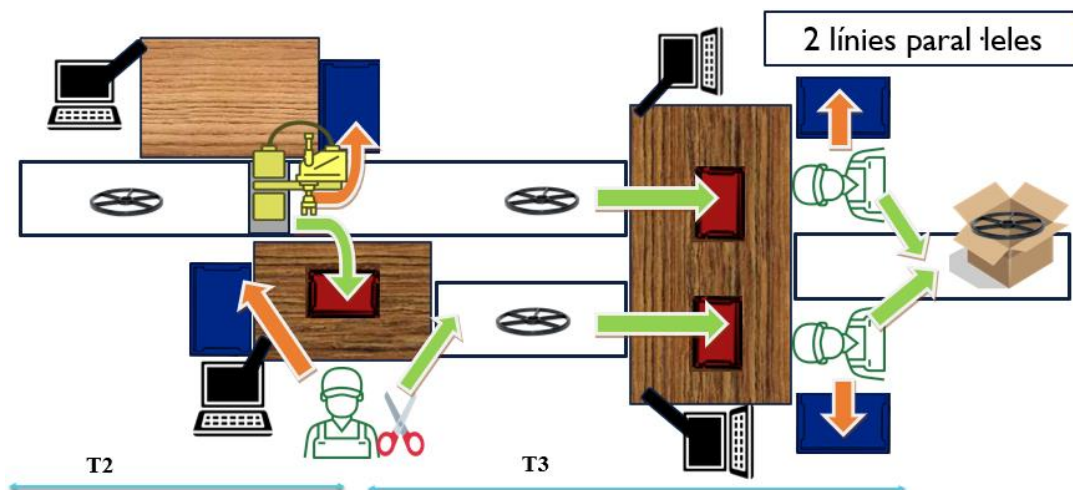


Figura 8.2.4. Esquema visual de la línia en forma de línies paral·leles

Aquesta última alternativa parteix de l'optimització del temps del cas anterior ($T_{\text{MAX}} = T_2 + T_3$), però posa les etapes de defectes greus i de tall de rebaves en cintes transportadores paral·leles, per a que l'estació de detecció d'esquerdas pugui processar juntes provinents de dos

orígens: les que no han presentat cap defecte (cinta superior), i les que han sortit del tall de rebaves (inferior). El fet d'afegir dos operaris per inspeccionar esquerdes duplicarà la producció, i reduirà les cues de material acumulades a l'entrada de l'estació. Per tant, **és la opció a escollir. Als annexos s'inclou el diagrama de flux d'aquest layout per a que es vegi en gran.**

8.3. Modelització en Solidworks del layout millorat

En aquest *layout*, s'ha optat per instal·lar la càmera en un suport dedicat, separat del braç robòtic, per a que els dos puguin treballar sempre a ple rendiment. Cal tenir en compte dos components: el suport i l'adaptador a la càmera. La càmera Datalogic utilitzada en la memòria d'electrònica es pot instal·lar en suports com els que es mostren a continuació:

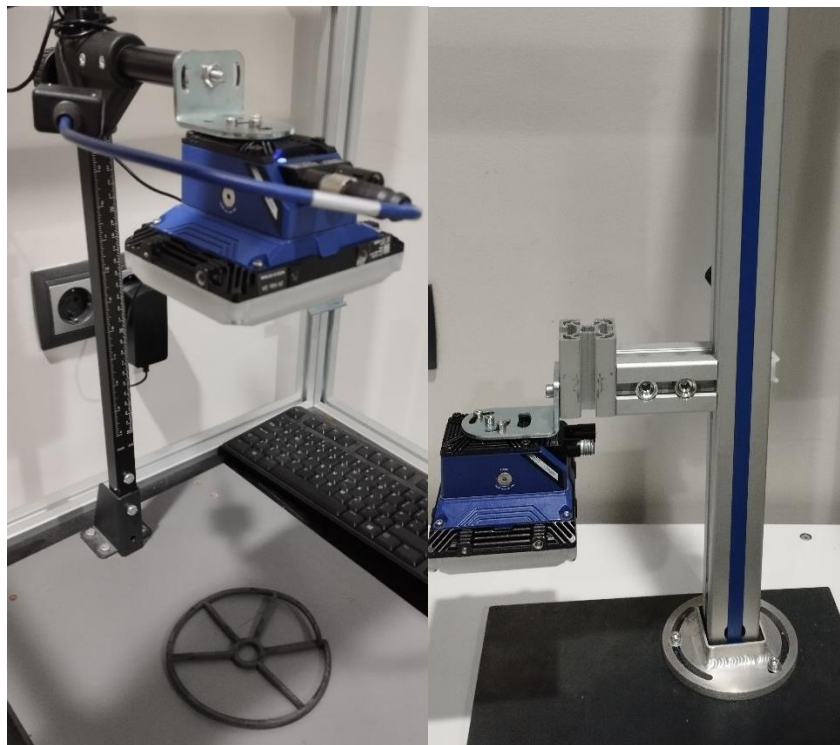


Figura 8.3.1. Càmera Datalogic instal·lada en suports de sobre taula. Font pròpia

Aquests suports serveixen per a ser instal·lats en taules d'inspecció, però per tal de situar la càmera al centre de la cinta sense problemes d'abast, es pot optar per un marc metàl·lic.

Modelitzat a Solidworks, es veuria així, però només serveix per a instal·lacions sense dom d'il·luminació:

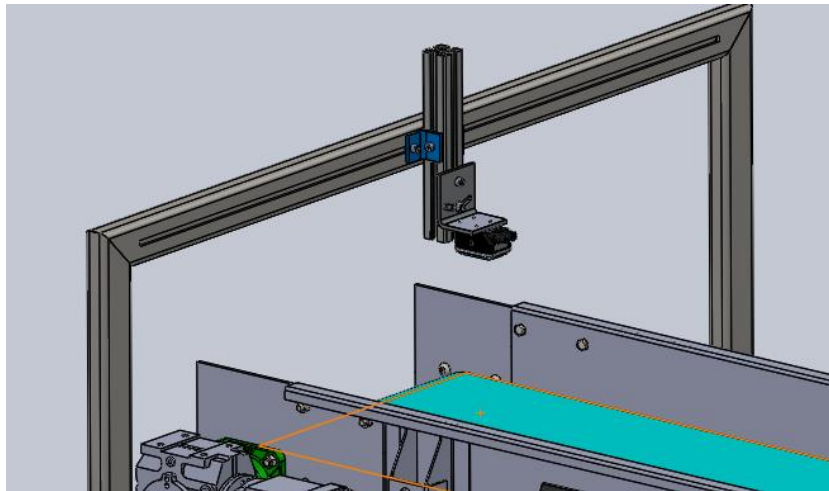


Figura 8.3.2. Marc metàl·lic per a regular l'altura d'instal·lació de la càmera. Font pròpia

Per a aquesta aplicació i per a l'estructura del robot SCARA, els perfils d'alumini són una solució lleugera i resistent. La mida estàndard en la indústria és el perfil 40x40 o perfil 8, amb una ranura de 10 mm que permet interconnectar les barres. Aquesta ranura fa que també s'anomeni perfil VSslot [26].



Perfiles 8 - dimensión modular de 40 mm

El estándar para ingenieros

- La serie más versátil, universal y robusta
- Tres variantes para construcciones de carga optimizada
- Disponibles con ranuras abiertas y cerradas
- También están disponibles los productos de la Serie X

Serie 8



Perfil 8 40x40 H 8						
A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	I _t [cm ⁴]	W _x [cm ³]	W _y [cm ³]
9,16	2,47	13,96	13,96	1,88	6,98	6,98

Figura 8.3.3. Dades del perfil d'alumini 40x40 mm

S'utilitzaran dos tecnologies d'unions per a les estructures de perfils 40x40:

- Automatic-Fastening Set 8, per a unir les barres que formen els marcs en els seus extrems. Es poden tapar els extrems sobresortints amb tapes negres (Cap 8). La forma de martell de la punta s'adapta a la ranura del perfil, i evita que les barres es separin quan es gira el mecanisme amb una clau hexagonal (Allen).

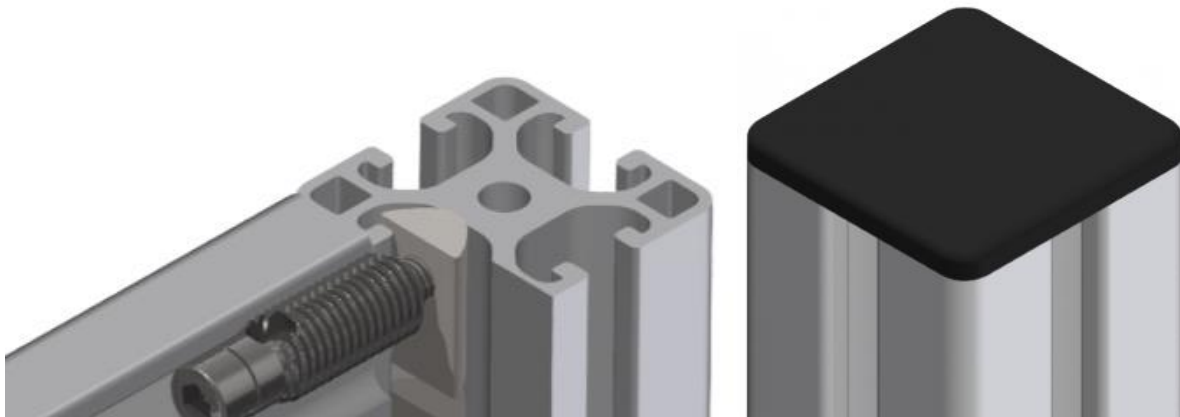


Figura 8.3.4. Sistema d'unio entre perfils d'alumini [27]

- Angle Bracket Set V 8, en cas de voler unir el perfil de la càmera al marc d'alumini. També s'apreten amb claus de perfil hexagonal, i sempre que es vulgui reajustar la seva posició en l'eix horitzontal, es poden tornar a afluixar. Per a modificar la posició en l'eix vertical, l'adaptador de la càmera es fixa al perfil vertical amb cargols de ranura hexagonal (Allen).

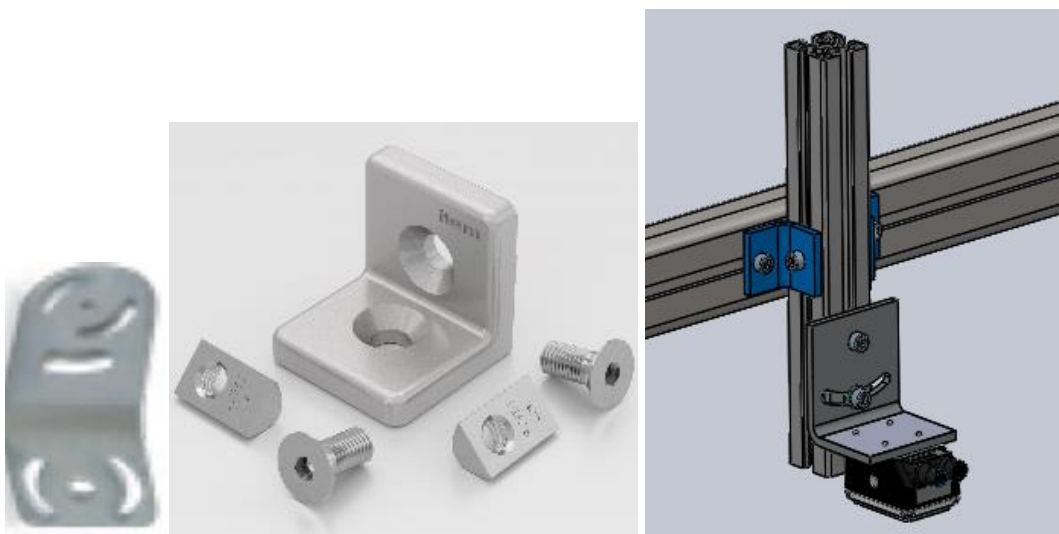


Figura 8.3.5. Sistema d'unio de la càmera Datalogic a un marc de perfils d'alumini [27]

A qualsevol cargol de perfil Allen que es vulgui fixar en les ranures de les barres d'alumini, caldrà rosar a l'altre extrem una rosca (tuerca) de cap de martell. Després d'introduir la rosca en la ranura, es gira 90 graus per a que no pugui sortir. La longitud del cap de la rosca ha de ser lleugerament superior, no massa perquè si no, no podria girar. Per a ranures de 10 mm, l'estàndard EU20 és l'adequat.

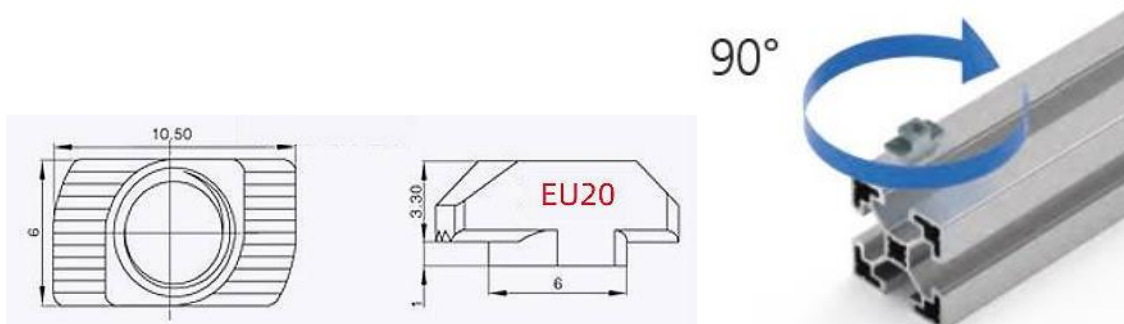


Figura 8.3.6. Rosques de cap de martell per a les ranures dels perfils d'alumini

Abans només calia posar un portàtil de treball a les taules dels operaris, de manera que l'estació de tall de rebaves i la d'inspecció d'esquerdes en tenien, però la defectes greus no, ja que el robot retira les juntes automàtica i autònomament. Sabent que la càmera es programa i executa des d'un portàtil o un controlador dedicat, es pot aprofitar la taula de defectes greus, que fins ara estava en desús, per posar el portàtil connectat a la càmera via Ethernet. **Un programador de visió artificial estarà a càrrec d'aquest ordinador.**

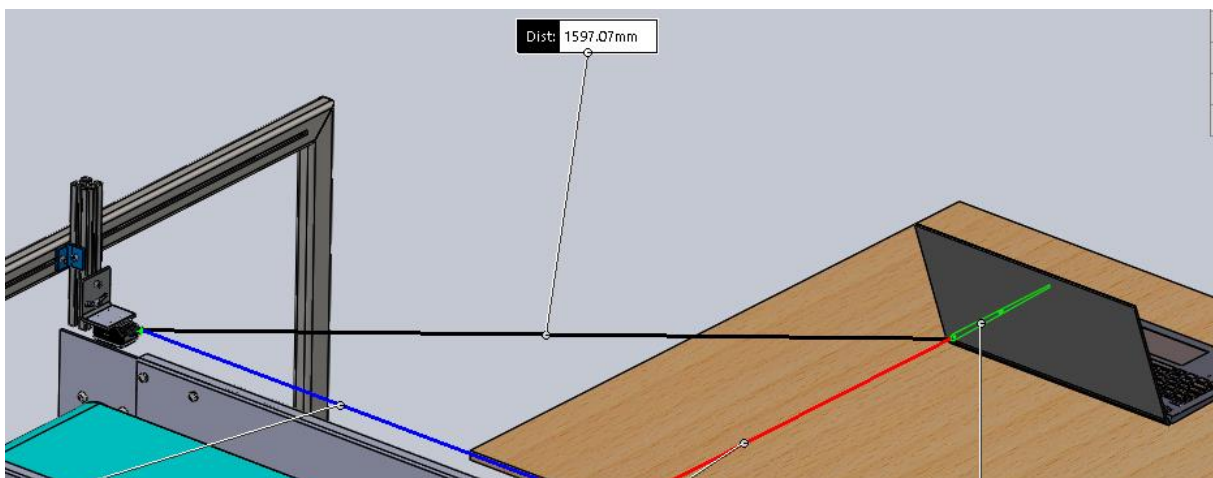


Figura 8.3.7. Distància curta entre la càmera i el PC de programació. Font pròpia

Si la càmera encarregada de la detecció de defectes (Datalogic) està separada del robot, aquest haurà de calcular de nou on es troba la junta i com alinear els dits per posar-los entre els radis. Per tant, cal que el robot tingui una altra càmera més senzilla que es dediqui exclusivament a ubicar la junta i traduir-ho a coordenades pel robot (la càmera mesura les distàncies en píxels, de manera que cal fer ús del FOV i l'altura de la càmera per traduir-ho a mm).

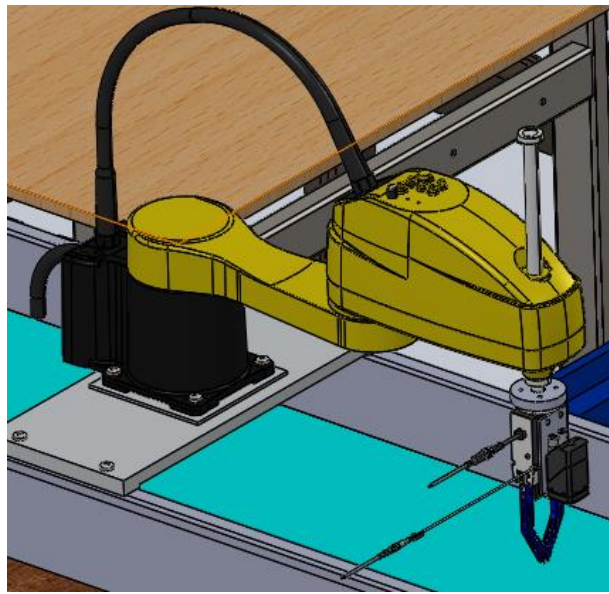


Figura 8.3.8. Robot amb càmera Omron CMOS Sony IMX430. Font pròpia

Caldrà un **operari amb coneixement de robòtica** per programar i fer el *setup* del robot, així com realitzar tasques de control i manteniment predictiu. L'accessori Pendant del controlador del robot li permetrà una àgil interacció amb el robot en la planta.

Com a mesura de seguretat de planta, és convenient instal·lar un panell de control industrial per fer aturades d'emergència de la línia transportadora, parades temporals de manteniment, iniciar i finalitzar-la manualment, etc. Per reduir al màxim el nombre de juntes avaluades erròniament, convé instal·lar-lo al principi de la línia per tenir temps de reacció. Una manera de digitalitzar aquest component i fer-lo intel·ligent és integrar una HMI tàctil amb connexió Wifi que monitoritzi les etapes de la línia de producció i mostri gràficament dades productives i l'estat dels robots i càmeres.



Figura 8.3.9. Panell de control industrial amb pantalla HMI integrada

En principi només caldrien quatre botons apart de l'aturada d'emergència: Marxa, Stop, Rearme (per reanudar l'activitat després de fer una parada de manteniment) i el regulador de la velocitat de la cinta. La disposició dels botons seria similar a aquesta:



Figura 8.3.10. Distribució dels botons per al panell elèctric de control industrial. Font pròpia

Un operari de manteniment s'ha d'encarregar del manteniment preventiu i correctiu de la línia de producció, de manera que serà qui utilitzi el panell de control i el HMI. Si l'armari del panell és prou compacte, es pot instal·lar al mateix marc metàl·lic on es troba la càmera, o en una estructura dedicada ben accessible:

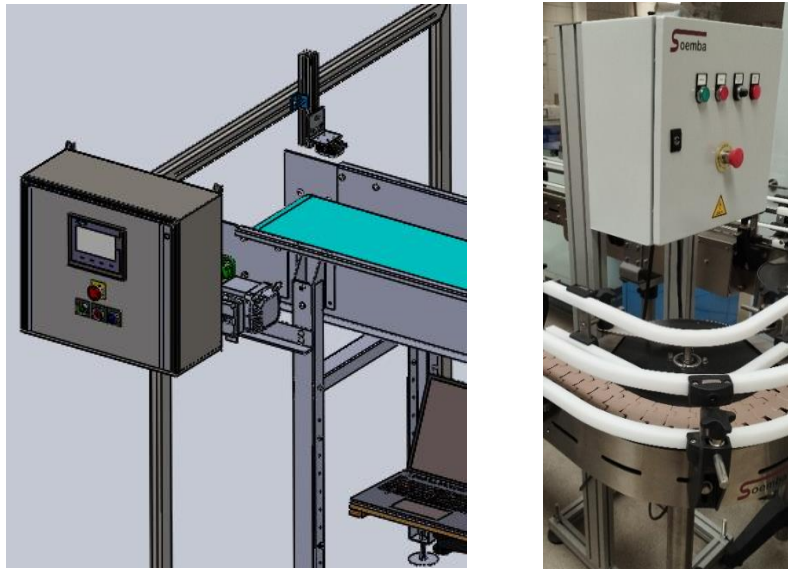


Figura 8.3.11. Suport per al panell de control industrial. Font pròpia

El xassís de la cinta transportadora permet instal·lar el controlador del robot/ PLC a la part inferior:

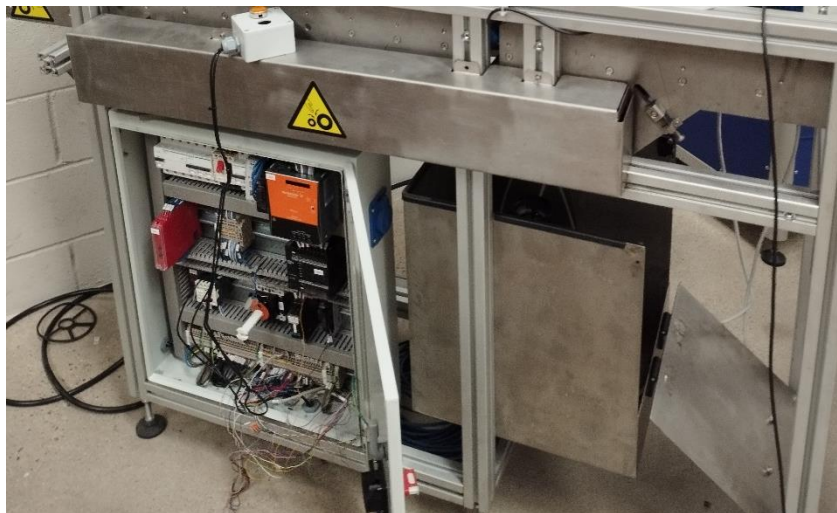


Figura 8.3.12. Instal·lació del controlador al xassís de la cinta transportadora. Font pròpia

Els Terminal Blocks que gestionen totes les entrades i sortides del PLC se solen instal·lar a l'interior de l'armari del panell de control, però si no quedés més espais, es podrien instal·lar Rail Terminals en estructures metàl·liques externes: [28]

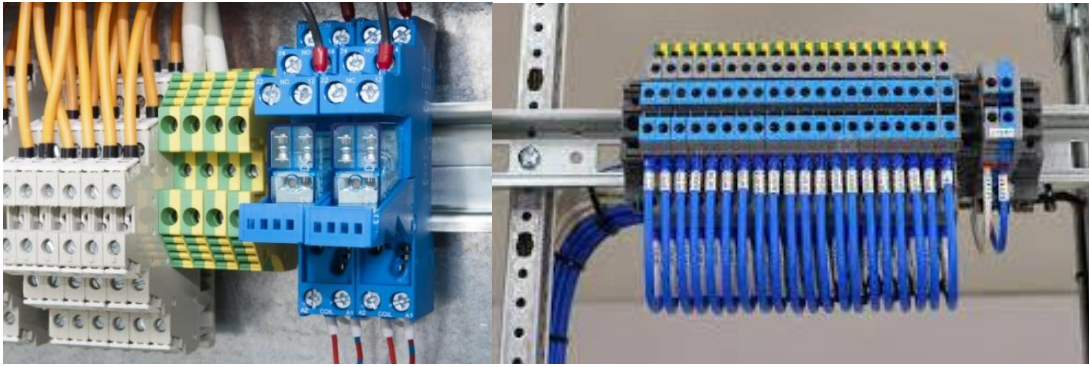


Figura 8.3.13. Terminal Blocks de E/S instal·lats en estructures metàl·liques

Com es veurà en la part electrònica, les últimes proves s'han realitzat en un dom d'il·luminació. Els cables del dom d'il·luminació es poden recollir i guardar en xapes de metall connectades al xassís de la cinta:



Figura 8.3.14. Cables recollits del dom d'il·luminació. Font pròpia

Per últim, el switch Ethernet i Router Wifi per les comunicacions IT de la línia s'ubicaran en un rack de comunicacions per protegir-los.

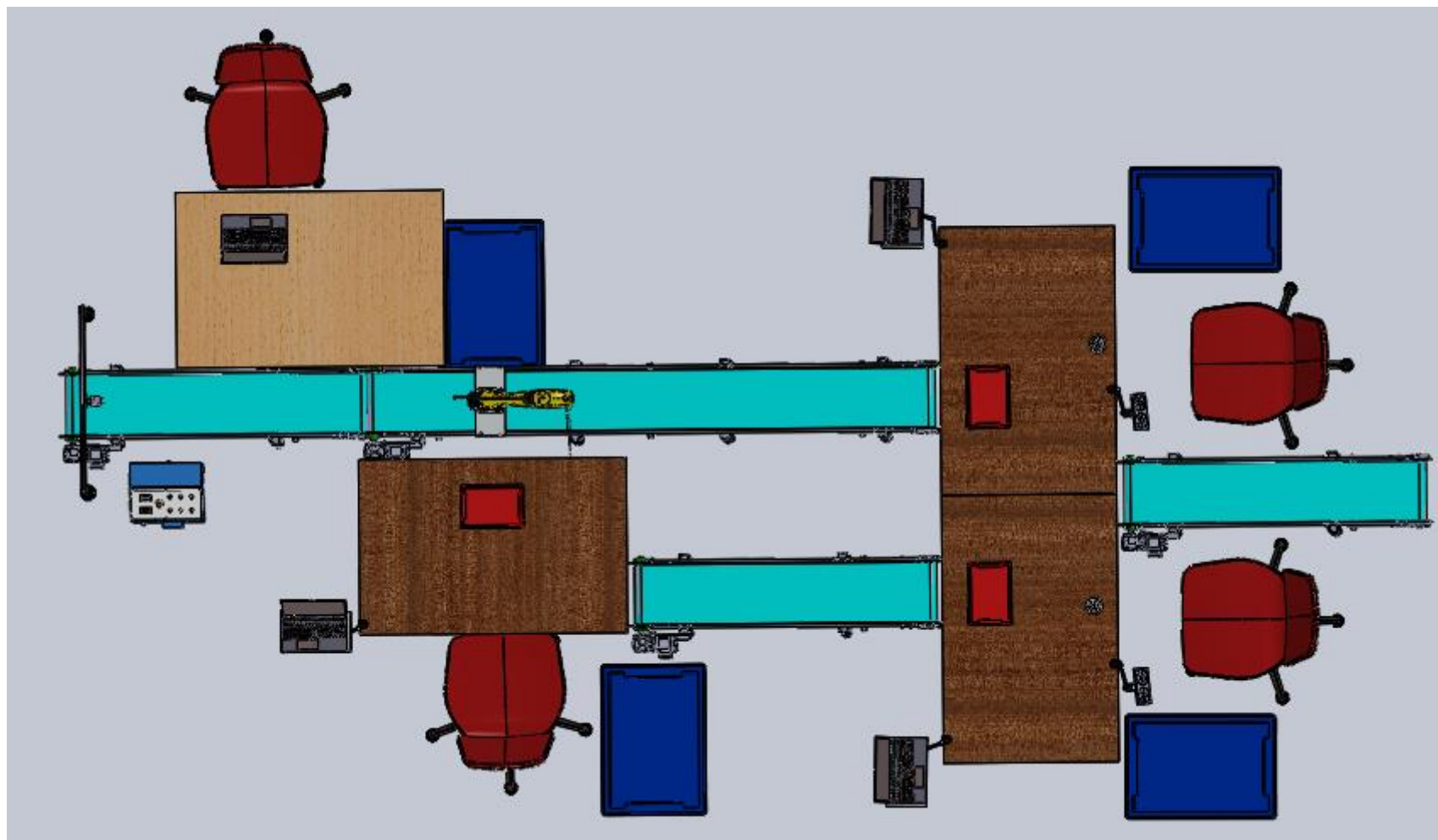


Figura 8.3.15. Vista superior del layout millorat de la línia completa. Font pròpia

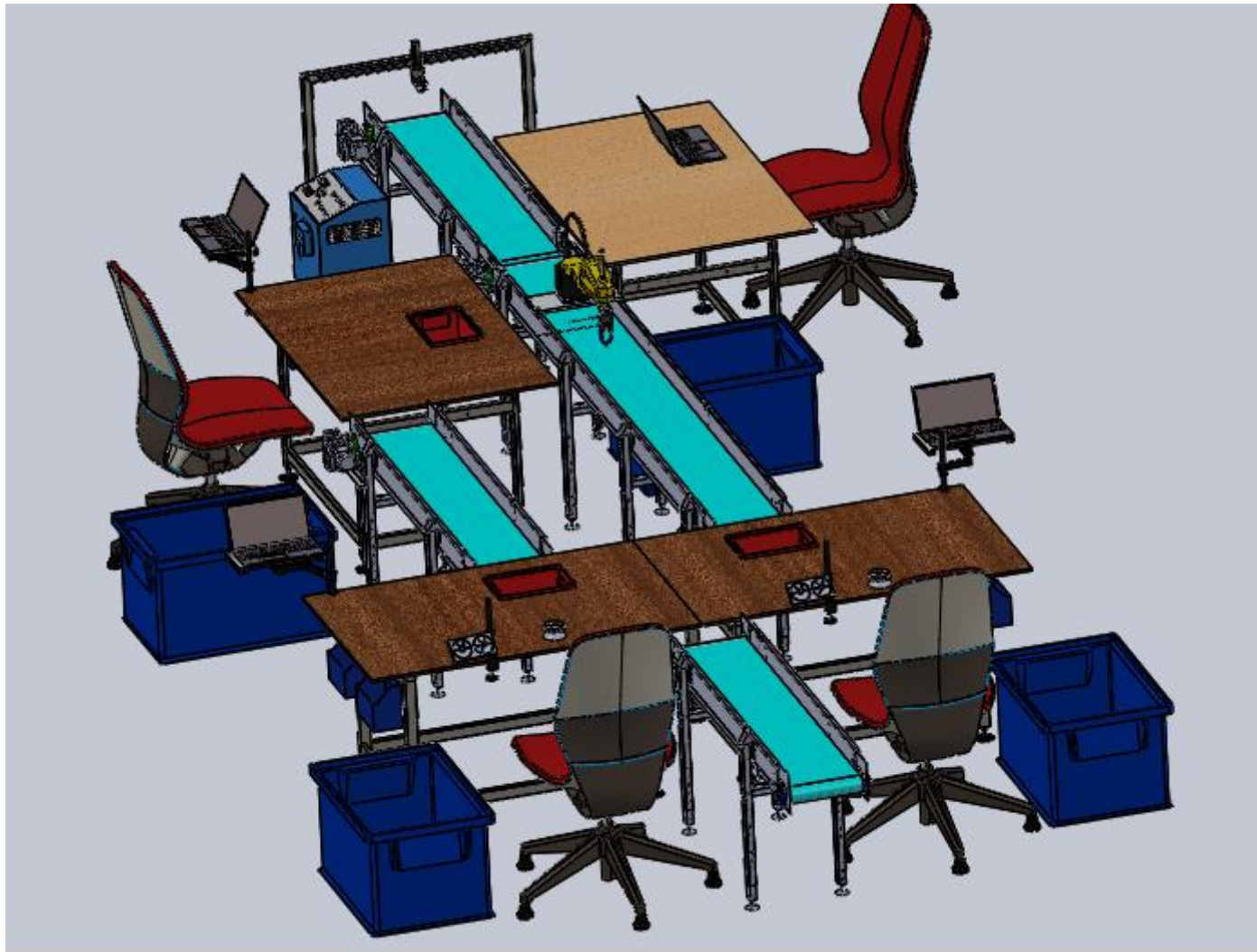


Figura 8.3.16. Vista des del final del layout millorat de la línia completa. Font pròpia

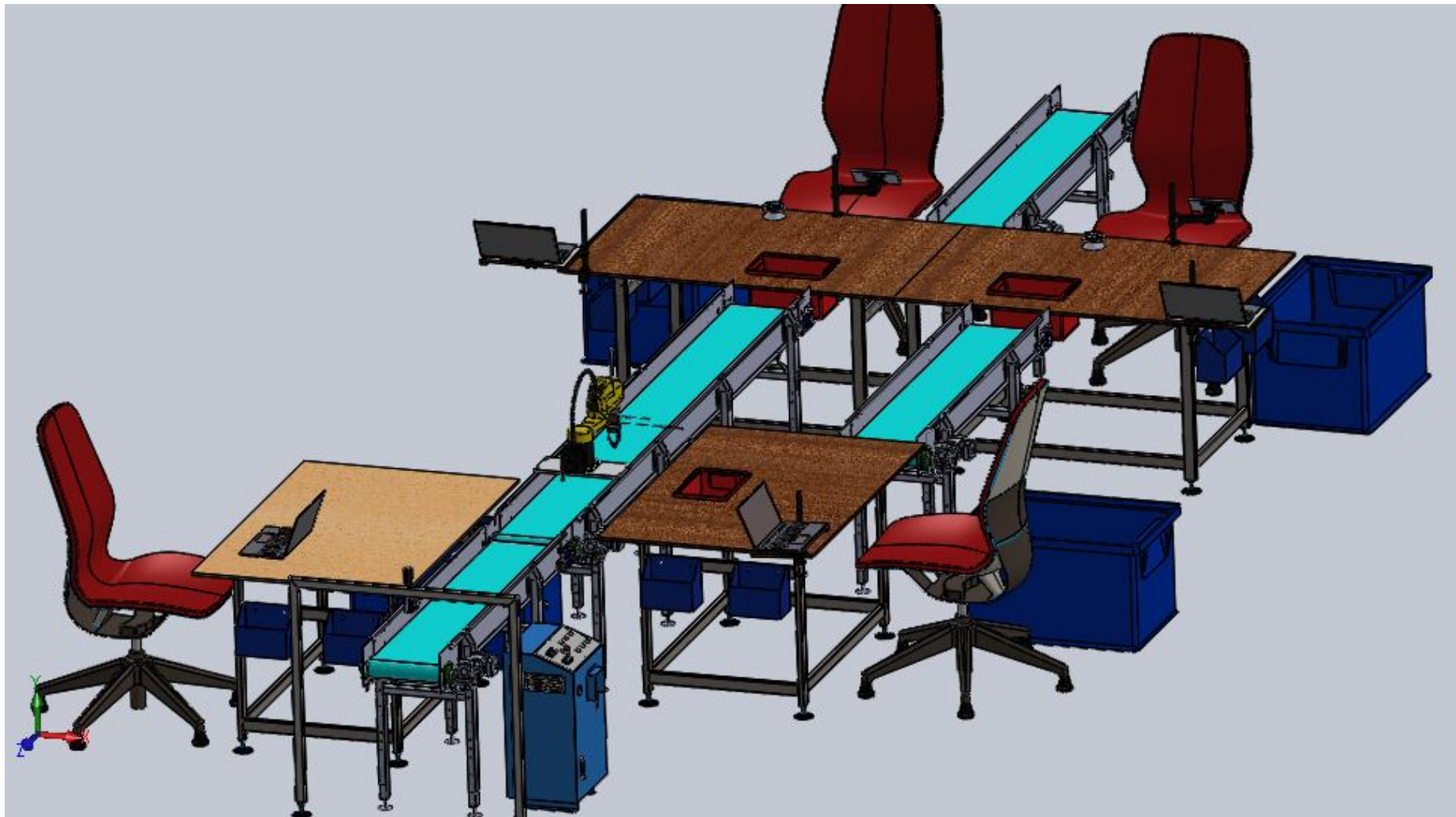


Figura 8.3.17. Vista des de l'inici del layout millorat de la línia completa. Font pròpia

8.3.1. Redisseny de la línia de defectes greus en base a la part electrònica

La implementació del dom d'il·luminació, així com la possibilitat que les cintes transportadores no disposin de parets elevades, ha fet replantejar com es disposen els components en la línia:

- Enlloc d'instal·lar un marc metàl·lic on instal·lar la càmera, s'ha de crear una base a partir de perfils d'alumini que suportin el dom i la càmera alhora, ja que la càmera ha d'estar a tocar de la part superior del dom.
- Cal implementar les estructures de suport per al robot i les barreres de llum en cintes sense parets, com s'ha mencionat anteriorment.
- El panell de control industrial ja no es pot instal·lar en el marc anterior, ha de tenir una estructura dedicada.
- El controlador R-30iB s'ha d'instal·lar sota les potes de la cinta transportadora, a prop del robot SCARA.

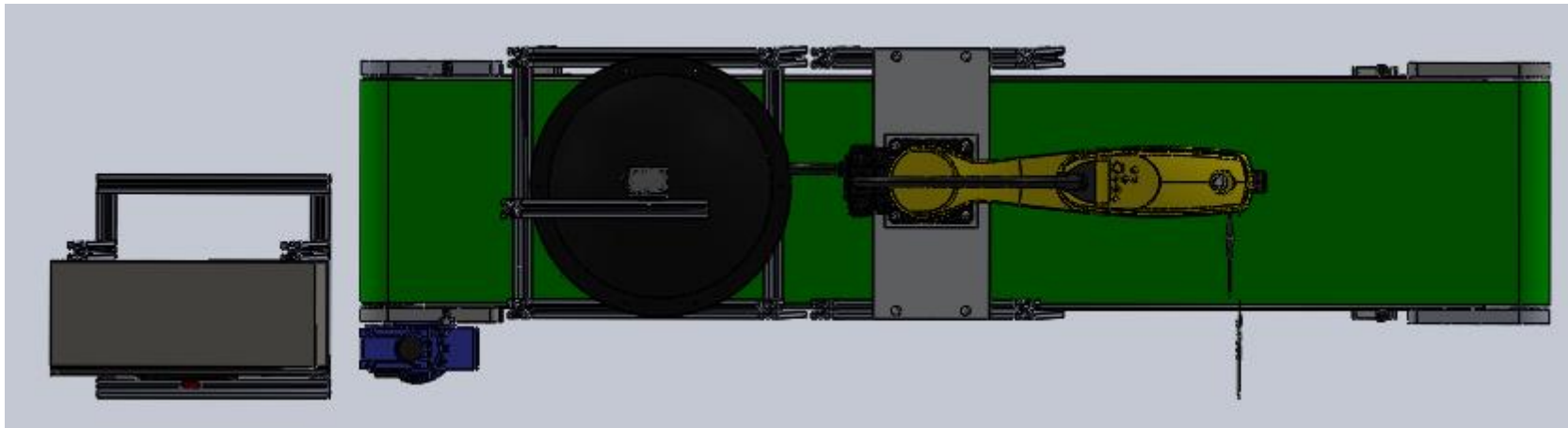


Figura 8.3.18. Vista superior de l'estació de defectes greus redissenyada. Font pròpia

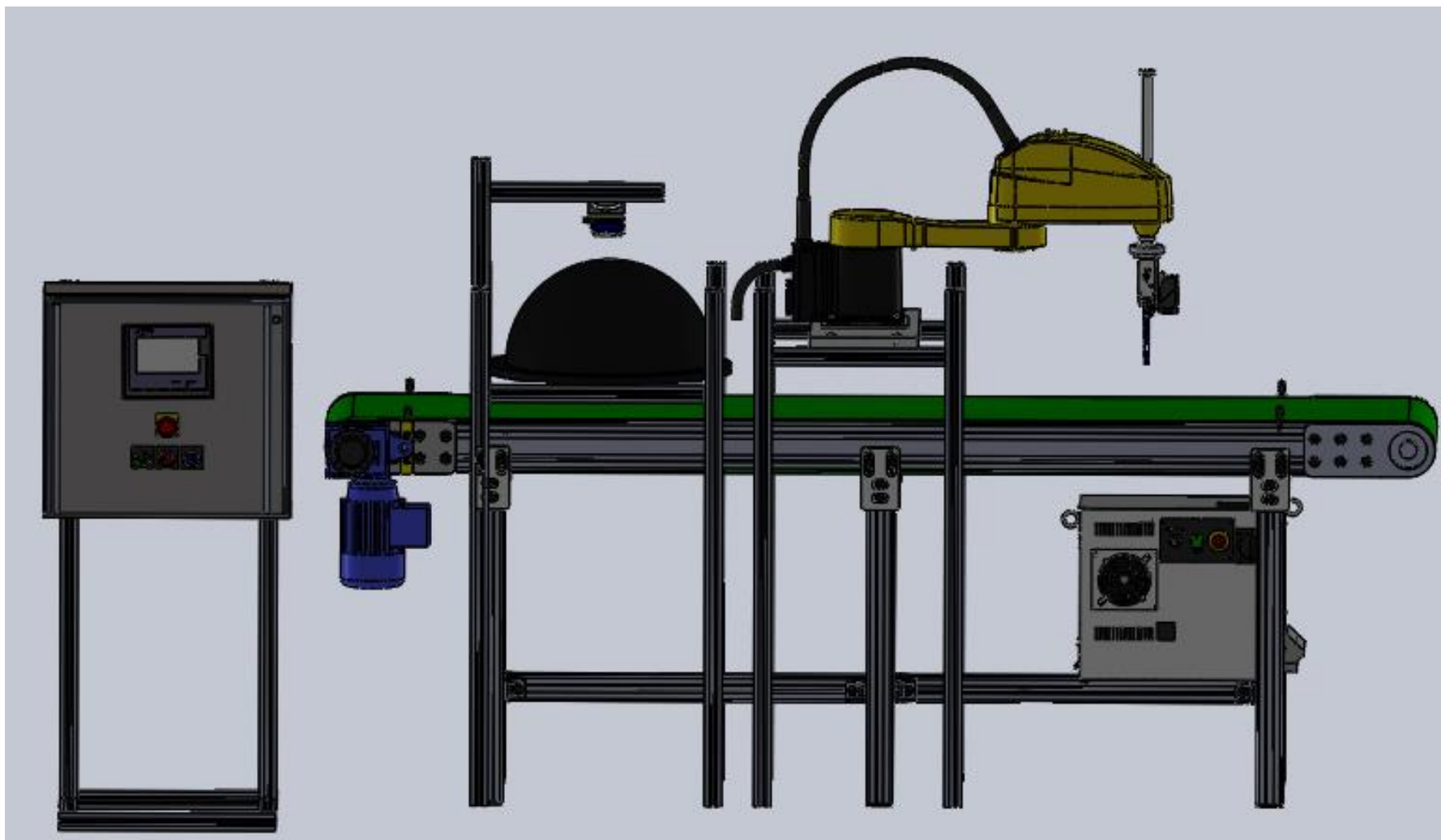


Figura 8.3.19. Vista lateral de l'estació de defectes greus redissenyada. Font pròpia

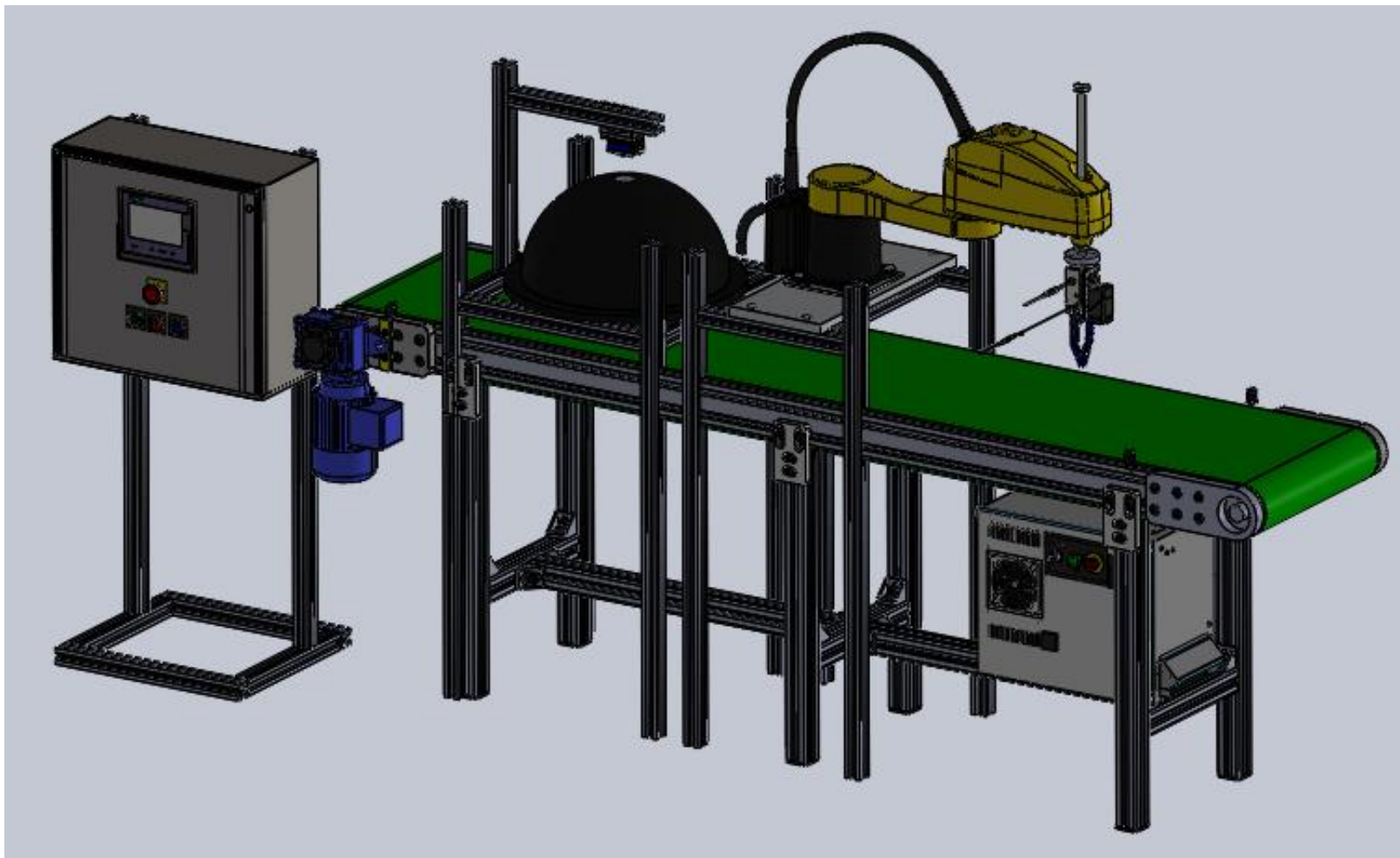


Figura 8.3.20. Vista isomètrica de l'estació de defectes greus redissenjada. Font pròpia

9. Planificació

9.1. Tasques del projecte

El format de la memòria d'un Treball Final de Grau té un seguit d'apartats que cal completar, llistats a l'índex, però no es pot fer en qualsevol ordre. Per tant, cal dividir la feina total del projecte en tasques senzilles, i tenir sempre presents els terminis d'entrega:

Descripció	Data límit
Presentació de la sol·licitud d'adjudicació de TFG, per part de l'estudiant	21 d'octubre (data límit)
Lliurament Memòria 1: avantprojecte	10 de febrer (data límit)
Lliurament Memòria 2: memòria intermèdia	21 d'abril (data límit)
Lliurament Memòria Final	Del 15 al 16 de juny

Taula 9.1.1. Terminis d'entrega a tenir en compte. Font pròpia

També cal procurar que les tasques quedin agrupades dins les categories en el capítol d'elaboració del projecte presentat en el Estudi Econòmic.

Capítol I: Elaboració del projecte		
Codi	Descripció ¹	Hores
1.1	Hores de projectista destinades a la cerca d'antecedents i informació prèvia diversa	90
1.2	Hores de projectista destinades a la definició i plantejament de la solució	85
1.3	Hores de projectista destinades al desenvolupament i disseny de la solució (mecànica i electrònica)	215
1.4	Hores de projectista destinades a la realització i posada en marxa del prototip (visió artificial)	60
1.5	Hores de projectista destinades a l'elaboració escrita i edició dels documents del projecte	150
TOTAL		600

Taula 9.1.2. Capítols del projecte de l'Estudi Econòmic

Tenint en compte tot això, s'han definit les activitats següents, amb la durada en hores i les prelacions entre activitats:

Avantprojecte 01/10/2022 - 10/02/2023

Codi	Activitat/ Tasca	Durada (HN)	Corresp. Pressupost	Prelacions
A	Antecedents i cerca de la informació	80	1.1	-
B	Objectius i Abast	10	1.1	-
C	Especificacions tècniques	20	1.2	B
D	Plantejament de la solució més adequada	45	1.2	C
E	Estudis de viabilitat	20	1.2	D
F	Planificació i pressupost inicial	10	1.5	E

Projecte 11/02/2023 - 16/06/2023

Codi	Activitat/ Tasca	Durada (HN)	Corresp. Pressupost	Prelacions
Desenvolupament de la solució: Part Mecànica				
G	Disseny i simulació del gripper	60	1.3	E
H	Disseny i modelització del layout	80	1.3	E
Desenvolupament de la solució: Part Electrònica				
I	Simulació del layout amb Arena	40	1.3	H
J	Disseny del programa d'automatització	20	1.3	H
K	Disseny del programa de visió artificial amb Datalogic	55	1.4	J, I
Posada en comú de les dues parts				
L	Millora del layout de la Part Mecànica en base a l'Electrònica	10	1.5	K
M	Planificació i pressupost de detall	30	1.5	L
N	Redacció de la documentació	120	1.5	M

TOTAL

600

Taula 9.1.3. Llistat de tasques per al Diagrama de Gantt. Font pròpia

Cadascuna d'aquestes activitats té sub-tasques associades:

Codi	Activitat/ Tasca	Durada (HN)
A	Antecedents i cerca de la informació	80
0	Reunió amb el Tutor 1: Plantejament del projecte	1
1	Estat de l'art dels filtres de piscina i les juntes estrellades/ selectores	14
2	Propietats mecàniques de les juntes	25
3	Tecnologies d'impressió 3D	20
4	Tecnologies de visió artificial	20
B	Objectius i Abast	10
5	Reunió amb el Tutor 2: Contacte Jose Racionero, Managing Director de AIS Vision Systems	1
6	Definició dels objectius i l'abast	9
C	Especificacions tècniques	20
7	Especificacions de la línia	5
8	Defectes a analitzar	15
D	Plantejament de la solució més adequada	45
9	Sistemes de manipulació de les juntes per a la detecció d'esquerdes	20
10	Transport de juntes	5
11	Sistemes de separació de peces defectuoses	20
E	Estudis de viabilitat	20
12	Viabilitat tècnica	8
13	Viabilitat econòmica	4
14	Viabilitat mediambiental	8
F	Planificació i pressupost inicial	10
15	Revisió de l'abast i les tasques a complir	8
16	Petició a AIS Vision Systems d'un pressupost aproximat per als sistemes de visió	2
G	Disseny i simulació del gripper	55
17	Reunió amb el Tutor 3: Revisió i millores de l'avantprojecte	10
18	Disseny formal dels dits del gripper	15
19	Modelització i simulació dels dits	15
20	Optimització topològica del disseny	10
21	Impressió 3D del gripper	5

H	Disseny i modelització del layout	80
22	Elements de l'estació de defectes greus	20
23	Elements de l'estació de rebaves	10
24	Elements de l'estació d'esquerdes	20
25	Disseny dels utilitatges	20
26	Elaboració de plànols	10
J	Simulació del layout amb Arena	40
27	Simulació de la línia en forma de I	20
28	Simulació de la línia amb el layout millorat	20
K	Disseny del programa d'automatització	20
29	Definició dels senyals d'entrada i sortida	10
30	Disseny del Grafcet	8
31	Reunió amb el Tutor 4: Revisió de la memòria intermèdia i preparació de la proposta a AIS Vision Systems	2
L	Disseny del programa de visió artificial amb Datalogic	55
32	Reunió amb Jose Racionero per definir l'abast del que es vol aconseguir a l'empresa	1
33	Preparació de les estacions de treball	3
34	Disseny del programa d'inspecció de defectes	20
35	Disseny del programa de resultats	10
36	Proves al dom d'il·luminació	20
37	Reunió amb Jose Racionero per mostrar tot el que s'ha realitzat a l'empresa i comentar millores	1
M	Millora del layout de la Part Mecànica en base a l'Electrònica	10
38	Redisseny dels sistemes de fixació de la càmera i el robot SCARA	10
N	Planificació i pressupost de detall	30
39	BOM (Build of Materials)	20
40	Rendibilitat econòmica	5
41	Planificació de detall	5
O	Redacció de la documentació	120

Taula 9.1.4. Llistat de sub-tasques pel Diagrama de Gantt. Font pròpia

9.2. Diagrama de Gantt

Cal tenir en compte que, tot i que aquest projecte ha estat realitzat per un projectista, les HN (Hores Normals) es cobren diferent en diferents tasques del projecte:

Capítol I: Elaboració del projecte				
COST D'ENGINYERIA ²				
Codi	Descripció	Hores totals	Preu unitari (€)	Import (€)
1.1	Hores de projectista destinades a la cerca d'antecedents i informació prèvia diversa	90	20	1.800
1.2	Hores de projectista destinades a la definició i plantejament de la solució	85	40	3.400
1.3	Hores de projectista destinades al desenvolupament i disseny de la solució (H/S)	215	50	10.750
1.4	Hores de projectista destinades a la realització i posada en marxa del prototip (visió artificial)	60	30	1.800
1.5	Hores de projectista destinades a l'elaboració escrita i edició dels documents del projecte	150	20	3000

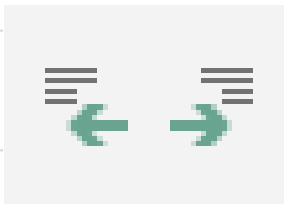
Taula 9.2.1. Preu en HN dels apartats del capítol I de l'Estudi Econòmic

Per tant, a la pestanya "Hoja de recursos", cal tractar-ho com a recursos separats:

Nombre del recurso	Tipo	Iniciales	Capacidad máxima	Tasa estándar
Cerca d'informació	Trabajo	INF	100%	20,00 €/hora
Plantejament solució	Trabajo	DEF	100%	40,00 €/hora
Disseny i desenvolupament	Trabajo	DISS	100%	50,00 €/hora
Posada en marxa del prototip	Trabajo	PROT	100%	30,00 €/hora
Documentació	Trabajo	DOC	100%	20,00 €/hora

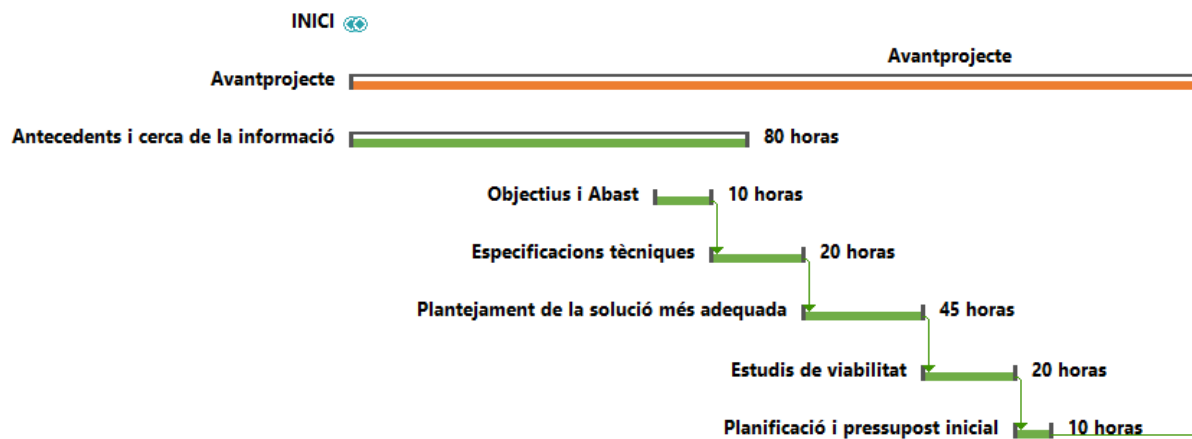
Taula 9.2.2. Definició de les HN a Microsoft Project. Font pròpia

Les subtasques es poden definir amb la eina “Sangrria”

▸ Objectius i Abast	6 dies	
Reunió amb el Tutor 2: Contacte Jose Racionero, Managing Director de AIS Vision Systems	1 dia	
Definició dels objectius i l'abast	5 dies	

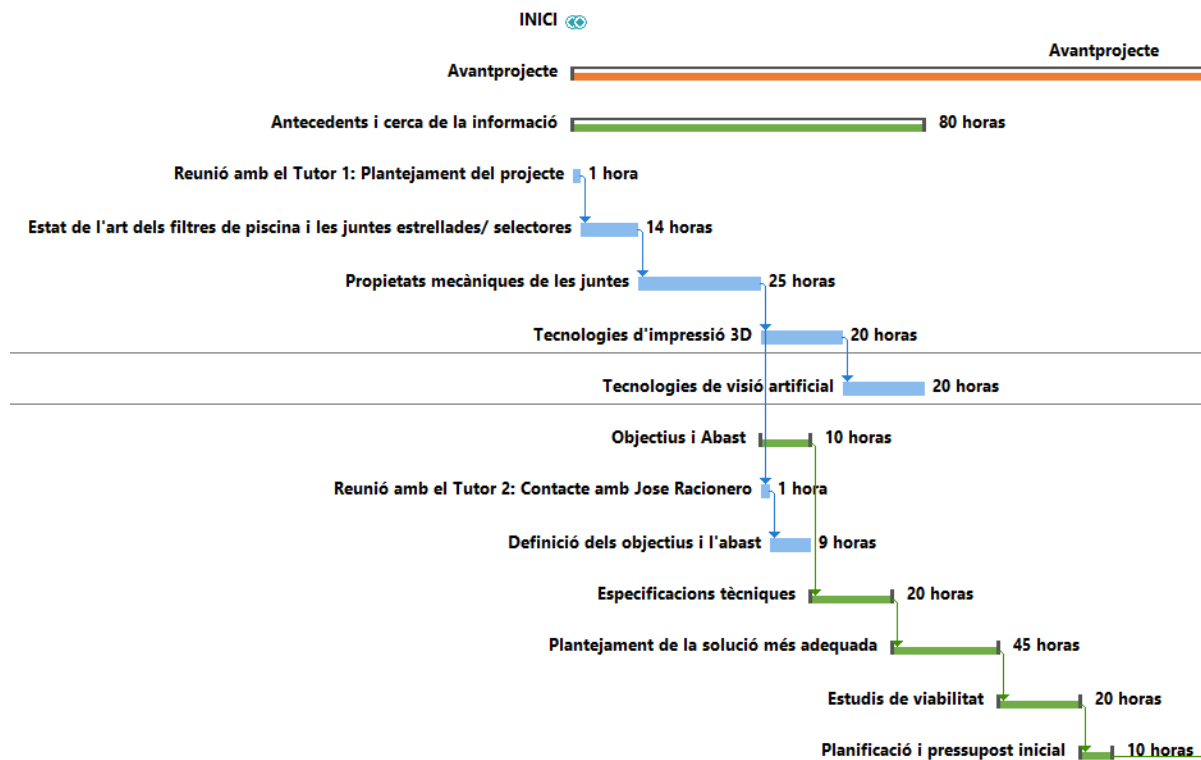
Taula 9.2.3. Creació de sub-tasques a Microsoft Project. Font pròpia

Com es pot observar a les tasques comprimides de l'Avantprojecte, “Objectius i Abast” no comença a l'inici del projecte ni després de Antecedents.



Taula 9.2.4. Tasques de l'avantprojecte en el Diagrama de Gantt. Font pròpia

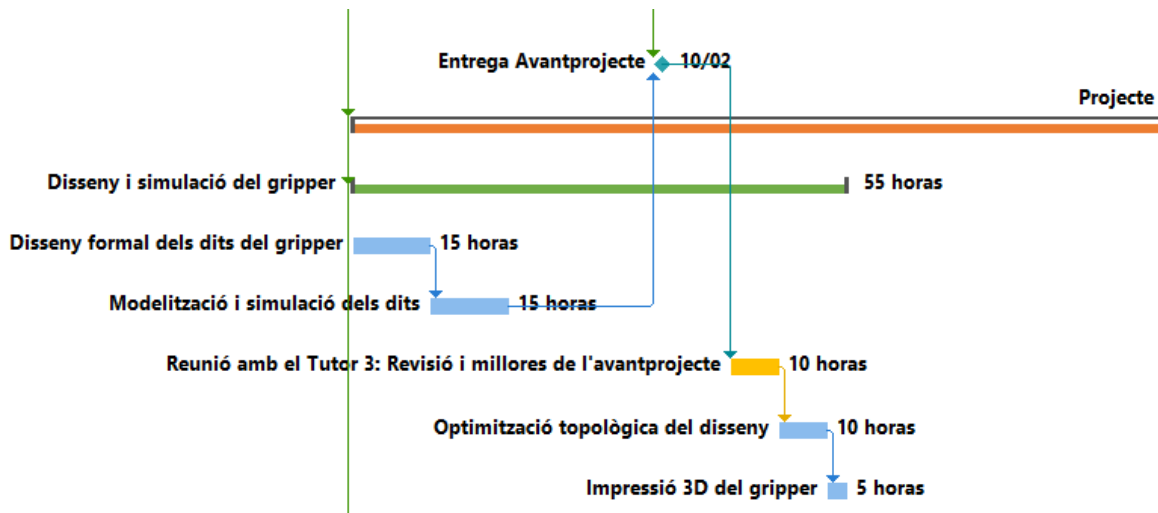
Desplegant les tasques, es pot observar que inicia quan s'acaba la subtasca “Propietats Mecàniques” :



Taula 9.2.5. Detall de l'inici de l'activitat "Objectius i Abast". Font pròpia

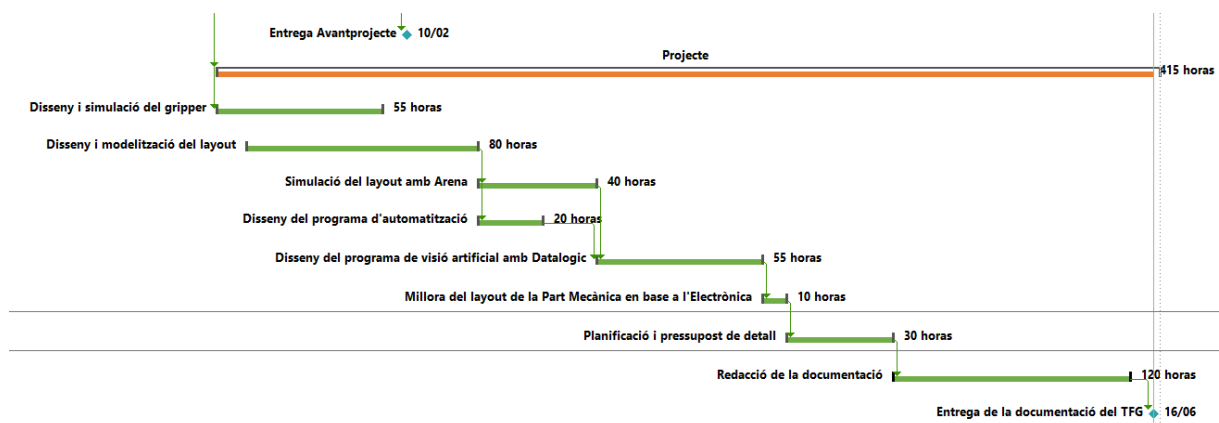
En la primera reunió amb el tutor, s'havia comentat fins on calia arribar en el Avantprojecte. Un dels objectius és presentar un primer disseny del gripper per retirar les juntes i una primera definició de les estacions que formaran el control de qualitat. Per aquest motiu, aquestes dues etapes de disseny comencen ABANS de l'entrega de l'Avantprojecte, tot i pertànyer al Projecte de Detall.

Després d'aquesta entrega, s'ha realitzat una reunió amb el tutor per comentar les millores respecte l'avantprojecte, i una d'elles era optimitzar el disseny del gripper. Per tant, la Optimització Topològica es realitza just després d'aquesta reunió:



Taula 9.2.6. Activitats abans i després de l'entrega de l'Avantprojecte. Font pròpia

També cal assegurar deixar un marge de temps al final del projecte per a la redacció i documentació de la memòria:



Taula 9.2.7. Tasques del Projecte de Detall en el Diagrama de Gantt. Font pròpia

Tot i que el Diagrama de Gantt complet s'adjunti als annexos per qüestions de mida de fulla, sí es pot incloure el calendari complet d'activitats:

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Trabajo previsto
INICI	0 días	lun 03/10/22	lun 03/10/22		0 horas
Avantprojecte	131 días	lun 03/10/22	vie 10/02/23		185 horas
Antecedents i cerca de la informació	43 días	lun 03/10/22	lun 14/11/22		80 horas
Reunió amb el Tutor 1: Plantejament del projecte	1 día	lun 03/10/22	lun 03/10/22		1 hora
Estat de l'art dels filtres de piscina i les juntes estrellades/ selectores	7 días	mar 04/10/22	lun 10/10/22	4	14 horas
Propietats mecàniques de les juntes	15 días	mar 11/10/22	mar 25/10/22	5	25 horas
Tecnologies d'impressió 3D	10 días	mié 26/10/22	vie 04/11/22	6	20 horas
Tecnologies de visió artificial	10 días	sáb 05/11/22	lun 14/11/22	7	20 horas
Objectius i Abast	6 días	mié 26/10/22	lun 31/10/22		10 horas
Reunió amb el Tutor 2: Contacte amb Jose Racionero	1 día	mié 26/10/22	mié 26/10/22	6	1 hora
Definició dels objectius i l'abast	5 días	jue 27/10/22	lun 31/10/22	10	9 horas
Especificacions tècniques	10 días	mar 01/11/22	jue 10/11/22	9	20 horas
Especificacions de la línia	3 días	mar 01/11/22	jue 03/11/22		5 horas
Defectes a analitzar	10 días	mar 01/11/22	jue 10/11/22		15 horas
Plantejament de la solució més adequada	13 días	vie 11/11/22	mié 23/11/22	12	45 horas
Sistemes de manipulació de les juntes per a la detecció d'esquerdes	12 días	vie 11/11/22	mar 22/11/22		20 horas
Transport de juntes	3 días	vie 11/11/22	dom 13/11/22		5 horas
Sistemes de separació de peces defectuoses	10 días	lun 14/11/22	mié 23/11/22	17	20 horas
Estudis de viabilitat	10 días	jue 24/11/22	sáb 03/12/22	15	20 horas
Viabilitat tècnica	6 días	jue 24/11/22	mar 29/11/22		8 horas
Viabilitat econòmica	4 días	mié 30/11/22	sáb 03/12/22	20;22	4 horas

Viabilitat mediambiental	6 días	jue 24/11/22	mar 29/11/22		8 horas
Planificació i pressupost inicial	7 días	dom 04/12/22	sáb 10/12/22	19	10 horas
Revisió de l'abast i les tasques a acomplir	6 días	dom 04/12/22	vie 09/12/22		8 horas
Petició a AIS Vision Systems d'un pressupost aproximat per als sistemes de visió	1 día	sáb 10/12/22	sáb 10/12/22	24	2 horas
<u>Entrega Avantprojecte</u>	0 días	vie 10/02/23	vie 10/02/23	23;30	0 horas
Projecte	159 días?	lun 09/01/23	vie 16/06/23	23	415 horas
Disseny i simulació del gripper	51 días	lun 09/01/23	mar 28/02/23	19	55 horas
Disseny formal dels dits del gripper	8 días	lun 09/01/23	lun 16/01/23		15 horas
Modelització i simulació dels dits	8 días	mar 17/01/23	mar 24/01/23	29	15 horas
Reunió amb el Tutor 3: Revisió i millores de l'avantprojecte	5 días	vie 17/02/23	mar 21/02/23	26	10 horas
Optimització topològica del disseny	5 días	mié 22/02/23	dom 26/02/23	31	10 horas
Impressió 3D del gripper	2 días	lun 27/02/23	mar 28/02/23	32	5 horas
Disseny i modelització del layout	39 días	lun 09/01/23	jue 16/02/23	19	80 horas
Elements de l'estació de defectes greus	10 días	lun 09/01/23	mié 18/01/23		20 horas
Elements de l'estació de rebaves	6 días	jue 19/01/23	mar 24/01/23	35	10 horas
Elements de l'estació d'esquerdes	10 días	mié 25/01/23	vie 03/02/23	36	20 horas
Disseny dels utilitatges	10 días	sáb 04/02/23	lun 13/02/23	37	20 horas
Elaboració de plànols	3 días	mar 14/02/23	jue 16/02/23	38	10 horas
Simulació del layout amb Arena	18 días	vie 17/02/23	lun 06/03/23	34	40 horas
Simulació de la línia en forma de I	8 días	vie 17/02/23	vie 24/02/23		20 horas
Simulació de la línia amb el layout millorat	10 días	sáb 25/02/23	lun 06/03/23	41	20 horas
Disseny del programa d'automatització	10 días	mar 07/03/23	jue 16/03/23	40	20 horas

Definició dels senyals d'entrada i sortida	5 días	mar 07/03/23	sáb 11/03/23		10 horas
Disseny del Grafcet	3 días	dom 12/03/23	mar 14/03/23	44	8 horas
Reunió amb el Tutor 4: Revisió de la memòria intermèdia i preparació de la proposta a AIS Vision Systems	2 días	mié 15/03/23	jue 16/03/23	45	2 horas
Disseny del programa de visió artificial amb Datalogic	28 días	lun 03/04/23	dom 30/04/23	43	55 horas
Reunió amb Jose Racionero per definir l'abast del que es vol aconseguir a l'empresa	1 día	lun 03/04/23	lun 03/04/23		1 hora
Preparació de les estacions de treball	1 día	lun 03/04/23	lun 03/04/23		3 horas
Disseny del programa d'inspecció de defectes	10 días	mar 04/04/23	jue 13/04/23	49	20 horas
Disseny del programa de resultats	4 días	vie 14/04/23	lun 17/04/23	50	10 horas
Proves al dom d'il·luminació	10 días	mar 18/04/23	jue 27/04/23	51	20 horas
Reunió amb Jose Racionero per mostrar tot el que s'ha realitzat a l'empresa i comentar millores	1 día	vie 28/04/23	vie 28/04/23	52	1 hora
Millora del layout de la Part Mecànica en base a l'Electrònica	4 días	lun 01/05/23	jue 04/05/23	47	10 horas
Redisseny dels sistemes de fixació de la càmera i el robot SCARA	4 días	lun 01/05/23	jue 04/05/23		10 horas
Planificació i pressupost de detall	16 días	vie 05/05/23	sáb 20/05/23	54	30 horas
BOM (Build of Materials)	10 días	vie 05/05/23	dom 14/05/23		20 horas
Rendibilitat econòmica	3 días	lun 15/05/23	mié 17/05/23	57	5 horas
Planificació de detall	3 días	jue 18/05/23	sáb 20/05/23	58	5 horas
Redacció de la documentació	25 días	dom 21/05/23	mié 14/06/23	56	120 horas
<u>Entrega de la documentació del TFG</u>	0 días	vie 16/06/23	vie 16/06/23	60	0 horas

Taula 9.2.8. Llista completa de tasques, subtasques i períodes

9.3. Reunions programades per al compliment del TFG

Per tal de comunicar al tutor del projecte propostes d'idees, els avenços realitzats, consultar dubtes i rebre feedback, s'han programat una sèrie de reunions per Google Meets. Tot i que algun dubte puntual s'ha consultat per missatgeria directe, els canvis importants s'han discutit en aquestes reunions.

Reunió 03/10/2022

Tot i que ja s'havia contactat anteriorment amb el professor Sergio Morales sobre possibles temes per un projecte conjunt d'Enginyeria Mecànica i Electrònica, aquesta és la primera reunió en la que es comenta amb detall el tema escollit i es defineix el problema: automatitzar la detecció de defectes de juntes estrellades. Dintre de les coses comentades, s'ha parlat que per l'abast de l'Avantprojecte fora bo assolir els punts següents:

- Definir els defectes que es volen observar i les estacions que tindrà el control de qualitat.
- Elaborar un AMFE de la línia mostrant la puntuació abans i després d'implementar les millores del projecte.
- Consultar maneres de manipular les juntes per obrir les esquerdes.
- Consultar maneres de retirar les juntes de la línia de producció i dissenyar un prototip inicial del *gripper*.

Reunió 26/10/2022

Des d'un principi s'ha vist clar que la millor eina per a automatitzar la detecció de defectes és la visió artificial. En aquesta reunió s'ha visitat l'empresa AIS Vision Systems gràcies al tutor Sergio Morales, per posar-nos en contacte amb el Managing Director, Jose Racionero, i presentar la proposta del que es vol fer.

Especificant els defectes que es volen observar, s'ha obtingut informació de l'equipament que serà necessari per a la implementació del projecte en l'empresa: una càmera Datalogic amb il·luminador, una estació de treball i mostres de juntes facilitades per Fluidra.

Reunió 17/02/2023

Aquesta reunió s'ha planificat una setmana després de l'entrega de l'Avantprojecte per rebre Feedback i implementar les millores. Els canvis aplicats són:

- Enlloc de tenir una estació per a cadascun dels 4 defectes, dividir la línia en una estació de defectes greus per a juntes inservibles (trencades i deformades), i una de defectes lleus (tall de rebaves i inspecció de rebaves). Mostrar el procés en un diagrama de flux.
- Millorar el disseny del *gripper*: posar una superfície de contacte rugosa i utilitzar la eina d'Optimització Topològica per implementar els principis de la Fabricació Additiva.
- Cal automatitzar tot? S'ha vist que per temes de viabilitat tècnica, no és viable dissenyar un sistema mecànic que flecti i orienti la junta en totes direccions per obrir les esquerdes, però fora bo dissenyar utilitatges per facilitar als operaris la inspecció d'esquerdes.

Reunió 17/03/2023

Aquesta reunió s'ha planificat per revisar la informació a entregar a la Memòria Intermèdia marcar un punt important en la planificació del projecte: primer, acabar la memòria de la part de Mecànica, i presentar la proposta a AIS Vision Systems per desenvolupar la part electrònica amb les càmeres de visió artificial.

S'ha planificat iniciar la estància a l'empresa a principis d'abril, i passar aproximadament un mes desenvolupant el projecte.

Reunió 03/04/2023

Aquest és el primer dia de visita a l'empresa AIS Vision Systems, i s'ha fet una reunió amb José Racionero per a parlar sobre el programa de visió artificial a utilitzar (Impact Datalogic), presentar l'estació de treball i recordar els defectes a observar. També ha presentat a empleats de l'empresa que han ajudat al llarg del projecte a entendre i manejar el programa.

Reunió 28/04/2023

Aquest és el últim dia a l'empresa AIS Vision Systems, i s'ha fet una reunió amb José Racionero per comentar els resultats assolits. Tot i que per a un projecte de TFG els programes de Impact Datalogic són correctes, de cara a la implementació industrial caldria modificar alguna tasca d'inspecció, però per l'abast del treball s'ha hagut de retallar.

El que sí s'ha aconseguit amb aquest feedback és detectar esquerdes en la cara inferior de les juntes, a la zona d'unió dels radis a l'anell intern. Inicialment no es creia possible degut a la poca diferència de contrast en l'escala de grisos, però aplicant filtres d'imatge s'ha pogut ressaltar més.

9.4. Anàlisi de riscos i pla de contingència

A fi d'assegurar la continuïtat del projecte, s'elabora un pla de contingència analitzant els possibles escenaris de risc que poden aparèixer durant el seu transcurs, i els indicadors que permetran detectar-los a temps.

La finalitat és tenir un pla d'actuació per als possibles imprevistos relacionats amb el projecte, tal i com es mostra en la taula següent:

Procés	Gestió de riscos del projecte.
Descripció	Procés dedicat a l'estudi i gestió dels possibles riscos directes i indirectes que alteren el transcurs normal o el pressupost inicial del projecte.
Objectiu	Reduir el temps d'execució davant de possibles desviacions temporals.
Riscos	
Entrades	Sortides

Endarreriment en les activitats	Replanificació del projecte
Aparició d'activitats no planificades	Redistribució de les activitats o subcontractació de nous recursos
Falta de recursos i/o personal	Subcontractació de personal
Baix nivell de compliment per part del personal	Formació constant del equip
Corrupció de l'abast	Comunicació clara i detallada amb el client
Malfuncions del robot i la càmera de visió artificial	Contacte a serveis de reparació de tècnics especialistes
Indicadors	
<p>Detecció d'endarreriments en el progrés per duració excessiva de les activitats (aplicacions com Microsoft Project permeten fer un seguiment en temps real sobre el seu estat)</p> <p>Incidències amb els recursos (acomiadaments, malalties, riscos, etc.)</p> <p>Desviació de la planificació desenvolupada per el projecte</p> <p>Excés de recursos en tasques innecessàries</p> <p>No assolir objectius planificats dins del projecte de detall</p> <p>Activitats no completades al 100%</p> <p>Alarmes configurades en el programa de control del PLC</p>	

Taula 9.4.1: Pla de contingència

Diagrama de flux del procés de gestió de riscos

En la següent figura es mostra un exemple de com ha de ser el diagrama de flux del procés de gestió de riscos relacionats amb el projecte:

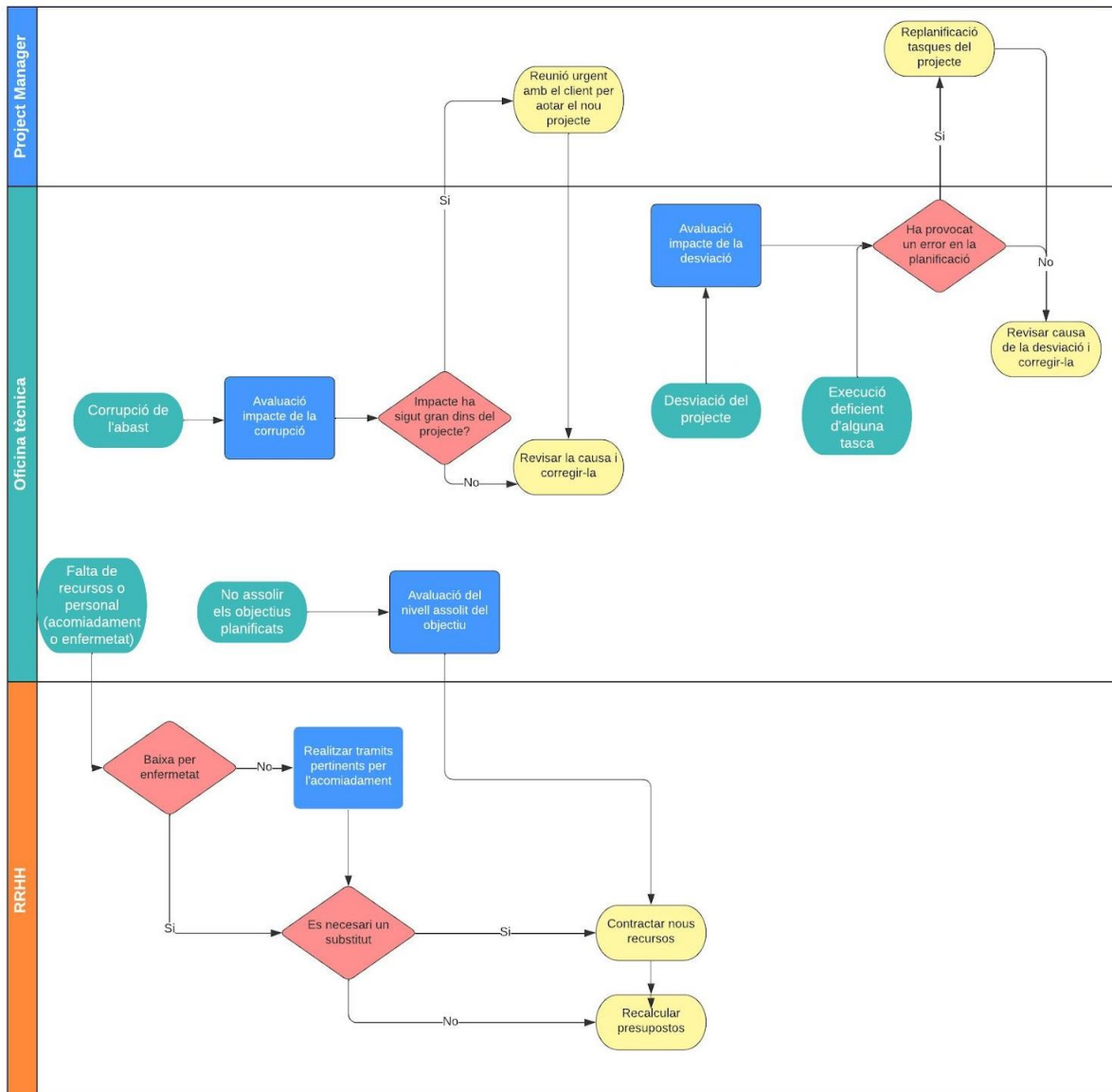


Figura 9.4.1. Diagrama de flux del procés de gestió de riscos [29].

També convé consultar els següents aspectes per saber si es compleix amb la normativa de seguretat de màquines:

tema	Norma de referència	si	no
S'han reduït tots els riscos, tot el possible, fent un disseny segur de la màquina? Utilitzant els corresponents elements de seguretat?	EN ISO 12100:2010 EN 953: 1997		
S'ha tingut totalment en compte les conseqüències de les possibles falles del sistema?	EN ISO 13849-1 annex G EN 62061 clàusula 6.4		
S'han identificat tots els riscos que cal reduir per mitjà de controls de seguretat (safety related control)?	EN ISO 13849-1 clàusula 4.4 EN 62061 clàusula 5.2		
S'han especificat correctament els requeriments de seguretat, com a requeriments funcionals, per a cada control de seguretat?	EN ISO 13849-1 clàusula 5 EN 62061 clàusula 6.6.2.1.6		
Estan correctament especificats, com a requeriments de prestació, els requeriments de seguretat per a cada control de seguretat	EN ISO 13849-1 clàusula 4.3 i annex A EN 62061 clàusula 6.6.2.1.6 i annex A		
S'ha escollit una arquitectura adequada per al disseny dels controls de seguretat?	EN ISO 13849-1 clàusula 6 EN 62061 clàusules 6.6.2.1.2, 3, 7		
Les dades de prestacions dels components de seguretat estan disponibles a partir de: 1) el fabricant de cada component 2) o de dades genèriques fiables	EN ISO 13849-1 clàusula 4.5.2 i annexes C i D EN 62061 clàusula 6.7.7.2		
S'ha establert correctament la cobertura dels diagnòstic que proporcionen els tests automàtics?	EN ISO 13849-1 annex E EN 62061 clàusula 6.8		
S'han examinat els efectes dels errors més comuns i s'han pres mesures per atenuar les conseqüències sobre el terreny (a planta)	EN ISO 13849-1 annex F EN 62061 clàusula 6.7.8.3 i annex F		
S'han verificat les prestacions de seguretat relatives a les funcions dels controls de seguretat per veure si compleixen les normes PL o SIL?	EN ISO 13849-1 clàusula 4.7 EN 62061 clàusula 6.6.3		
S'han planificat i preparat adequadament els requeriments per a la validació del sistema	EN ISO 13849-2 EN 62061 clàusula 8		

Taula 9.4.2. Guia d'indicadors per complir amb la normativa de seguretat de màquines

10. Pressupost

Donat el fet que s'ha dedicat un document sencer per a l'Estudi Econòmic del projecte, en aquesta memòria s'inclourà la informació més rellevant i algunes consideracions.

10.1. Capítols del pressupost

El preu unitari dels enginyers a càrrec de desenvolupar el projecte varia segons la importància de les tasques a realitzar, i de quina és la posició del recurs humà. Per exemple, un enginyer tècnic que desenvolupa i dissenya la solució no cobrarà el mateix que l'encarregat de documentació i maquetació del projecte:

Capítol I: Elaboració del projecte				
COST D'ENGINYERIA ²				
Codi	Descripció	Hores totals	Preu unitari (€)	Import (€)
1.1	Hores de projectista destinades a la cerca d'antecedents i informació prèvia diversa	90	20	1.800
1.2	Hores de projectista destinades a la definició i plantejament de la solució	85	40	3.400
1.3	Hores de projectista destinades al desenvolupament i disseny de la solució (H/S)	215	50	10.750
1.4	Hores de projectista destinades a la realització i posada en marxa del prototip (visió artificial)	60	30	1.800
1.5	Hores de projectista destinades a l'elaboració escrita i edició dels documents del projecte	150	20	3000
TOTAL COSTOS DIRECTES				20.750
COSTOS INDIRECTES				
1.6	Costos indirectes de ma d'obra (5%)			1037,50
SUMA COSTOS DIRECTES + INDIRECTES				21.787,50

TOTAL CAPÍTOL I (25 % de marge)

27.234,375 €

Taula 10.1.1. Capítol 1 del pressupost

Mentre que la inversió en maquinària, dispositius electrònics, eines, ... s'haurà de considerar com el preu a amortitzar en 5 anys, el capítol de prototip considerarà la quantitat de material que cal utilitzar per fabricar un prototip funcional de tots els utilitatges dissenyats. El preu unitari dels materials impresos en PA11 en pols considera un preu de 0.1€ el gram.

Capítol II: Material				
COSTOS MATERIAL PROTOTIP				
IMPRESSIÓ 3D				
Codi	Descripció	Unitats totals	Preu unitari (€)	Import (€)
2.1	Acoblador barrera - cinta	8	0,236	1,888
2.2	Gripper de juntes PA11 blau	2	1,067	2,134
2.3	Peça d'unió càmera-pinça (PA11) amb disseny Honeycomb	1	2,330	2,330
2.4	Base fractures centrals	2	12,335	24,670
2.5	Plantilla fractures centrals	2	22,080	44,160
2.6	Base fractures radis	2	56,133	112,266
UTILLATGES MECANITZATS EN CNC				
2.7	Suport SCARA (peça d'alumini)	1	100,00	100,00
TOTAL COSTOS DIRECTES				237,5603
COSTOS INDIRECTES				
2.8	Costos indirectes de material (5%)			11,878
TOTAL COSTOS DIRECTES + INDIRECTES				249,438
TOTAL CAPÍTOL II (15 % d'imprevistos)				286,854 €

Taula 10.1.2. Capítol 2 del pressupost

Tot i que la línia de control de qualitat té un gran nombre de components, si la inversió s'amortitza a 5 anys, acaba sent més barat que el cost de desenvolupament del projecte (Capítol I), que sol ser el capítol més car en projectes de mida reduïda.

Total Capítol I	27.234,375 €
Total Capítol II	286,854 €
Total Capítol III	12.459,509 €
<hr/>	
Total	37.158,863 €
IVA 21%	7.803,361 €
TOTAL PRESSUPOST	44.962,224 €

Figura 10.1.1. Total del pressupost

10.2. Industrialització i estructura de costos

Un projecte de disseny de producte tindria costos fixes per a tota la maquinària, instal·lacions i sous, i costos variables derivats del procés productiu, que varia en funció de la demanda actual. En canvi, aquest projecte és de disseny de procés (una línia de producció automatitzada), o sigui que no té pròpiament costos variables.

Els costos fixes d'aquest projecte es divideixen en els costos del primer any (pressupost del projecte i servei d'instal·lació) i costos fixes cada any (sous, fabricació d'utilitatges, costos de manteniment i amortitzacions).

La instal·lació i posada a punt de la línia estarà a càrrec dels professionals subcontractats següents durant un termini màxim d'un mes:

Ocupació	Lloc de treball	Quan treballa	Hores	Ocupació	Sou/h	Sou/mes
Programador càmera visió artificial	Estació de defectes greus	Servei extern (setup i reparació d'incidències)	8	100,00%	25,000 €	2.642,86 €
Programador/ Tècnic del robot SCARA	Estació de defectes greus	Servei extern (setup i reparació d'incidències)	8	100,00%	20,000 €	2.223,00 €
Instal·lador elèctric	Totes les estacions	Servei extern (setup i reparació d'incidències)	8	100,00%	15,000 €	1.800,00 €

Taula 10.2.1. Personal subcontractat necessari per a la instal·lació i setup de la línia. Font pròpia

Les tasques a realitzar són:

- Disseny d'esquemes
- Programació de PLC i HMI
- Programació de càmeres i robot SCARA
- Cablejat de quadres
- Instal·lació de maquinària

Sumant transports i despeses addicionals, s'ha arrodonit a un pressupost de **10.000 €**.

Pel que fa als costos fixos anuals, es contemplen el sou del personal, les revisions anuals del robot i la càmera, el cost de fabricació de recanvis d'utilitatges, el consum elèctric i uns costos orientatius en concepte de subministraments i manteniment. Com el projecte automatitza una línia ja existent en una empresa, no cal pagar un lloguer d'una nova nau industrial.

COSTOS FIXOS ANUALS	
Concepte	Costos (€)
Amortitzacions = pressupost AI/5 ³	8.992,445
Consum elèctric	103,0525
Sous	128.400,000
Subministraments i serveis externs	3.000
Manteniment	500
Fabricació de recanvis d'utilitatges	213,0888
TOTAL	141.208,586

Taula 10.2.2. Costos fixos anuals

10.3. Rendibilitat econòmica

Els costos d'inversió del primer any (C_0) inclouen el pressupost d'enginyeria (sense IVA) més tots aquells elements d'immobilitzat necessaris per a l'exploració del projecte. En aquest cas, es considera el preu del servei subcontractat per a la instal·lació de la línia.

COSTOS INVERSIÓ	
Concepte	Costos (€)
Projecte d'enginyeria (sense IVA)	37.158,863
Servei d'instal·lació	10.000
TOTAL (C_0)	47.158,863

Taula 10.3.1. Costos d'inversió inicials

De cara als ingressos, es consideraran com l'increment en els beneficis anuals resultant de la implementació d'aquest sistema de control de qualitat. Inicialment s'ha estimat un 5% dels ingressos de Fluidra.

Concepte	2023	2024	2025	2026	2027
Ingressos destinats (5%)	214.380,00	225.099,00	236.353,95	248.171,65	260.580,08
Costos de producció	132.216,14	132.216,14	132.216,14	132.216,14	132.216,14
Despeses materials (impressió 3D)	213,0888	213,0888	213,0888	213,0888	213,0888
Amortització	8.992,44	8.992,44	8.992,44	8.992,44	8.992,44
Benefici abans d'impostos (BAI)	72.958,33	83.677,33	94.932,28	106.749,97	119.158,41
Benefici net (BN)	51.070,83	58.574,13	66.452,59	74.724,98	83.410,88
Cash-Flow	60.063,27	67.566,57	75.445,04	83.717,43	92.403,33

Taula 10.3.2. Rendibilitat econòmica del projecte a 5 anys

La fórmula per calcular el VAN (Valor Actual Net) utilitza el cost d'inversió C_0 , el Cash-Flow anual, el tipus d'interès i l'índex de preus industrials

$$VAN = -C_0 + \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t (1+g)^t} = 295.152,1208 \text{ €}$$

L'índex cost-benefici (ICB) divideix el VAN pel cost d'inversió C_0 :

$$ICB = \frac{VAN}{C_0} = \frac{295.152,1208}{47.158,863} 100 = 625,868 \%$$

A la vista dels resultats, hem de concloure que el projecte és viables des del punt de vista econòmic, ja que el ICB supera sobradament el 100%. S'ha fet diverses proves, i s'ha conclòs que el percentatge mínim dels beneficis de Fluidra per a que els ingressos siguin suficients per fer rentable el projecte ($ICB > 100$) és del 3.5%.

Concepte	2023	2024	2025	2026	2027
Ingressos destinats (3,5%)	150.066,00	157.569,30	165.447,77	173.720,15	182.406,06
Costos de producció	132.216,14	132.216,14	132.216,14	132.216,14	132.216,14
Despeses materials (impressió 3D)	213,0888	213,0888	213,0888	213,0888	213,0888
Amortització	8.124,62	8.124,62	8.124,62	8.124,62	8.124,62
Benefici abans d'impostos (BAI)	9.512,15	17.015,45	24.893,92	33.166,30	41.852,21
Benefici net (BN)	6.658,51	11.910,82	17.425,74	23.216,41	29.296,54
Cash-Flow	14.783,13	20.035,44	25.550,36	31.341,03	37.421,16

$$VAN = 69.746,1648\text{€}, \quad ICB = 147,896 \%$$

Taula 10.3.3. Capítol 1 del pressupost

10.4. Consideracions

Pel que fa als costos materials de fabricació, aquest projecte ha de considerar la fabricació dels dits de les pinces i els utilitatges dissenyats. A diferència de la resta d'utilitatges/ adaptadors que s'han dissenyat, els de l'estació de fractures tenen un quantitat de material considerable, la qual cosa dispara el temps d'impressió, el cost de matèria prima i la probabilitat de que apareguin defectes. Es pot apreciar clarament si es compara el preu final de la peça, agafant com a referència que si 100€ = 1 kg de PA11 en pols, cosa 0.1€ el gram:

Descripció	Massa	Cost d'impressió en SLS
Acoblador barrera - cinta	2.36 g	0.236 €
Gripper de juntes PA11 blau	10.67 g	1.067 €
Peça d'unió càmera-pinça amb disseny Honeycomb	23.3 g	2.33 €
Utiltatge fractures centrals - Base	123.35 g	12.335 €
Utiltatge fractures centrals - Fractures	220.8 g	22.080 €
Utiltatge fractures radis - Base	561.33 g	56.133 €
TOTAL	941,81 g	94,181 €

Taula 10.4.1. Costos d'impressió dels utilitatges en PA11 en pols. Font pròpia

Per tant, pot ser preferible recórrer a un servei subcontractat per fabricar-les per mecanitzat CNC amb alumini. L'empresa Protolabs fabrica els models 3D que els clients els envien amb tecnologies d'injecció de plàstic, mecanitzat i Impressió 3D.



Figura 10.4.1. Serveis de Protolabs

Al crear un nou projecte, la pàgina web permet estimar el cost dels models de Solidworks que es pengin.

Dels metalls que ofereixen, convé una opció fàcilment mecanitzable, però que alhora sigui resistent i rígida per suportar el pes del robot sense flectar-se. Els quatre aliatges disponibles contenen elements que milloren les seves propietats mecàniques, però per tal d'augmentar la seva durabilitat, també interessa que sigui resistent a la corrosió. Sabent això, es pot escollir entre aquestes opcions, en funció del preu i l'interès i altres propietats [30]:

- Aluminio 5083-H111 | 3.3547 | AlMg4.5Mn0.7
- Aluminio 6082-T651 | 3.2315 | AlSi1MgMn
- Aluminio 7075-T651 | 3.4365 | AlZn5.5MgCu

Respecte el cost del panell elèctric de control industrial, com no s'ha inclòs el seu disseny elèctric dins l'abast d'aquest projecte, no es coneix amb exactitud el preu de l'armari i tots els components integrats. Per tant, s'ha obtingut a partir de referències d'Internet.

El de l'esquerra costa 2040 €, [31] però no es necessiten tants botons en el control de la línia. El de la dreta té una quantitat de components integrats similar al que s'esperaria en el que es requereix en aquest projecte, i costa 500€ [32]. L'inconvenient és que cal un espai a la part superior de l'armari per col·locar la pantalla HMI.



Figura 10.4.2. Referències per a l'estimació del cost del panell de control industrial

11. Normatives

En qualsevol projecte industrial convé tenir en compte les normatives que poden afectar o limitar-lo.

11.1. Conceptes bàsics

- *Directives.* Els equips i màquines han de complir la llei expressada a les directives. Cada país ha de reflectir el contingut de les directives en lleis, decrets i normatives obligatòries.
- *Estàndards.* Models de productes que assegurin el compliment amb les directives.
- *Certificacions.* Asseguren el compliment dels estàndards.
- *Norma.* Especificació tècnica aprovada per un organisme i que no és obligatòria. Si la norma està publicada a tots els estats membres, es coneix com a norma harmonitzada.

11.2. Marcat CE i Directiva de màquines

Tots els productes que es comercialitzin a la Unió Europea han de tenir el marcat CE que confirmi la declaració de conformitat amb la Normativa Europea. Hi ha un gran llistat de directives i reglaments relatius al marcat CE, en funció del seu sector:

1	2009/142/CE	Aparatos de gas	15	93/42/CEE	Productos sanitarios: General
2	Reg. 2016/424	Instalaciones de transporte público por cable	15	98/79/CE	Productos sanitarios: para diagnóstico in vitro
3	Reg. 305/2011	Productos de construcción	16	92/42/CEE	Calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos (requisitos de rendimiento)
4	2014/30/UE	Compatibilidad electromagnética	17	2014/31/UE	Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático
5	2014/34/UE	Aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas	18	2011/65/UE	Restricciones a la utilización de sustancias peligrosas (RoHS)
6	2014/28/UE	Explosivos con fines civiles	19	Reg. 2016/425	Equipos de protección individual
7	2014/33/UE	Ascensores	20	2014/68/UE	Equipos a presión
8	2014/35/UE	Equipos de baja tensión	21	2014/53/UE	Directiva relativa a equipos radioeléctricos
9	2006/42/CE	Seguridad de las máquinas	22	2013/53/UE	Embarcaciones de recreo
10	2014/32/UE	Instrumentos de medida	23	2014/29/UE	Recipientes a presión simples
11	90/269/CEE	Productos sanitarios: implantables activos	24	2009/48/CE	Seguridad de los juguetes
12	2013/29/UE	Artículos pirotécnicos	25	2009/125/CE	Requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía
13	2000/14/UE	Emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre			

Figura 11.1. Llista de directives i reglaments relatius al marcat CE

Dins de la Directiva de Màquines, hi ha normes ISO (internacionals) i UNE EN (Espanya) que apliquen a equipaments específics:

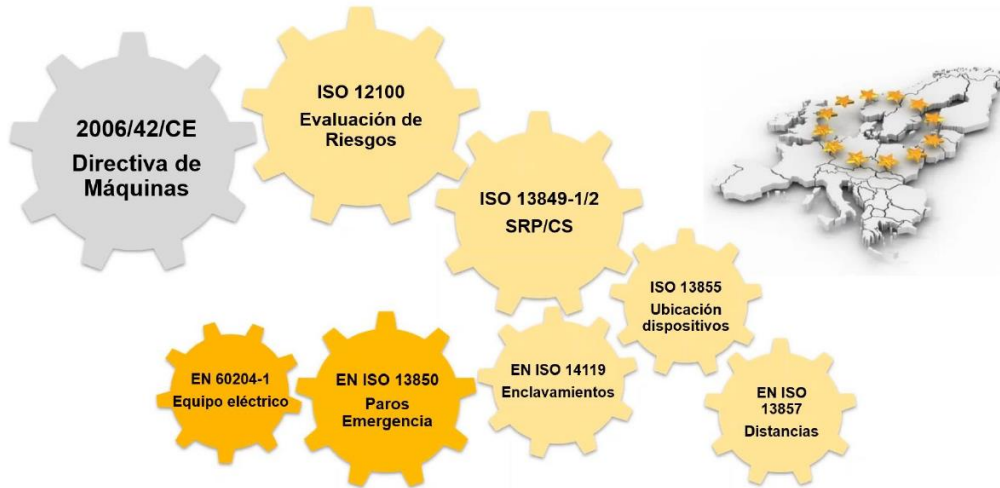


Figura 11.2. Esquema de normes derivades de la Directiva de Màquines

En aquest cas no es comercialitza un producte, sinó que s'ofereix un servei d'automatització de processos, o sigui que el marcat CE no aplicaria. Però sí cal assegurar que la maquinària que conforma la línia de producció sí el tinguin.

11.3. Estructura de les normes de seguretat

Normes de tipus A, Normes bàsiques de seguretat. Aporten conceptes bàsics, principis de disseny i aspectes generals que poden aplicar se a totes les màquines

Normes de tipus B, Normes genèriques de seguretat. Tracten sobre un aspecte de la seguretat o un tipus de dispositiu de seguretat que pot utilitzar se en una àmplia gama de màquines:

- de tipus B1 sobre aspectes particulars de la seguretat (p.e .: distàncies de seguretat, temperatura de superfícies, soroll, ...)
- de tipus B2 sobre dispositius de seguretat (p.e .: comandament bimanual, dispositius d'enclavament, dispositius de protecció sensibles a la pressió, ...)

Normes de tipus C, Normes de seguretat per a màquines específiques. Relatives a una màquina o a un grup de màquines concret.

11.4. Normativa relativa a robòtica industrial

Norma	Tipus	Descripció
EN ISO 12100-1	A	Seguretat de les màquines - Conceptes bàsics, principis generals per al disseny. Part 1: Terminologia bàsica, metodologia
EN ISO 12100-2	A	Seguretat de les màquines - Conceptes bàsics, principis generals per al disseny. Part 2: Principis tècnics
EN ISO 14121-1	A	Seguretat de les màquines. Avaluació del risc. Part 1: Principis
EN ISO 13857	B	Seguretat de maquinària - Distàncies de seguretat per evitar que les extremitats inferiors i superiors arribin a zones de perill
EN IEC 60204-1	B	Seguretat de maquinària - Equip elèctric de màquines - Part 1: requeriments generals
EN ISO 10218-1	C	Robots per a entorns industrials - Requeriments de seguretat - Part 1: Robot

Taula 11.3.. Normes A, B i C relatives a la robòtica industrial

11.6. Control de qualitat

La família ISO 9000:2000 està formada per quatre normes principals, però només una d'elles és certificable, la ISO 9001:

NORMES NO CERTIFICABLES:

ISO 9004: Sistemes de gestió de la qualitat. Recomanacions per dur a terme la millora.

ISO 9000: Sistemes de gestió de la qualitat. Principis i vocabulari.

ISO 10011: Guia per auditar sistemes de gestió de la qualitat.

NORMA CERTIFICABLE:

ISO 9001: Sistemes de gestió de la qualitat. Requisits.

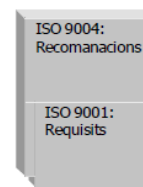


Figura 11.4.. Normes de Control de Qualitat de les indústries

11.7 Normatives amb PLC

S'ha consultat a AENOR, la Associació Espanyola de Normativa, per a trobar normes UNE que afectin a PLCs industrials:

UNE-EN 61131-5:2001 → Autómatas programables. Parte 5: Comunicaciones. [33]

UNE-EN 61131-6:2012 → Autómatas programables. Parte 6: Seguridad funcional. [34]

11.8. Elements de fixació

S'ha consultat a AENOR, la Associació Espanyola de Normativa, per a trobar normes UNE que afectin als elements de fixació per fixar tots els elements de la línia de producció:

UNE-EN ISO 10666:2000 → Tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Características mecánicas y funcionales [35]

UNE-EN ISO 225:2011 → Elementos de fijación. Pernos, tornillos, espárragos y tuercas. Símbolos y designación de las dimensiones. [36]

UNE-EN ISO 888:2019 → Elementos de fijación. Pernos, tornillos y espárragos. Longitudes nominales y longitudes roscadas. [37]

11.9. Fabricació Additiva

S'ha consultat a AENOR, la Associació Espanyola de Normativa, per a trobar normes UNE que afectin als utillatges fabricats en Impressió 3D seguint els principis de la Fabricació Additiva:

UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017 → Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología. [38]

UNE-EN ISO/ASTM 52910:2020 → Fabricación aditiva. Diseño. Requisitos, directrices y recomendaciones [39]

UNE-EN ISO/ASTM 52911-2:2020 → Fabricación aditiva. Diseño. Parte 2: Fusión láser de lecho de polvo de polímeros. [40]

UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:2020 → Fabricación aditiva. Diseño. Fabricación aditiva con gradiente funcional. [41]

UNE-EN ISO/ASTM 52903-1:2021 → Fabricación aditiva. Fabricación aditiva de materiales plásticos basada en extrusión de materiales. Parte 1: Materias primas. [42]

12. Conclusions

L'objectiu principal d'aquest projecte és proporcionar una solució mecànica i electrònica per automatitzar una línia de control de qualitat en juntes de goma, concretament juntes de goma per a juntes estrellades. Amb el temps proporcionat per a l'elaboració del projecte, s'ha pogut proporcionar una solució bastant completa i definida al problema plantejat.

Pel que fa a l'abast de la part mecànica, s'han pogut assolir exitosament tots els punts, incloent fins i tot la impressió en 3D d'un prototip funcional dels dits de les pinces. Això ha permès millorar la funcionalitat del disseny en augmentar la mida de la rugositat, ja que en el disseny original, les dents eren tant petites que, amb la precisió de la impressora utilitzada, no es podia aconseguir i sortien cares planes.

La viabilitat tècnica ha hagut de descartar el disseny d'un sistema d'automatització de detecció d'esquerdes. Qualsevol sistema mecànic que ho intenti automatitzar ha de contemplar masses variables i moure i deformar la junta en moltes posicions, incrementant enormement la dificultat tècnica i el cost de desenvolupament. Per tant, encara es requereixen d'operaris humans per avaluar les micro-esquerdes en tots els racons de la junta. Això sí, s'han desenvolupat utilitatges de suport per facilitar-li's la feina i que es faci més amena.

Com s'ha comprovat en el disseny de les pinces, la Impressió 3D i la Fabricació Additiva són tecnologies molt potents per al disseny de peces i utilitatges amb un ús òptim de material. Tot i que en aquest projecte s'ha escollit la tecnologia SLS i material PA11 en pols per la versatilitat de formes de les peces i les propietats mecàniques, la tecnologia FDM amb filament de PETG és una alternativa perfectament vàlida en aquest projecte.

La rendibilitat econòmica ha mostrat que el més car és el cost de desenvolupament del projecte i les amortitzacions de la inversió inicial en maquinària, i s'ha demostrat els ingressos anuals mínims per a aconseguir un ICB del 100%.

Un Treball Final de Grau sol arribar fins a la definició del disseny detall, però de cara a la industrialització, sempre s'han de fer revisions del disseny i aplicar canvis. Amb aquesta idea en ment, s'ha millorat el layout de la línia de producció per reduir el nombre d'estacions i les cues de materials que es formen.

En qualsevol cas, cal deixar clar que gràcies al desenvolupament d'aquest projecte, s'han adquirit una gran quantitat de coneixements i experiència en el camp professional de la Impressió 3D. També s'han pogut aprofitar coneixements i programes útils presentats en assignatures d'aquest Grau d'Enginyeria, com les matrius Denavit-Hartenberg per al moviment dels braços robòtics i la optimització topològica de Solidworks per aplicar la Fabricació Additiva. Finalment, amb el plantejament d'alternatives de solució i la millora constant de la solució final, s'ha aplicat la filosofia que ha d'adoptar un enginyer industrial.

13. Bibliografia.

- [1] IQS, *Belt Conveyors: Components, Types, Design and Applications* [En línia]. Disponible a: <https://www.iqsdirectory.com/articles/conveyors/belt-conveyors.html> [Últim accés: 2023].
- [2] Rulmeca, *How to calculate required belt pull and power on horizontal slider bed conveyors* [En línia]. Disponible a: <https://rulmecacorp.com/how-to-calculate-belt-pull/> [Últim accés: 2023].
- [3] Hydrol Catalog, *TA Slider Bed Belt Conveyor (pàg. 16)*, [En línia]. Disponible a: <https://catalog.hytrol.com/data/hca23enu/011/html/export/Hytrol%20Catalog.pdf> [Últim accés: 2023].
- [4] Festo, *Pinza Paralela EHPS-25-A-RAIA* [En línia]. Disponible a: <https://www.festo.com/es/es/a/8119113/?q=~:sortByCoreRangeAndSp2020> [Últim accés: 2023].
- [5] Festo, *Datasheet Pinza paralela EHPS, eléctrica* [En línia]. Disponible a: <https://www.festo.com/es/es/a/8119113/?q=~:sortByCoreRangeAndSp2020> [Últim accés: 2023].
- [6] Easy Works, *Prueba la optimización topológica siguiendo estos pasos* [En línia]. Disponible a: <https://easyworks.es/prueba-la-optimizacion-topologica-siguiendo-estos-pasos/> [Últim accés: 2023].
- [7] R3ALD, *¿Qué es un fichero STL?* [En línia]. Disponible a: <https://www.r3ald.com/que-es-un-fichero-stl> [Últim accés: 2023].
- [8] Ultimaker Cura downloads [En línia]. Disponible a: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/#links> [Últim accés: 2023].

- [9] GTI, *Layer height* [En línea]. Disponible a: <http://www.tugurium.com/gti/termino.php?Tr=layer%20height#:~:text=0%20altura%20de%20capa%20En,capas%20para%20confeccionar%20la%20pieza>. [Últim accés: 2023].
- [10] Formlabs, *El grosor mínimo de pared para la impresión 3D* [En línea]. Disponible a: <https://formlabs.com/es/blog/grosor-minimo-pared-impresion-3d/> [Últim accés: 2023].
- [11] Gobierno de Canarias, *Manual de Cura* [En línea]. Disponible a: [https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/3d/2017/03/27/cura/#:~:text=Bottom%2FTop%20thickness%20\(Grosor%20de,lo%20que%20ser%C3%A1n%20capas%20macizas](https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/3d/2017/03/27/cura/#:~:text=Bottom%2FTop%20thickness%20(Grosor%20de,lo%20que%20ser%C3%A1n%20capas%20macizas). [Últim accés: 2023].
- [12] The Machine Bros, *¿Qué es el Infill en impresión 3D?* [En línea]. Disponible a: https://themachinebros.com/es/que-es-el-infill-en-impresion-3d/#Infill_Fast_Honeycomb [Últim accés: 2023].
- [13] All3DP, *Los mejores parametros para imprimir con PETG* [En línea]. Disponible a: <https://all3dp.com/es/2/impresion-3d-petg-lfilamento-ajustes-settings/#i-3-temperatura-retraccion-y-stringing> [Últim accés: 2023].
- [14] Filament2print, *¿Qué es la retracción en impresión 3D? Definición y ajustes* [En línea]. Disponible a: https://filament2print.com/es/blog/34_retraccion-impresion-3d.html [Últim accés: 2023].
- [15] Electric Automation Network, *OMRON GigE Vision Area Scan Camera, 2.0 MP, Monochrome, CMOS Sony IMX430* [En línea]. Disponible a: <https://www.electricautomationnetwork.com/es/omron/stc-mbs202poe-690604-omron-gige-vision-area-scan-camera-20-mp-monochrome-cmos-sony-imx430-1-17-45-> [Últim accés: 2023].
- [16] GRabCAD, *Work Table 35* [En línea]. Disponible a: <https://grabcad.com/library/work-table-35> [Últim accés: 2023].

- [17] GrabCAD, *Fanuc SR-6iA* [En línia]. Disponible a: <https://grabcad.com/library/fanuc-sr-6ia-1> [Últim accés: 2023].
- [18] FESTO, *Barrera de luz SOOE-TB-L-PNLK-T* [En línia]. Disponible a: <https://www.festo.com/es/es/a/8075671/?q=%7E%3A%20SortByCoreRangeAndSp2020> [Últim accés: 2023].
- [19] GrabCAD, *Cinta transportadora 8* [En línia]. Disponible a: <https://grabcad.com/library/cinta-transportadora-8> [Últim accés: 2023].
- [20] GrabCAD, *Conveyor System belt 1* [En línia]. Disponible a: https://grabcad.com/library/conveyor-system-belt-1/details?folder_id=13372718 [Últim accés: 2023].
- [21] Diseño CAD, *Como hacer una ROSCA (Normas). SolidWorks* [En línia]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=xm4IYz61t9U> [Últim accés: 2023].
- [22] Lab Pro, *Relación tuerca Tornillo, en solidworks, fácil y rápido* [En línia]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=JYACEjFsgL4> [Últim accés: 2023].
- [23] Mecanova, *Salas de despiece* [En línia]. Disponible a: <https://www.mecanova.es/es/inicio/30-productos/salas-de-despiece> [Últim accés: 2023].
- [24] GrabCAD, *Caja plastica 1* [En línia]. Disponible a: https://grabcad.com/library/caja-plastica-1/details?folder_id=11399633 [Últim accés: 2023].
- [25] Procesos Industriales, *Estrategias De Diseño De Línea – Parte 2: Líneas I, U, S Y L* [En línia]. Disponible a: <https://procesosindustriales.net/lean-manufacturing/estrategias-de-diseno-de-linea-parte-2-lineas-i-u-s-y-l/> [Últim accés: 2023].
- [26] Sinerges, *ITEM Sistema de construcción modular MB* [En línia]. Disponible a: https://www.sinerges.com/wp-content/uploads/pdf/item_MB_ES.pdf [Últim accés: 2023].

- [27] Maun Systems, Automatic-Fastening Set 8 [En línia]. Disponible a: <https://www.maunsystem.de/en/Automatic-Fastening-Set-8-stainless/VI-1101> [Últim accés: 2023].
- [28] Area Tecnologia, Automatismos Eléctricos [En línia]. Disponible a: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/automatismos.html> [Últim accés: 2023].
- [29] RIGOLA, A. *Disseny d'un utilatge iot mitjançant fabricació additiva (2021)*. [En línia]. Disponible a: <https://repositori.tecnocampus.cat/handle/20.500.12367/2025> [Últim accés: 2023].
- [30] Protolabs. *Materiales de fabricación* [En línia]. Disponible a: <https://www.protolabs.com/es-es/materiales/guia-comparativa/?category=plastic:metal&process=cncmilling:cncturning> [Últim accés: 2023].
- [31] Polsinelli. *Panel eléctrico P4* [En línia]. Disponible a: <https://www.polsinelli.it/es/panel-el%C3%A9ctrico-p4-P1998.htm?mid=1918> [Últim accés: 2023].
- [32] Aliexpress. *Dumbwaiter control cabinet* [En línia]. Disponible a: <https://es.aliexpress.com/item/32804613116.html> [Últim accés: 2023].
- [33] UNE-EN 61131-5:2001 [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-61131-5-2001-n0026113> . [Últim accés: 2023].
- [34] UNE-EN 61131-6:2012 [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-61131-6-2012-n0050437> . [Últim accés: 2023].
- [35] UNE-EN ISO 10666:2000 [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10666-2000-n0022771> . [Últim accés: 2023].
- [36] UNE-EN ISO 225:2011 [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-225-2011-n0047727> [Últim accés: 2023].
- [37] UNE-EN ISO 888:2019 [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-888-2019-n0061750> . [Últim accés: 2023].

- [38] UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017 [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52900-2017-n0059196> [Últim accés: 2023].
- [39] UNE-EN ISO/ASTM 52910:2020 [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N006372> [Últim accés: 2023].
- [40] 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: 2023].
- [41] 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: 2023].
- [42] 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: 2023].