



Centros universitarios adscritos a la



Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

DISSENY D'UN UTILLATGE IOT MITJANÇANT FABRICACIÓ ADDITIVA

Memòria

Adrià Rigola
PONENT: Sergio Morales

CURS 2021 - 2022



Resum

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

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

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

A partir d'aquest punt començarà el cos del document on es desenvoluparà un sistema de detecció de peces, s'integrarà com a sistema IoT, i finalment es dissenyarà un programa de visió artificial per mesurar les peces manipulades.

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

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

Resumen

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

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

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

A partir de este punto empezará el cuerpo del documento donde se desarrollará un sistema de detección de piezas, se integrará como sistema IoT, y finalmente se diseñará un programa de visión artificial para medir las piezas manipuladas.

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

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

Abstract

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

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

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

From this point forward, the body of the document will begin. In it, a component detection system will be developed, integrated as an IoT System. Finally, an artificial vision program will be designed which will measure the manipulated components.

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

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

Índex

1.	INTRODUCCIÓ.....	1
1.1	Motivació.....	1
1.2	Transferència de la tecnologia del TecnoCampus	2
1.3	Objectius	3
1.4	Abast	4
2.	MARC TEÒRIC.....	7
2.1	El context industrial.....	7
2.2	Indústria 4.0	8
2.3	Robòtica.....	9
2.4	IoT.....	11
2.5	Fabricació Additiva.....	12
2.5.1	Introducció a la fabricació Additiva	12
2.5.2	Avantatges clau de la FA.....	13
2.5.3	Comparació de costos de la FA	16
2.5.4	Tecnologies de FA.....	17
3.	TREBALL A REALITZAR.....	21
3.1	Contextualització de la tasca.....	21
3.2	Descripció de la tasca	23
3.3	Requisits funcionals.....	23
3.3.1	Detecció de peces	26
3.3.2	Control de qualitat	28
3.4	Metodologia.....	28
4.	SISTEMA DE DETECCIÓ DE PECES.....	31
4.1	Requisits.....	31
4.2	Sensors	32
4.2.1	Tipus de sensors	33

4.2.2	Característiques	35
4.3	Descripció del sensor de proximitat capacitiu	37
4.3.1	Principi de funcionament.....	38
4.4	Hardware emprat.....	39
4.4.1	Sensor de proximitat LJC12A3-5-Z/AX	39
4.4.2	Placa de Microcontrolador ESP32-WROVER	41
4.4.3	Optoacobrador PC817	43
4.5	Connexions del sistema	45
4.5.1	Disseny base	45
4.5.2	Segon disseny	50
4.5.3	Tercer disseny.....	51
5.	MONITORATGE AMB IOT	55
5.1	IoT en l'entorn industrial	55
5.2	Requisits.....	57
5.3	Protocols de comunicació IoT	59
5.3.1	Protocols de capa d'aplicació	61
5.4	Estructura	64
5.5	Desenvolupament.....	66
5.5.1	Configuració del servidor	66
5.5.2	Comunicació de la pàgina web amb la base de dades	68
5.5.3	Comunicació entre el microcontrolador i la base de dades	71
5.5.4	Àrea de visualització	78
6.	IMPLEMENTACIÓ DE VISIÓ ARTIFICIAL.....	81
6.1	Introducció	81
6.1.1	Visió artificial amb IA.....	82
6.1.2	Avantatges de la visió artificial	82
6.1.3	Aplicacions	84

6.2	Components principals	86
6.2.1	Sistema de processament de la imatge	87
6.2.2	Sistema d'adquisició d'imatges	87
6.2.3	Il·luminació	88
6.3	Requisits.....	89
6.3.1	OpenCV	90
6.4	Calibració de la càmera.....	90
6.4.1	Distorsió	91
6.4.2	Model de càmera estenopeica.....	92
6.4.3	Mètode de Zhang	93
6.4.4	Codi pel calibratge.....	95
6.5	Algoritmes emprats a la visió artificial.....	100
6.5.1	Modificacions de color, escala de grisos	100
6.5.2	Detecció de contorns amb Canny	101
6.5.3	Transformada de Hough	102
6.6	Desenvolupament.....	103
6.6.1	Estructura.....	105
6.7	Resultats.....	108
6.7.1	Resultats amb model 3D.....	108
6.7.2	Resultats amb imatge real.....	111
7.	PRESSUPOST.....	113
7.1	Costos dels materials	114
7.2	Costos de fabricació.....	115
7.3	Costos de mà d'obra	116
7.4	Llicències de software	116
7.5	Pressupost total	117
8.	INFORMACIÓ	119

8.1	Normatives.....	119
8.1.1	Seguretat.....	119
8.1.2	Normatives amb PLC.....	119
8.1.3	Normatives amb robots.....	119
8.1.4	Elements de fixació.....	120
8.1.5	Coixinets.....	120
8.1.6	Motlles.....	120
8.1.7	Materials.....	120
8.1.8	Fabricació Additiva.....	121
8.1.9	Comunicacions.....	121
8.2	Patents.....	122
9.	IMPACTE MEDIAMBIENTAL.....	123
10.	PERSPECTIVA DE GÈNERE.....	125
11.	ORGANITZACIÓ DEL TREBALL.....	127
11.1	Planificació.....	127
11.2	Punts de control.....	132
11.3	Gestió d’Incidències i Riscos.....	134
11.4	Seguiment i control del projecte.....	135
11.4.1	Primer punt 21/02/2022.....	135
11.4.2	Segon punt 07/03/2022.....	135
11.4.3	Tercer punt 21/03/2022.....	135
11.4.4	Quart punt 04/04/2022.....	136
11.4.5	Cinquè punt 18/04/2022.....	136
11.4.6	Sisè punt 02/05/2022.....	136
11.4.7	Setè punt 16/05/2022.....	137
11.4.8	Vuitè punt 30/05/2022.....	137
12.	CONCLUSIONS I TREBALL DE FUTUR.....	139

12.1	Introducció	139
12.2	Conclusions	139
12.3	Treball de futur.....	140
	Bibliografia.....	141

Índex de Figures

Figura 2.1: Nivells d'industrialització. Font: [3].....	7
Figura 2.2: Tecnologies principals de la Indústria 4.0. Font: [9].	9
Figura 2.3: Tecnologies de fabricació. Font: [15].	12
Figura 2.4: Peça complexa envers peça simple. Font: [5].....	14
Figura 2.5: Comparativa de preus entre diferents alineadors dentals. Font: [15].	15
Figura 2.6: Fabricació Additiva aplicada a la cadena de valor d'un producte. Font: [15].	15
Figura 2.7: Cost unitari en funció de unitats produïdes. Font: [15].	16
Figura 2.8: Tecnologies de FA. Font: [17].....	17
Figura 3.1: Conjunt peces, colada, runners, porta. Font: [20].....	21
Figura 3.2: Conjunt tubs-colada a manipular. Font: Pròpia.	22
Figura 3.3: Detall d'un colze. Font: Pròpia.....	22
Figura 3.4: Bellows gripper. Font: [21]	24
Figura 3.5: Radial gripper. Font: [22]	24
Figura 3.6: Ventosa amb 1.5 convolucions. Font: [23].....	24
Figura 3.7: Tractament del senyal d'un sensor amb major voltatge. Font: Pròpia.	27
Figura 3.8: Diagrama metodologia. Font: Pròpia.....	30
Figura 4.1: Esquema microcontrolador amb E/S. Font: Pròpia.	32
Figura 4.2: Representació de la histèresi (esquerra) i linearitat (dreta). Font: Pròpia...	36
Figura 4.3: Parts bàsiques d'un sensor de proximitat. Font: Pròpia.	39
Figura 4.4: Sensor de proximitat LJC12A3-5-Z/AX. Font: [26].	40
Figura 4.5: Esquema de connexió sensor NPN i PNP. Font: Pròpia.....	41
Figura 4.6: <i>ESP32 Dev Kit C</i> . Font: [27].	41
Figura 4.7: Optoacobrador PC817. Font: [28].....	43
Figura 4.8: Tipus d'optoacobradors. Font: Pròpia.	44
Figura 4.9: Adaptador VCE i connexions. Font: Pròpia.	46
Figura 4.10: Esquema de connexions del disseny base. Font: Pròpia.....	47
Figura 4.11: Dades del LED emprat. Font: <i>Data sheet</i> del fabricant.....	48
Figura 4.12: Programa de verificació. Font: Pròpia.	50
Figura 4.13: Esquema de connexions del segon disseny. Font: Pròpia.....	51
Figura 4.14: Esquema de connexions del segon disseny. Font: Pròpia.....	52
Figura 5.1: Capes de Cloud, Fog i <i>Edge computing</i> . Font: [31].	56

Figura 5.2: Elements bàsics d'un sistema IoT. Font: Pròpia.	57
Figura 5.3: Configuració amb <i>Single board computer</i> . Font: Pròpia.	59
Figura 5.4: Protocols de comunicació separats en capes. Font: [29].	59
Figura 5.5: Model TCP/IP. Font: [29].	60
Figura 5.6: Esquema protocol MQTT. Font: [32].	62
Figura 5.7: Protocol CoAP. Font: [33].	63
Figura 5.8: Esquema de l'IoT cloud. Font: Pròpia.	65
Figura 5.9: Camps identificatius d'una base de dades. Font: Pròpia.	66
Figura 5.10: Paràmetres de la base de dades. Font: Pròpia.	67
Figura 5.11: <i>phpMyAdmin</i> , base de dades creada. Font: Pròpia.	67
Figura 5.12: Taula de la base de dades dels sensors. Font: Pròpia.	68
Figura 5.13: Taula de la base de dades de la subjecció. Font: Pròpia.	68
Figura 5.14: Connexió a la base de dades. Font: Pròpia.	69
Figura 5.15: Llegir estat del sensor 1 de la base de dades. Font: Pròpia.	69
Figura 5.16: Condició detecta/no detecta. Font: Pròpia.	70
Figura 5.17: Arxiu <i>index.php</i> al servidor web. Font: Pròpia.	70
Figura 5.18: Comprovació amb "No detecta". Font: Pròpia.	70
Figura 5.19: Comprovació amb "Detecta". Font: Pròpia.	70
Figura 5.20: Llibreries pel microcontrolador. Font: Pròpia.	72
Figura 5.21: Definició de variables del programa del microcontrolador. Font: Pròpia.	73
Figura 5.22: Set up del programa del microcontrolador. Font: Pròpia.	74
Figura 5.23: Primera part del bucle d'Arduino. Font: Pròpia.	75
Figura 5.24: Segona part del bucle d'Arduino. Font: Pròpia.	76
Figura 5.25: Connexió a la base de dades <i>MySQL</i> . Font: Pròpia.	77
Figura 5.26: Actualització de la base de dades. Font: Pròpia.	77
Figura 5.27: Actualització de la base de dades pels Sensors. Font: Pròpia.	78
Figura 5.28: Àrea de visualització en <i>stand by</i> . Font: Pròpia.	79
Figura 5.29: Àrea de visualització detectant colzes. Font: Pròpia.	79
Figura 5.30: Script per actualitzar la pàgina web. Font: Pròpia.	80
Figura 5.31: Importar llibreria jQuery. Font: Pròpia.	80
Figura 6.1: Sistema industrial de visió artificial. Font: [34].	82
Figura 6.2: Etiqueta d'un producte farmacèutic. Font: [35].	84

Figura 6.3: Àrea principal de visualització pel guiat d'un robot <i>pick and place</i> . Font: [36].	85
Figura 6.4: Mesura d'objectes amb visió artificial. Font: [37].	85
Figura 6.5: Inspecció d'aliments amb visió artificial. Font: [38].	86
Figura 6.6: Components principals d'un sistema de visió artificial. Font: Pròpia.	87
Figura 6.7: Il·luminació frontal. Font: [39].	88
Figura 6.8: Il·luminació per contrast. Font: [39].	89
Figura 6.9: Distorsió radial. Font: [41].	92
Figura 6.10: Model de càmera estenopecica o <i>pinhole camera model</i> . Font: [43].	93
Figura 6.11: Error respecte el nombre d'imatges o plans. Font: [44].	94
Figura 6.12: Patró per calibrar la càmera. Font: Pròpia.	95
Figura 6.13: Imatge amb el taulell pel calibratge. Font: Pròpia.	96
Figura 6.14: Definició de variables pel calibratge. Font: Pròpia.	97
Figura 6.15: Imatge amb les cantonades detectades. Font: Pròpia.	97
Figura 6.16: Identificació dels punts 3D i 2D en el patró. Font: Pròpia.	98
Figura 6.17: Paràmetres principals de la càmera. Font: Pròpia.	98
Figura 6.18: Correcció de la distorsió. Font: Pròpia.	99
Figura 6.19: Paràmetres del calibratge de la càmera. Font: Pròpia.	99
Figura 6.20: Error de reprojecció. Font: Pròpia.	100
Figura 6.21: Valor de l'error de reprojecció. Font: Pròpia.	100
Figura 6.22: Canals RGB. Font: [46].	101
Figura 6.23: Detecció de contorns amb Canny. Font: [49].	102
Figura 6.24: <i>Hough Gradient Method</i> . Font: [51].	103
Figura 6.25: Imatge de <i>render</i> . Font: Pròpia.	104
Figura 6.26: Imatge Real. Font: Pròpia.	104
Figura 6.27: Estructura del programa. Font: Pròpia.	107
Figura 6.28: Codi per mesura amb model 3D. Font: Pròpia.	109
Figura 6.29: Imatge Canny per render. Font: Pròpia.	109
Figura 6.30: Imatge resultat amb render. Font: Pròpia.	110
Figura 6.31: Sortida del codi, indicant el resultat, per cas render. Font: Pròpia.	110
Figura 6.32: Sortida en cas que siguin incorrectes. Font: Pròpia.	110
Figura 6.33: Codi per mesura amb imatge real. Font: Pròpia.	111
Figura 6.34: Imatge Canny, imatge real. Font: Pròpia.	112
Figura 6.35: Imatge resultat amb imatge real. Font: Pròpia.	112

Figura 11.1: Diagrama de Gantt activitats principals. Font: Pròpia..... 128

Figura 11.2: Gantt total. Font: Pròpia. 131

Figura 11.3: Calendari amb punts de control. Font: Pròpia. 133

Índex de Taules

Taula 6.1: Objectius estratègics assolits amb visió artificial. Font: Pròpia.....	83
Taula 10.1: Costos dels materials de la part mecànica. Font: Pròpia.	114
Taula 10.2: Costos materials de la part electrònica. Font: Pròpia.	115
Taula 10.3: Costos de fabricació. Font: Pròpia.	115
Taula 10.4: Costos de mà d'obra. Font: Pròpia.....	116
Taula 10.5: Llicències de software. Font: Pròpia.	116
Taula 10.6: Pressupost total. Font: Pròpia.....	117
Taula 11.1: Durada de les activitats. Font: Pròpia.....	127
Taula 11.2: Sub-activitats. Font: Pròpia.	129
Taula 11.3: Criteri de freqüència de punts de control. Font: [83].	132
Taula 11.4: Punts de control. Font.: Pròpia.	132
Taula 11.5: Llistat de riscos i retard. Font: Pròpia.	134

Glossari de termes

2D	Dues dimensions
3D	Tres dimensions
ABS	Acrilonitril butadiè estirè
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
AMPQ	<i>Advanced Message Queuing Protocol</i>
BJ	<i>Binder Jetting</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
CPS	<i>Cyber-physical System</i>
CPU	<i>Central processing unit</i>
DC	<i>Direct corrent</i>
DDS	<i>Data Distribution Service</i>
DED	<i>Direct Energy Deposition</i>
ERP	<i>Enterpris Resource Planning</i>
FA	Fabricació Additiva
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
FDP	<i>Final Degree Project</i>
FDS	Factor de seguretat
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>

XIV

FEM *Finite Element Method*

GDN *Ground*

GPIO *General Purpose Input/Output*

IDE *Integrated Development Enviroment*

HTML *HyperText Markup Language*

HTTP *Hypertext Transfer Protocol*

IA *Intel·ligència Artificial*

IoT *Internet of Tthings*

IIoT *Industrial Internet of Things*

IP *Internet Protocol*

JIT *Just in time*

kg *Quilogram*

LAN *Local Area Network*

LED *Light Emitting Diode*

MEF *Mètode dels Elements Finitis*

MJ *Material Jetting*

MJF *Multy Jet Fusion*

MOM *Message Orientated Middleware*

MPa *Mega pascal*

MQTT *Message Queuing Telemetry Transport*

N *Newtons*

NC *Normally closed*

NPD *New Product Development*

PA *Poliamida*

Pa	Pascal
PBF	<i>Powder Bed Fusion</i>
Php	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PJ	<i>Polyjet</i>
PLC	<i>Programmable logic controller</i>
PVC	Clorur de polivinil
RESTful	<i>Representation State Transfer</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RM	<i>Rapid Manufacturing</i>
RP	<i>Rapid Prototyping</i>
RT	<i>Rapid Tooling</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
RTLS	<i>Real-time locating System</i>
SBC	<i>Single Board Computer</i>
SoC	<i>System on a Chip</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
SW	<i>Solid Works</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TFG	Treball de fi de grau
TIC	Tecnologies de la informació i de la comunicació
UV	<i>Llum ultraviolada</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

Wifi *Wireless Fidelity*

1. INTRODUCCIÓ

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

1.1 Motivació

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2 Transferència de la tecnologia del TecnoCampus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3 Objectius

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

Degut a que aquest avantprojecte es centra en la part electrònica del projecte, els objectius aniran enfocats a determinar el mètode més adequat per a realitzar la detecció de les peces, ja sigui determinant els sensors més adequats o els controladors pertinent, això com, per tal d'afegir al procés un valor addicional, determinar la millor forma de realitzar el control de qualitat de les peces que surten del motlle.

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

Aleshores els objectius es llisten a continuació:

- Implementar un sistema de detecció de peça.
- Afegir connectivitat a l'utilitatge (amb dispositius mòbils).
- Dissenyar un sistema de control de qualitat de les peces in situ.
- Augmentar la productivitat mitjançant un sistema de detecció.
- Facilitar la detecció d'errors mitjançant un control de qualitat i la connectivitat de l'utilitatge.

1.4 Abast

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

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

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

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

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

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

2. MARC TEÒRIC

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

2.1 El context industrial

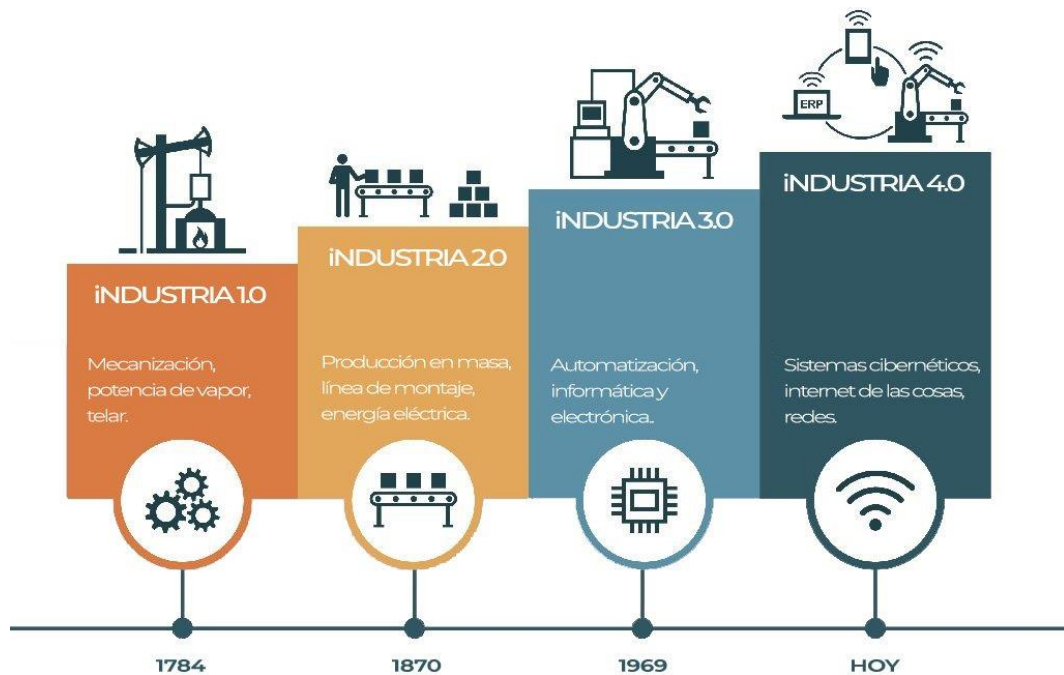


Figura 2.1: Nivells d'industrialització. Font: [3].

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

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

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

2.2 Indústria 4.0

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

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

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

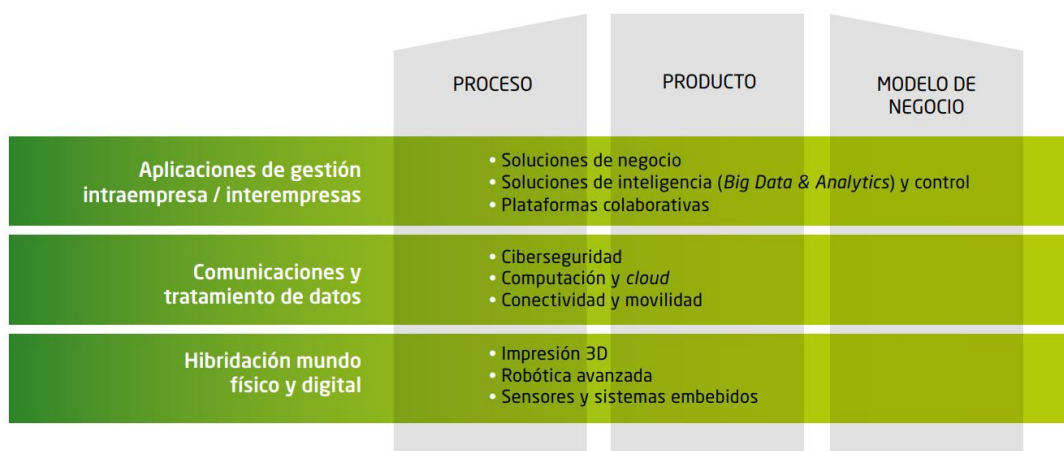


Figura 2.2: Tecnologies principals de la Indústria 4.0. Font: [9].

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

2.3 Robòtica

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

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

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

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

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

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

2.4 IoT

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

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

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

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

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

2.5 Fabricació Additiva

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

2.5.1 Introducció a la fabricació Additiva

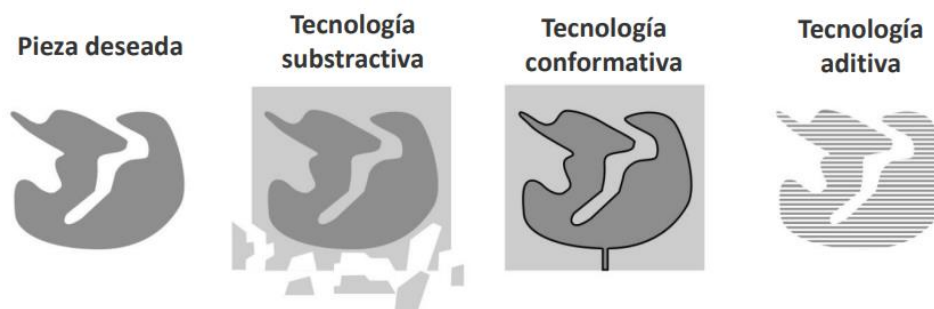


Figura 2.3: Tecnologies de fabricació. Font: [15].

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

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

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

2.5.2 Avantatges clau de la FA

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

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

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



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

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

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

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

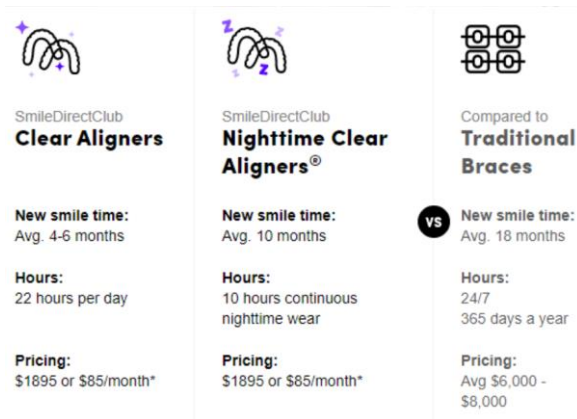


Figura 2.5: Comparativa de preus entre diferents alineadors dentals. Font: [15].

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



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

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

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

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

2.5.3 Comparació de costos de la FA

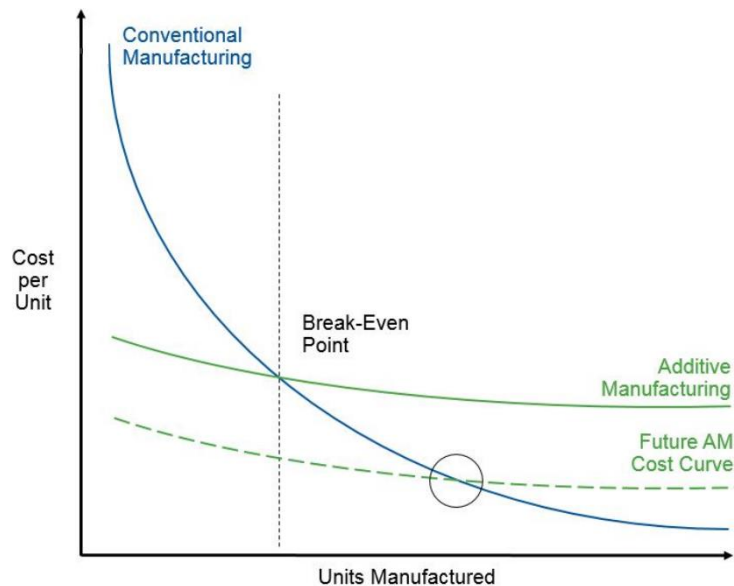


Figura 2.7: Cost unitari en funció de unitats produïdes. Font: [15].

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

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

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

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

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

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

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

2.5.4 Tecnologies de FA

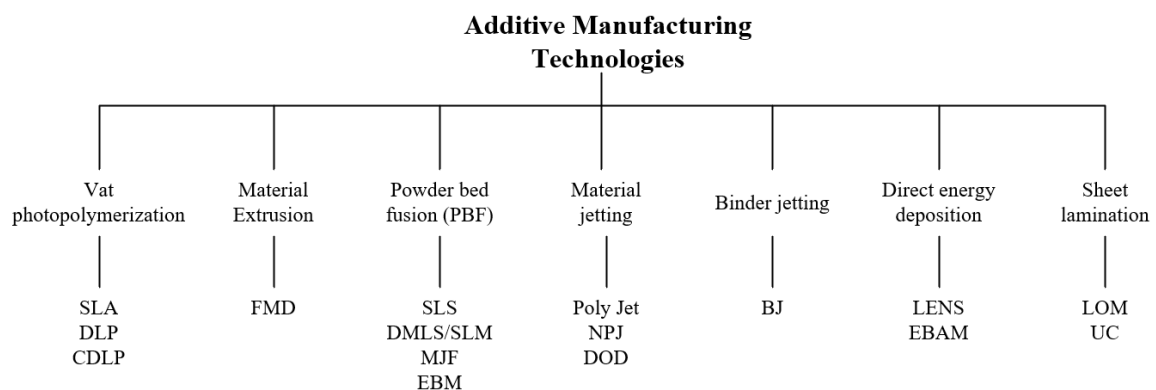


Figura 2.8: Tecnologies de FA. Font: [17].

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

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

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

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

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

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

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

3. TREBALL A REALITZAR

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

3.1 Contextualització de la tasca

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

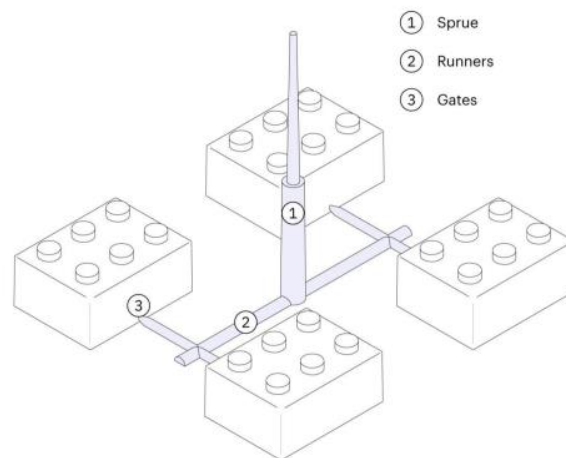


Figura 3.1: Conjunt peces, colada, runners, porta. Font: [20].

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

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

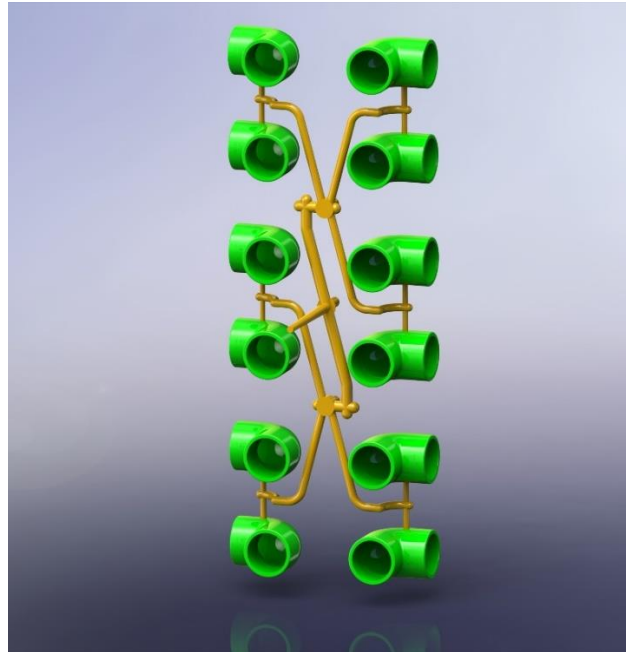


Figura 3.2: Conjunt tubs-colada a manipular. Font: Pròpia.

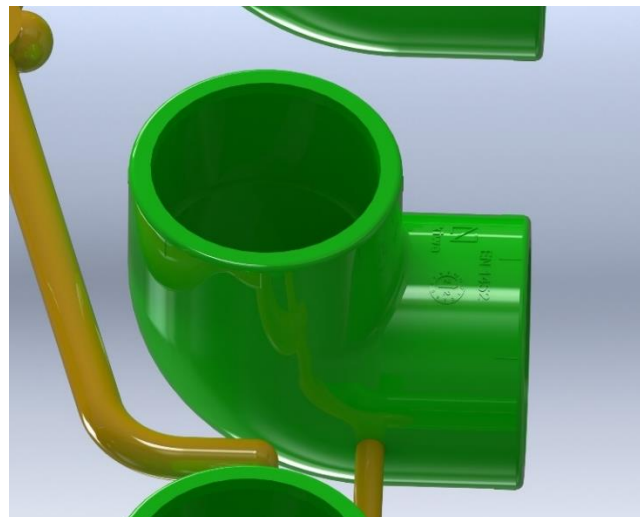


Figura 3.3: Detall d'un colze. Font: Pròpia.

3.2 Descripció de la tasca

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

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

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

3.3 Requisits funcionals

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

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



Figura 3.4: Bellows gripper. Font: [21]



Figura 3.5: Radial gripper. Font: [22]

Aquestes dues possibilitats comentades poden suposar una solució viable, però si es considera que serà necessari realitzar un control de qualitat, verificant el diàmetre de les dues boques de cada colze, l'operació es dificulta en gran manera si l'element de subjecció tapa una d'elles. Aleshores caldrà explorar tot el ventall de possibilitats, per exemple, tornant a les ventoses, agafant la superfície arrodonida dels colzes mitjançant una ventosa amb diverses convolucions, **Figura 3.6**, que ofereixen la possibilitat d'adaptar-se millor a superfícies irregulars, que les ventoses convencionals. Gràcies a això, les dues boques dels colzes quedarien lliures, i d'aquesta manera es podria fer el control de qualitat.

També caldrà considerar la viabilitat de fer la tasca mitjançant únicament la subjecció de la colada. Per això caldria utilitzar diverses estacions de tall de la colada. Una estació estaria encarregada de separar les peces que no compleixen l'estàndard del control de qualitat, i un altre per les peces que sí que el compleixen. Amb això es podria estalviar pes, ja que no seria necessari subjectar cada colze de forma individual.



Figura 3.6: Ventosa amb 1.5 convolucions. Font: [23]

En la mateixa línia, per tal de realitzar el control de qualitat existeixen diverses possibilitats. La primera, sent la més rudimentària, seria mitjançant galgues passa no passa. Amb aquestes, introduint la galga en el colze es pot verificar si la peça compleix amb uns estàndards de qualitat. Com s'ha comentat, es tracta d'un mètode més rudimentari que, tot i ser efectiu, dificulta la possibilitat d'automatitzar de forma completa el procés.

També hi ha la possibilitat de fer la mesura dels diàmetres de les peces mitjançant làser, de manera que es poden obtenir mesures molt més precises, fent un control més exhaustiu. Finalment, s'haurà de considerar implementar el control de qualitat mitjançant visió artificial. Aquesta és una tècnica que en els últims anys s'està implementant per fer una gran varietat de tasques, que permet automatitzar de forma senzilla i ràpida un procés com el que es requereix en aquest cas.

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

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

Per tal de poder monitorar el comportament i com es desenvolupa l'utilatge, incorporar un sistema de detecció de les peces, aporta molts beneficis al procés i afegeix una flexibilitat addicional al robot.

A l'hora de dissenyar un sistema de detecció, el primer que s'ha d'identificar és la naturalesa del material de la peça a tractar. Amb això és possible determinar el sensor que s'ajusta més a les necessitats del procés, ja sigui un sensor inductiu, d'infrarojos, capacitiu, etc.

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

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

3.3.1 Detecció de peces

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

Bàsicament, un PLC està format per la CPU (unitat central de processament), que incorpora un microprocessador, memòria, etc.; mòduls d'entrada, que bàsicament reben el senyal i les transformen perquè la CPU les pugui interpretar; i les sortides, que proporcionen el senyal al dispositiu que s'està controlant. També incorporen altres components addicionals com podria ser una pantalla per facilitar el control i monitoratge del PLC. De forma addicional, aquests dispositius estan dissenyats per treballar en condicions extremes, amb multitud de vibracions, temperatures variants, sotmesos a camps electromagnètics, entre d'altres [24].

Amb tot això, els PLC són una eina ideal per treballar en un entorn industrial, ara bé, generalment tenen un preu elevat. Per aquest projecte, ja que es treballarà amb condicions ideals de laboratori, no caldrà utilitzar directament un PLC, cosa que augmentaria molt el cost del projecte. En el seu lloc, s'utilitzarà una placa amb

microcontrolador, com pot ser una Arduino, la qual, a l'hora de realitzar un prototipat, pot complir perfectament amb la tasca requerida per a desenvolupar aquest projecte.

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

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

Normalment, els sensors industrials treballen a major voltatge que una placa de tipus Arduino. Una de les opcions que hi ha, és realitzar un divisor de tensió del senyal que surt del sensor i introduir-la al voltatge correcte per a l'Arduino.

Aquest mètode té una sèrie d'inconvenients, el primer és que en cas que es curtcircuités el divisor de tensió, la targeta es trencaria, ja que estaria entrant un senyal amb un voltatge més elevat del permès, i l'altre és que s'ha d'anar amb compte amb el corrent generat pel sensor, perquè normalment aquests poden treballar amb un valor determinat, que en cas de ser superior el trencarien.

Les altres formes serien mitjançant un transistor que actuï com a interruptor, o en cas que es vulgui realitzar de manera totalment aïllada es podria utilitzar un optoacoblador. Aleshores el muntatge, de forma esquemàtica seria com es mostra a la **Figura 3.7**.

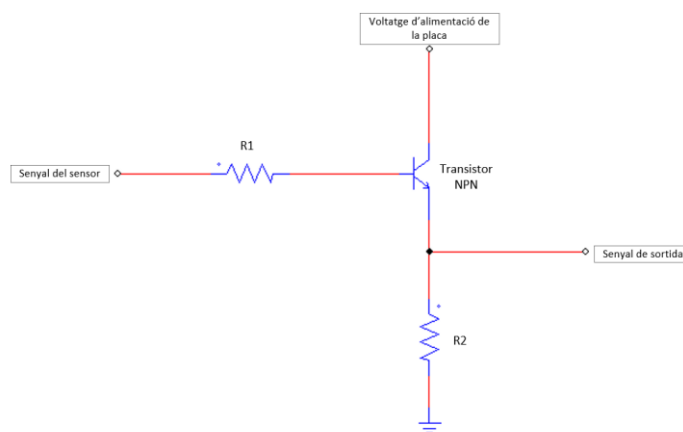


Figura 3.7: Tractament del senyal d'un sensor amb major voltatge. Font: Pròpia.

3.3.2 Control de qualitat

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

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

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

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

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

3.4 Metodologia

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

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

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

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

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

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

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

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

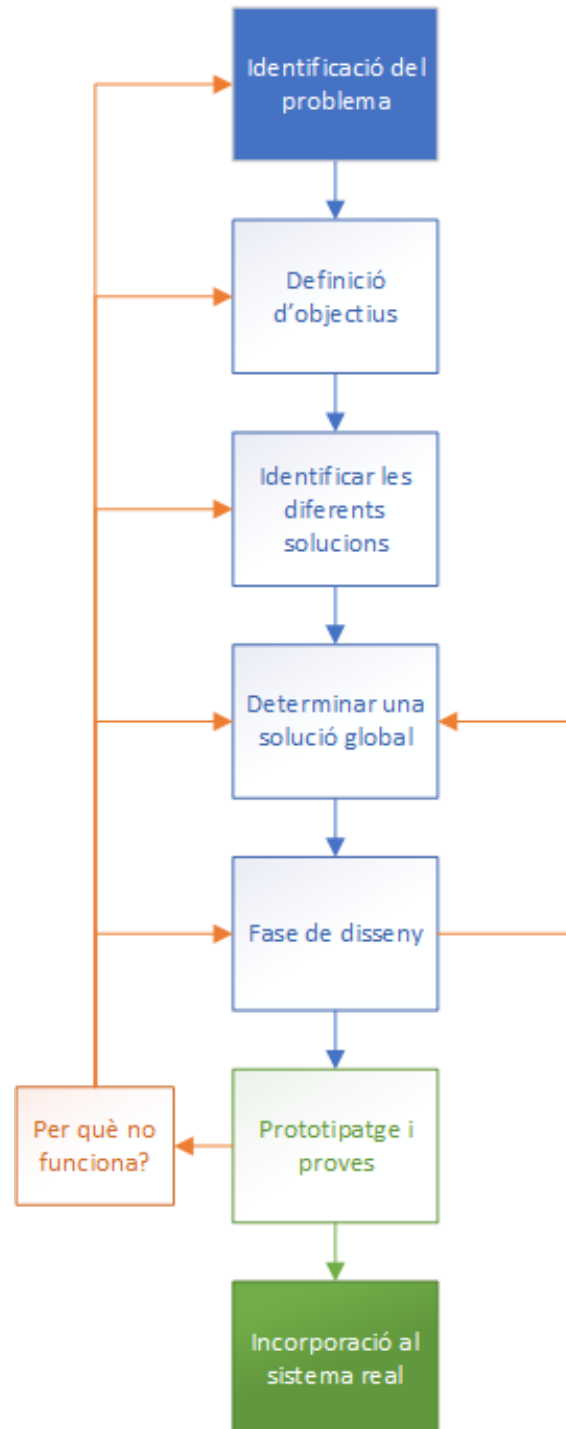


Figura 3.8: Diagrama metodològic. Font: Pròpia.

4. SISTEMA DE DETECCIÓ DE PECES

En aquest apartat es tractarà amb detall la implementació i disseny d'un sistema per la detecció de les peces esmentades anteriorment (Apartat 3. Treball a Realitzar). Primerament s'identificaran els requisits essencials per tal de desenvolupar una solució òptima, a continuació es farà una descripció de tots els components que incorporarà la solució, i finalment es mostrarà el resultat obtingut.

4.1 Requisites

Prèviament, s'ha realitzat una breu descripció i anàlisi de la funció principal que ha de desenvolupar aquest sistema. A partir d'aquí, es pot començar a plantejar quins elements ha d'incorporar la solució final.

Inicialment, sembla evident que, per poder fer una detecció de peces serà necessari obtenir informació de si aquestes peces es troben en el lloc correcte o no. Quan es necessita aconseguir dades del món físic, el primer pas és plantejar-se com s'obtidran aquesta informació.

La manera més habitual i efectiva de fer-ho és amb la implementació de sensors. Existeixen una gran diversitat de sensors enfocats a desenvolupar una funció determinada, aleshores, més endavant s'identificarà quin sensor és el que s'adapta de manera òptima a les necessitats d'aquest projecte.

Però un cop hi ha un mitjà pel qual obtenir aquesta informació és necessari llegir-la, entendre-la i tractar-la, per poder obtenir el resultat desitjat i exercir les respostes pertinents.

Aquest tractament de les dades es farà mitjançant un microcontrolador, el qual permetrà obtenir la informació dels sensors per les entrades, i donar una resposta a les sortides.

Tenint en compte que s'ha de realitzar el monitoratge de dotze peces al mateix temps, es necessitaran dotze sensors, i, per tant, com a mínim dotze entrades al microcontrolador.

Com que aquesta implementació està enfocada al monitoratge, més endavant es tractarà aquest apartat amb més detall.

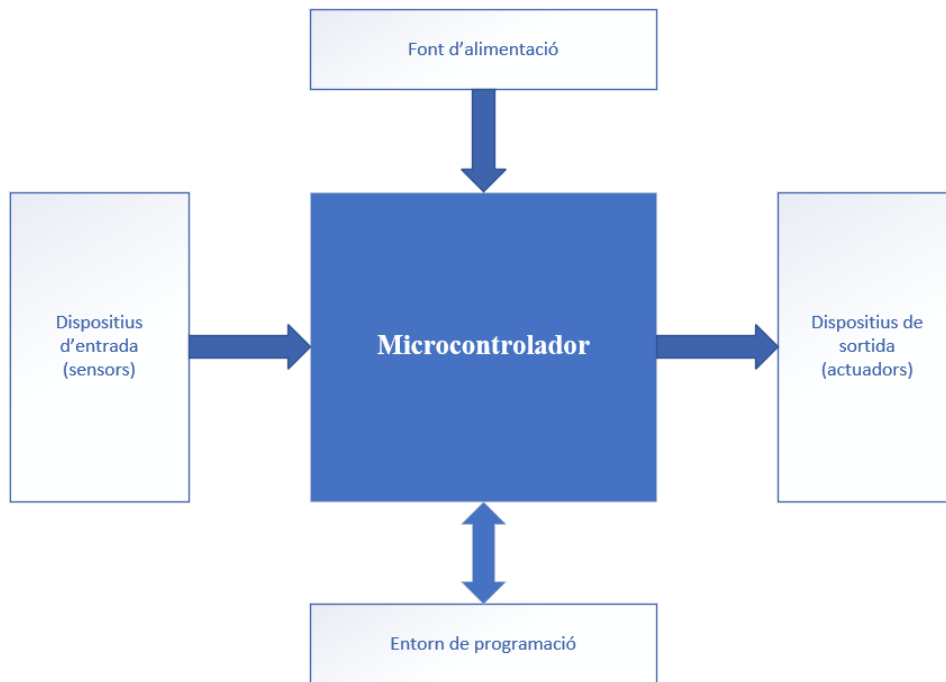


Figura 4.1: Esquema microcontrolador amb E/S. Font: Pròpia.

4.2 Sensors

A l'hora de realitzar el monitoratge de qualsevol procés de producció, l'adquisició de dades és punt de partida. Aquesta adquisició de dades, quan es treballa amb un procés físic, es fa mitjançant sensors, per aquesta raó, és essencial determinar el tipus de sensor que s'adapti a la tasca de la millor forma possible.

Bàsicament, un sensor és un dispositiu sensible a estímuls de l'exterior i té la capacitat de transformar aquests estímuls en impulsos elèctrics.

Existeixen una gran quantitat de sensors diferents que poden resoldre una mateixa necessitat de formes diferents. Cada sensor aprofita propietats físiques específiques per obtenir un senyal de sortida adaptat a un esdeveniment. Per exemple, un sensor inductiu pot detectar objectes metàl·lics mitjançant la inducció de camps electromagnètics.

A partir d'aquí caldrà analitzar i determinar quin tipus de sensor és l'òptim per desenvolupar la tasca que es presenta en aquest projecte.

4.2.1 Tipus de sensors

Tal com s'ha comentat, existeix una gran varietat de sensors, i aquests es poden classificar de formes diferents [25].

- En funció del subministrament d'energia.
 - Passiu: Respon a algun tipus d'entrada de l'entorn físic i impliquen a conversió de la sortida a voltatge. Per exemple una fotoresistència.
 - Actiu: Genera tensió i corrent al senyal de sortida.
 - Actius de tipus 1: Requereixen font d'alimentació.
 - Actius de tipus 2: No necessiten font d'alimentació, són sensors generadors.
- En funció del senyal de sortida.
 - Sortida analògica: La sortida varia de forma contínua.
 - Sortida digital: La sortida varia en passos discrets.
- Segons la relació entre l'entrada i la sortida.
- Segons el principi físic.
 - Capacitiu
 - Inductiu.
 - Resistiu.
 - Etc.
- Segons la magnitud mesurada.
 - Distància.
 - Caudal.
 - Humitat.
 - Etc.

Aquestes classificacions són importants a l'hora de definir completament un sensor, no obstant això, la majoria de vegades, la forma de classificació més útil és mitjançant el tipus de magnitud que hagin de detectar o mesurar.

Això és degut al fet que directament es pot anar a triar un tipus de sensor que sigui capaç de detectar el fenomen que es vol tractar. En aquest cas es vol detectar la presència d'un objecte, aleshores es vol observar el desplaçament o la posició. Basant-se en això es redueix molt la quantitat de sensors disponibles.

Dintre dels sensors de desplaçament els que són més interessants de cara a aquest projecte són els sensors de proximitat. Aquest estan orientats a la detecció d'objectes en distàncies més limitades sense mantenir contacte físic amb l'objecte, utilitzant transductors per la detecció. Són els que tenen les característiques més favorables per a desenvolupar la tasca requerida de forma òptima.

Dintre dels sensors de proximitat existeixen sis tipus principals que es diferencien pel principi físic de funcionament.

- Sensors capacitius.
- Sensors inductius.
- Sensors magnètics.
- Sensors fotoelèctrics.
- Sensors d'ultrasons.

A partir d'aquí, tenint en compte que els objectes a detectar estan fets de plàstic, concretament PVC, es pot descartar directament la possibilitat d'utilitzar sensors de proximitat inductius o magnètics, ja que aquests només poden detectar objectes metàl·lics, i magnètics, respectivament.

Els sensors d'ultrasons tampoc són l'opció més adequada. Aquests estan més enfocats a mesurar la distància a la qual es troba un objecte, i aquests poden detectar objectes més grans com pot ser una paret, cosa que en treballar amb peces petites, pot arribar a generar deteccions errònies. Addicionalment, aquests també es veuen limitats per una distància mínima de detecció, i com que en aquest cas es treballa amb un espai limitat, podria suposar un inconvenient.

Pel que respecta als sensors fotoelèctrics, aquests estan més orientats a detectar o mesurar objectes a distàncies relativament grans. Al mateix temps, ja que treballen amb llum infraroja, l'alineació dels sensors pot arribar a ser complicada. Finalment, com que es necessita realitzar el monitoratge de dotze peces, quan es treballa amb molts sensors en un espai reduït, hi ha la possibilitat que apareguin interferències entre ells.

Amb això queden els sensors de proximitat capacitius. Aquests, a diferència dels inductius, són capaços de detectar metalls i no-metalls, i són especialment adequats per

treballar en distàncies petites, d'ordre de mil·límetres. Al mateix temps, són capaços de treballar en entorns industrials amb vibracions i pols.

Després de fer aquesta breu anàlisi, s'ha decidit utilitzar sensors de proximitat capacitius.

4.2.2 Característiques

A l'hora de definir un sensor, no només s'ha de classificar en un grup dependent del funcionament o del tipus que sigui, sinó que també cal definir-lo de forma més concreta.

Aquesta definició, de la mateixa forma que amb la majoria d'objectes, es fa mitjançant característiques, ja siguin característiques geomètriques, consum energètic, cicle de vida entre altres. Concretament, existeixen tres categories principals amb les quals es poden definir les característiques d'un sensor, la primera categoria és el disseny, la segona les prestacions i l'última, la fiabilitat.

- Disseny [25].
 - Magnitud mesurada.
 - Rang: límits de la magnitud mesurada.
 - Naturalesa: tipus de magnitud mesurada.
 - Característiques elèctriques: es refereixen a les interfícies elèctriques del sensor.
 - Sortida: senyal produït a la sortida en funció de la magnitud mesurada a l'entrada.
 - *End points*: límits dels valors d'entrada del sensor.
 - Impedància d'entrada.
 - Impedància de sortida.
 - Excitació: senyal d'alimentació necessari per activar el funcionament del sensor.
 - Característiques mecàniques.
 - Pes del dispositiu.
 - Identificació: normalment cada model utilitza una nomenclatura específica per identificar-lo.
 - Configuració: mitjançant plànols es defineixen les dimensions i connexions del dispositiu.

- Prestacions [25].
 - Característiques estàtiques: aquestes defineixen el desenvolupament del sensor en condicions normals.
 - Sensibilitat: aquesta és la relació entre el canvi a la sortida i el canvi a l'entrada, aleshores es defineix el pendent de la funció de transferència.
 - *Offset*: és el valor de la sortida quan l'entrada és nul·la.
 - *Threshold*: és el valor mínim de l'entrada pel qual es detecta una sortida.
 - Repetibilitat: és la diferència que apareix a la sortida quan es realitzen dues mesures en les mateixes condicions.
 - Resolució: és el mínim canvi en l'entrada que es pot detectar en la sortida.
 - Histèresi: és la diferència que apareix a la sortida quan els valors s'apropen de forma creixent o decreixent.
 - Linearitat: la similitud de la corba de calibració a una línia recta.

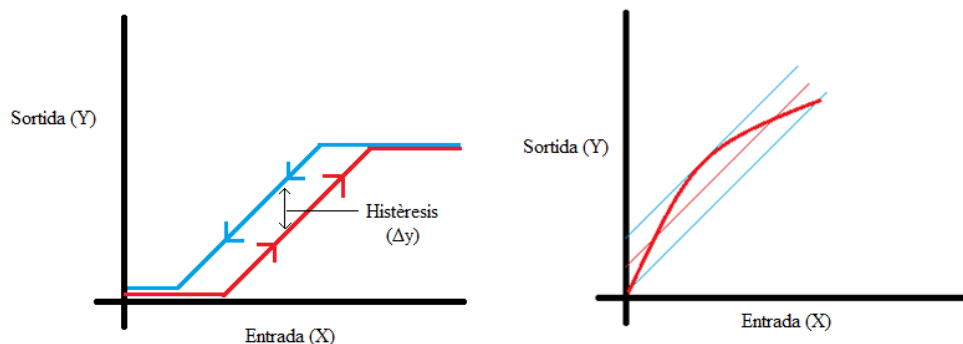


Figura 4.2: Representació de la histèresi (esquerra) i linearitat (dreta). Font: Pròpia.

- Característiques dinàmiques: descriuen com respon el sensor quan apareix una variació en l'entrada.
 - Resposta freqüencial: defineix la resposta del sensor a entrades periòdiques.
 - Resposta transitòria: defineix la resposta del sensor a entrades en salt.
 - Ordre del sistema: en funció de la resposta del sistema pot ser d'ordre zero, de primer ordre o de segon ordre.

- Característiques ambientals: aquestes descriuen el comportament del dispositiu al ser exposat a unes condicions ambientals determinades.
 - Un dels principals factors que afecten a la mesura del sensor és la **temperatura**.
 - També hi ha altres factors com la pressió, humitat, o acceleració i vibració.
- Fiabilitat [25]: amb aquesta característica es defineix la capacitat de realitzar una funció durant un temps establert mitjançant una probabilitat de fallada.
 - Vida de funcionament: és la mínima quantitat de temps durant la qual el dispositiu ha de funcionar de forma contínua o en cicles sense canviar les seves prestacions.
 - Vida d'emmagatzematge: temps durant el qual el dispositiu pot estar emmagatzemat en unes condicions determinades sense que canviïn les seves prestacions.
 - Estabilitat: canvis en les prestacions del sensor en hores, dies o anys.

4.3 Descripció del sensor de proximitat capacitiu

Un sensor de proximitat capacitiu normalment s'utilitza per a la detecció d'objectes amb la finalitat d'obtenir informació sobre un procés i ser capaç d'automatitzar-lo.

Tal com ja s'ha comentat, aquests són capaços de detectar tant materials metàl·lics com no-metàl·lics, o també objectes petits o de baix pes que no es poden detectar amb sensors mecànics. Aquests dispositius són especialment convenients en treballar amb plàstics o per mesurar nivells de líquids. Aleshores les aplicacions principals són:

- Detecció de líquids.
- Recompte de peces.
- Detecció de peces.

4.3.1 Principi de funcionament

El principi de funcionament d'un sensor de proximitat capacitiu està basat en el d'un condensador. Un condensador està format per dues plaques metàl·liques separades per un material aïllant anomenat dielèctric. Aquestes plaques són elèctricament neutres i en connectar una font d'alimentació al condensador, les plaques passen a carregar-se, una, negativament, i l'altre, positivament. Aleshores es crea un camp elèctric que manté la càrrega del condensador.

Es defineix la capacitat d'un condensador per emmagatzemar càrrega elèctrica quan s'aplica un voltatge com a capacitància. I la capacitat d'un material dielèctric d'emmagatzemar càrrega és la constant dielèctrica. Amb això, la capacitat d'un condensador depèn directament de la constant dielèctrica i de la distància entre les dues plaques.

Un sensor capacitiu té quatre elements essencials, un sensor (que és el dielèctric), un oscil·lador, un circuit de detecció i un circuit de sortida. Dintre del sensor hi ha una placa metàl·lica connectada elèctricament a l'oscil·lador i l'objecte a detectar actua com a la segona placa del condensador.

Aleshores, quan un objecte s'apropa al sensor, la constant dielèctrica canvia. Com que la capacitat d'un condensador és directament proporcional a aquesta variable, es pot mesurar la variació de la capacitat quan un objecte entra el camp elèctric del sensor i interpretar-ho com a un senyal d'activació actuant com a interruptor.

Aquest funcionament es pot entendre fàcilment mitjançant l'equació de la capacitat d'un condensador. Aleshores si augmenta l'àrea o la constant dielèctrica, també ho fa la capacitat, però si la distància es fa més gran, aquesta capacitat disminueix.

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A \cdot \frac{1}{d} \quad (4.1)$$

On ϵ_0 és la constant dielèctrica absoluta, ϵ_r la constant dielèctrica relativa, A és la superfície de les plaques, i d la distància.

A mesura que un objecte s'apropa al sensor, les oscil·lacions de l'oscil·lador van incrementant fins que sobrepassen un llindar determinat, activant el senyal de sortida. El *trigger circuit* s'encarrega de monitorar la sortida de l'oscil·lador, i en detectar una

variació suficient activa el circuit de sortida. El circuit de sortida es manté actiu fins que el sensor ja no detecta cap objecte. En aquest moment, l'oscil·lador disminueix la amplitud, i quan passa per sota del llindar d'activació, el *trigger circuit* s'apaga.

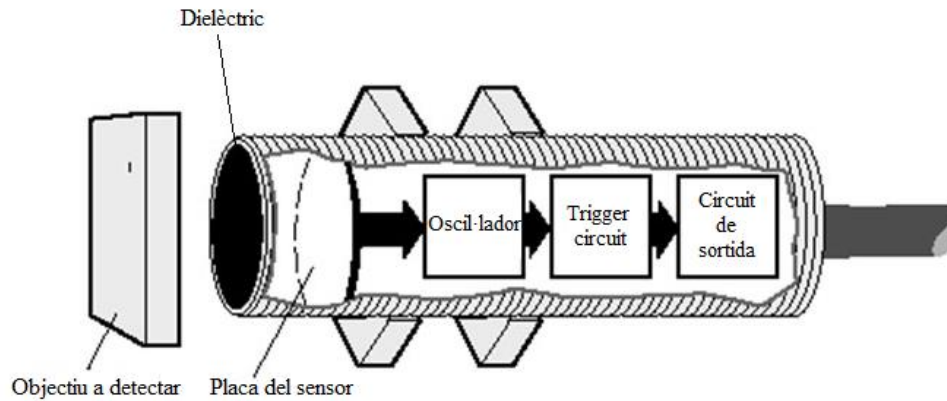


Figura 4.3: Parts bàsiques d'un sensor de proximitat. Font: Pròpia.

4.4 Hardware emprat

A continuació es farà un llistat dels diferents components necessaris per portar a terme el sistema de detecció. Addicionalment, es descriuran les característiques principals de cadascun.

En aquest projecte es vol desenvolupar un prototip funcional, aleshores els components que s'utilitzaran poden variar respecte als components que es poden emprar en un model final. Aleshores molts dels materials usats seran d'una qualitat més baixa amb l'objectiu de minimitzar els costos del prototip.

4.4.1 Sensor de proximitat LJC12A3-5-Z/AX

Tal com s'ha comentat, un dels components més importants seran els sensors, i, després d'analitzar les diferents solucions, s'ha decidit utilitzar sensors de proximitat capacitius.

Específicament el sensor amb el qual s'elaborarà el prototip és el sensor LJC12A3-5-Z/AX de la marca HESCHEN.



Figura 4.4: Sensor de proximitat LJC12A3-5-Z/AX. Font: [26].

Un dels factors més importants a l'hora de triar el sensor, és que aquest ha de tenir unes dimensions reduïdes, ja que l'espai disponible per implementar el dispositiu és limitat. El sensor en qüestió és de la mida M12 (12 mm de diàmetre).

Els paràmetres més importants a tenir en compte són els següents:

Es tracta d'un sensor industrial, aquests estan dissenyats per treballar en condicions extremes amb elevades vibracions, pols, etc., i el seu voltatge d'alimentació és de 10 – 30 *VDC*.

El sensor és de 3 fils, NPN i normalment tancat. Aquests factors s'han de tenir molt presents a l'hora de dissenyar el muntatge del circuit i d'implementar la lògica del programa.

Els sensors industrials típicament tenen tres fils, encara que també hi poden haver de dos fils o més de tres. Quan el sensor és de tres fils, normalment hi ha un de color marró, un de color blau i un de color negre, que s'utilitzen per alimentar el sensor, i per obtenir el senyal de sortida.

Al del color marró es connecta el senyal d'alimentació de 10 – 30 *VDC* i el de color blau es connecta a 0 *VDC*.

Com que el sensor és NPN, la càrrega s'ha de connectar entre el cable marró i el cable negre, aleshores quan el sensor NPN detecta un objecte, apareix una diferència de tensió entre els dos terminals.

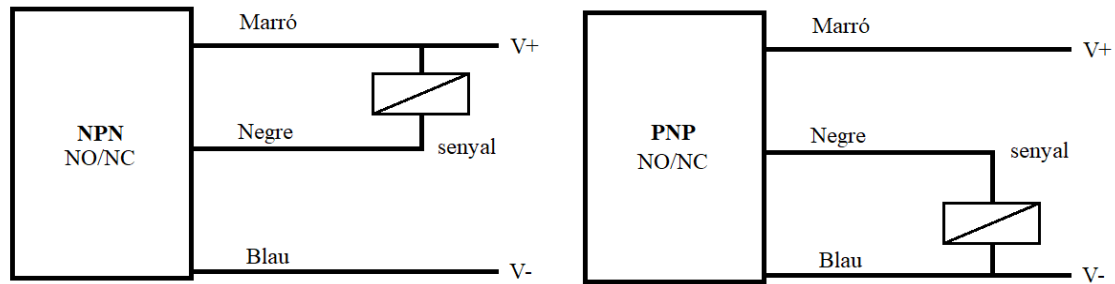


Figura 4.5: Esquema de connexió sensor NPN i PNP. Font: Pròpia.

Adicionalment, com el sensor escollit pel prototip, a part de ser NPN, és també, NC (normalment tancat), en detectar un objecte, en lloc d'aparèixer una diferència de tensió, actuarà de forma oposada. Aleshores, el voltatge entre els dos terminals serà de 0 VDC, i quan no detecti cap objecte, és quan apareixerà aquesta diferència de tensió entre els terminals marró i negre.

4.4.2 Placa de Microcontrolador ESP32-WROVER

El dispositiu de control principal de tot el sistema de detecció és el microcontrolador *ESP32-WROVER*, aquest és un xip de la família SoC (*System on a Chip*), desenvolupat per l'empresa Xinesa *Espressif Systems*. El microcontrolador ve integrat amb la placa de desenvolupament *DEVKIT-C*, dissenyat per encaixar amb una proto-board, facilitant en gran manera la realització de proves i desenvolupament del prototip.



Figura 4.6: *ESP32 Dev Kit C*. Font: [27].

La placa de desenvolupament ja inclou el seu propi regulador de tensió i el controlador serial USB, cosa que permet alimentar el microcontrolador i programar-lo des del connector micro-USB que porta integrat.

Aquest microcontrolador, de la mateixa manera que una targeta Arduino, està basat en la plataforma d'Arduino. Aquesta, és una plataforma de hardware y software de codi obert i destaca pel seu baix cost. Addicionalment, Arduino proporciona un entorn de desenvolupament integrat (IDE) basat en el llenguatge de programació C.

La principal característica per la qual s'ha decidit treballar amb la *ESP32* és que permet establir comunicacions sense fils, sigui mitjançant wifi o Bluetooth. Aquesta és una característica essencial a l'hora de realitzar el monitoratge de les peces de manera remota, sense la necessitat d'afegir mòduls extra.

El voltatge d'alimentació de la placa és de 5 V, i es pot fer mitjançant el port micro-usb, o el pin de *Vin*, no obstant això, tots els pins d'entrades i sortides treballen amb una tensió de 3,3 V. Aquest serà un factor a tenir en compte a l'hora de tractar el senyal del sensor, ja que, aquest últim, treballa a una tensió de 10 – 30 V.

El centre neuràlgic d'aquesta placa és el processador *Xtensa LX6*, que es tracta d'un processador de dos nuclis de 32 bits. D'altra banda, també disposa d'un processador secundari de baix consum que pot realitzar operacions quan el dispositiu es troba en mode *Deep Sleep*. Addicionalment, la velocitat de funcionament del rellotge intern és de 240 Mhz, cosa que el fa ideal per utilitzar-lo en aplicacions de temps real. Per posar-ho en perspectiva, un microcontrolador *Arduino Uno*, té una velocitat de rellotge de fins a 20 Mhz, considerablement menor.

El *ESP32* disposa de dos tipus de memòria, el primer són les memòries internes, que van incloses en el SoC, i el segon tipus són les externes, que en cas que sigui necessari, es poden afegir.

La targeta disposa d'una memòria ROM de 440 KiB. Aquesta memòria és de només escriptura i s'emmagatzemen els codis que gestionen l'engegada del processador, el wifi o el Bluetooth.

També té una memòria SRAM interna de 520 KiB, destinats a emmagatzemar dades o instruccions del processador. L'avantatge principal és, que l'accés a la memòria, comparat amb una externa, és molt més ràpid, augmentant la velocitat de processament.

Disposa d'una memòria RTC SRAM de 16 KiB, utilitzada pel coprocessador per realitzar operacions de baix consum.

Hi ha una memòria Efuse d'1 *Kbit* de la qual 256 *bits* són usats pel mateix sistema, i els 768 *bits* restants es reserven per altres aplicacions.

Finalment, el sistema té una memòria *Embedded flash*, en la qual s'emmagatzema el codi del programa. Aquesta té una capacitat de 4 *MB*, però es pot afegir fins a 16 *MB* de memòria Flash externa.

Respecte els pins digitals, la targeta consta de 36 pins GPIO, però realment només 25 es poden utilitzar per connectar dispositius d'entrada i sortida. La quantitat de pins és molt important ja que pel projecte que s'està tractant es necessiten com a mínim 12 entrades, una per cada sensor.

4.4.3 Optoacoblador PC817

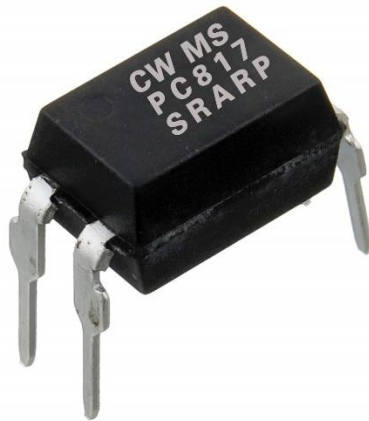


Figura 4.7: Optoacoblador PC817. Font: [28].

Els optoacobladors són components integrats coneguts també pel nom d'aïlladors òptics o foto acobladors. La funcionalitat principal d'aquests dispositius és aïllar elèctricament els circuits als quals es troben connectats.

Aleshores es podria dir que bàsicament es tracta d'un relé d'estat sòlid, que interconnecta dos circuits electrònics separats.

Aquests dispositius són necessaris per dur a terme el projecte mitjançant el microcontrolador seleccionat. Tal com s'ha comentat anteriorment, les entrades i sortides del microcontrolador funcionen amb una tensió de 3,3 *V*, en canvi, els sensors treballen a una tensió de 10 – 30 *V*. Això impedeix que es pugui connectar directament el senyal de sortida del sensor, amb l'entrada del microcontrolador.

Existeixen diverses solucions per resoldre aquest problema, per exemple, es podria crear un divisor de tensió, i treballar amb els valors de tensió adequats. Una altra solució, seria mitjançant la implementació de transistors cosa que també permetria treballar amb els valors de tensió corresponents.

No obstant això, tot i que les dues solucions esmentades són totalment viables, seria més adequat implementar una de més robusta. El principal inconvenient d'aquestes dues opcions, és que, en cas d'una sobre tensió o alguna fallada amb la font d'alimentació, podria arribar a comprometre tot el microcontrolador.

Per aquesta raó, s'ha decidit implementar un optoacoblador, que permet aïllar totalment, el circuit dels sensors, amb el circuit del microcontrolador.

Existeixen diferents tipus d'optoacobladors, per exemple un optoacoblador fototransistor, un optoacoblador fototriac, un optoacoblador fototiristor, entre d'altres. El nom d'aquests dispositius ve assignat segons el component que es troba a la sortida de l'optoacoblador. Com es pot observar a la **Figura 4.8**, a la sortida del primer hi ha un fototransistor, a la sortida del segon hi ha un fototriac i a la de l'últim, un fototiristor.

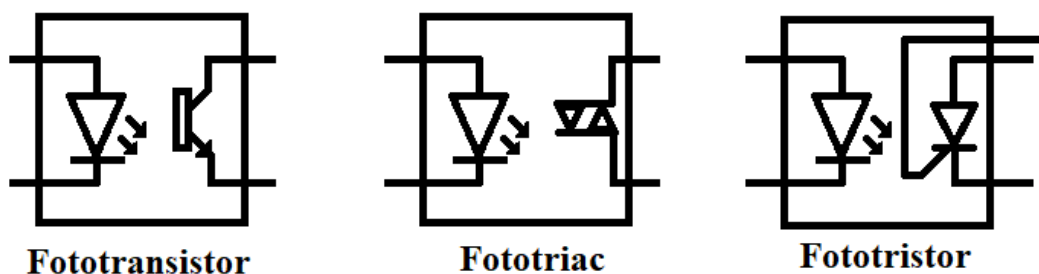


Figura 4.8: Tipus d'optoacobladors. Font: Pròpia.

Per aquest treball s'ha decidit treballar amb un Fototransistor, ja que aquest és ideal per aplicacions d'ús general de corrent continu. Per altra banda, el Fototriac i Fototiristor estan més enfocats al control de càrregues en corrent altern. Aleshores, l'optoacoblador PC817 és un Fototransistor.

L'optoacoblador PC817 consta de dos components essencials, un LED emissor de llum al circuit d'entrada del component o costat primari, i un fototransistor, receptor de llum, a la sortida o costat secundari. Per tant, els terminals del costat primari, es denominen

ànode i càtode, ja que van connectats al LED, i els terminals del costat secundari s'anomenen col·lector i emissor, de la mateixa manera que amb un transistor.

El funcionament es pot resumir de la següent manera. Quan el circuit del costat primari es troba obert, el LED no emet llum i aleshores el fototransistor, en no rebre llum, bloqueja el corrent del circuit de sortida. En canvi, si el circuit d'entrada es troba tancat, i el LED emet llum, el fototransistor permet el pas del corrent pel circuit secundari.

4.5 Connexions del sistema

En aquest apartat es realitzaran les connexions del sistema de detecció, passant per diverses fases de desenvolupament, i es verificarà el seu funcionament implementant un programa simple.

4.5.1 Disseny base

Primerament es realitzarà un disseny i muntatge amb un únic sensor per comprovar el correcte funcionament del circuit.

Els components extra per poder realitzar aquestes proves es llisten a continuació:

- *Proto-board*: aquesta facilita la connexió entre els diferents components i dispositius sense necessitat de realitzar cap soldadura, agilitzant la fase de proves.
- Placa d'extensió GPIO: aquesta placa està específicament dissenyada per treballar amb la *ESP32-WROVER DEVKIT*. La placa d'extensió s'adapta a la perfecció amb la *proto-board* facilitant la connexió i disminuint la quantitat de cables necessaris.
- Cables: en combinació amb la *proto-board*, s'utilitzaran com a connexió entre els components.

Per verificar el seu funcionament s'ha implementat un circuit auxiliar amb un LED per indicar quan el sensor detecta un objecte.

L'alimentació del microcontrolador, que és de 5 V, es fa mitjançant un micro-USB que va connectat directament a l'ordinador. D'aquesta manera, no només s'alimenta la placa sinó que també es podran pujar els programes. Més endavant, quan sigui necessari implementar el sistema de detecció, es farà la connexió directament a 5 V, sense passar per un ordinador.

Per altra banda, tal com s'ha comentat anteriorment, l'alimentació del microcontrolador i del sensor són diferents. La del primer és de 5 V, i la del segon de 10 – 30 V. S'ha decidit utilitzar una font de 12 V, principalment perquè es té a disposició i compleix perfectament amb la tasca a desenvolupar.

S'ha utilitzat un adaptador VCE femella (**Figura 4.9**), per poder connectar els cables d'alimentació del sensor a la font d'alimentació. Aleshores, tal com s'ha comentat anteriorment, al terminal positiu s'ha connectat el cable marró del sensor, i al terminal negatiu el cable blau. Addicionalment, al terminal positiu de l'adaptador, també s'ha connectat un altre cable que s'utilitzarà per connectar l'optoacoblador entre el cable marró del sensor, i el cable negre.



Figura 4.9: Adaptador VCE i connexions. Font: Pròpia.

Els pins que s'utilitzaran per a aquest primer muntatge són els següents:

- Targeta ESP32
 - GPIO 34: senyal de detecció del sensor.
 - GPIO 2: senyal de sortida per LED indicador de detecció.
- Optoacoblador PC817
 - Pin 1 o ànode: voltatge d'alimentació, en aquest cas 12 V.
 - Pin 2 o càtode: cable negre del sensor.
 - Pin 3 o col·lector: alimentació de 3,3 V.
 - Pin 4 o emissor: connectat a GND.

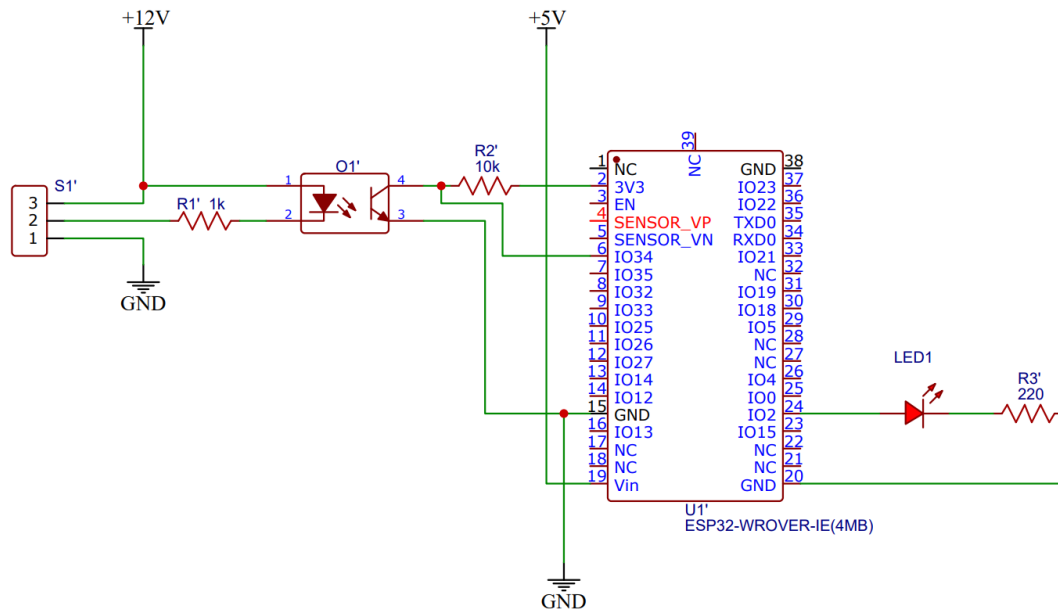


Figura 4.10: Esquema de connexions del disseny base. Font: Pròpia.

Aquestes són les connexions principals, considerant la connexió directa als diferents pins dels dispositius. No obstant això, caldrà regular el valor de la intensitat que circula per cada component mitjançant resistències. Aquestes se situaran en mig de les connexions que sigui necessari.

La primera resistència que es tindrà en consideració és la que va situada al circuit d'entrada de l'optocobrador, és a dir, entre els terminals 1 i 2 del dispositiu.

Consultant la fulla de dades del fabricant del PC817, s'indica que el corrent típic del dispositiu és de $IF = 20 \text{ mA}$, i en cap moment ha d'excedir el valor de $IF = 50 \text{ mA}$.

Considerant que l'alimentació es farà amb 12 VDC , i que la caiguda de tensió del LED és d' $1,4 \text{ V}$, s'obté un valor de resistència de:

$$R1 = \frac{12 \text{ V} - 1,4 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 530 \Omega$$

Com que el sensor també es podria alimentar amb 24 V , i aquest és un valor molt típic, en cas que s'utilitzés aquest valor d'alimentació, la resistència hauria de ser de:

$$R1' = \frac{24 \text{ V} - 1,4 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 1130 \Omega$$

Tot i que l'alimentació que s'utilitzarà durant les proves és de 12 V, s'ha decidit utilitzar resistències de 1000 Ω , per afegir un extra de seguretat. Aleshores els valors de corrent que circulen per l'optocoblador són de:

Per 12 V :

$$I1 = \frac{12 V - 1.4 V}{1000 \Omega} = 10,6 mA$$

Per 24 V:

$$I1' = \frac{24 V - 1.4 V}{1000 \Omega} = 22,6 mA$$

En cas de, més endavant, treballar amb valors d'alimentació de 24 V, seria recomanable augmentar lleugerament el valor de la resistència per protegir l'optocoblador de possibles sobre tensions, de totes maneres 22,6 mA segueix sent totalment correcte com a valor de treball.

Com es pot observar a la **Figura 4.10**, hi ha una resistència de *pull-up* en la connexió que va del pin 4 de l'optocoblador als 3,3 V de sortida de la placa. En tractar-se d'una resistència de *pull-up*, s'ha decidit utilitzar una resistència de 10 k Ω . Generalment, es vol treballar amb una resistència de valor relativament gran, encara que aquest pot variar en funció de l'aplicació. Per aquest cas, i especialment tractant-se d'una fase de prototipatge, una resistència de 10 k Ω realitzarà la funció de forma correcta.

Finalment, per la resistència del circuit auxiliar del LED, només caldrà tenir en compte el valor de corrent màxim que pot suportar el LED.

Al *data sheet* del LED hi ha la següent informació:

LED	Voltage	Maximum current	Recommended current
Red	1.9-2.2V	20mA	10mA
Green	2.9-3.4V	10mA	5mA
Blue	2.9-3.4V	10mA	5mA
Volt ampere characteristics conform to diode			

Figura 4.11: Dades del LED emprat. Font: *Data sheet* del fabricant.

Com que el LED que s'ha utilitzat és el vermell s'obté una resistència de:

$$R3' = \frac{3,3 V - 1,9 V}{0,01 A} = 140 \Omega$$

S'utilitzarà una resistència de 220Ω , que és la més petita que es disposa. Aleshores el valor de corrent que hi ha al circuit és de:

$$I3' = \frac{3,3 V - 1,9 V}{220 \Omega} = 6,36 mA$$

4.5.1.1 Lògica de funcionament

El que es vol aconseguir amb aquest muntatge és obtenir un senyal d'entrada al microcontrolador per identificar quan el sensor detecta un objecte. Aleshores la lògica de funcionament és la següent.

Com que el sensor és NPN i a part normalment tancat, quan aquest no detecta cap objecte apareix una diferència de tensió entre els terminals marró i negre.

Aquesta diferència de tensió, alimenta el costat primari de l'optocobrador, que és on es troba el LED infraroig, encenent-lo. Amb la llum que emet, permet circular corrent pel costat secundari (pins 3 i 4 de l'optocobrador), enviant el pin GPIO 34 a GND, aleshores s'obté un *LOW* en aquest pin quan el sensor no detecta res.

En canvi, si el sensor detecta un objecte, no apareix cap diferència de tensió entre els cables marró i negre, i el LED infraroig no emet cap llum. El fototransistor situat al costat secundari no permet que circuli corrent pel circuit, aleshores la resistència de *pull-up* connectada a $+3,3 V$, tramet aquest valor al pin GPIO 34, obtenint un *HIGH* quan el sensor detecta un objecte.

A partir d'aquí, tractant el valor aconseguit al GPIO 34, es pot monitorar l'estat del sensor. En aquest cas, com es tracta d'una prova, s'ha decidit afegir un petit circuit secundari amb un LED, per identificar quan està detectant o quan no.

Aquest LED vermell es connecta al GPIO 2, aleshores, quan el sensor detecti un objecte, la sortida es posarà a *1*, i quan no, a zero.

4.5.1.2 Programa de comprovació

Per tal de verificar el muntatge, s'ha implementat un senzill programa amb el que s'encendrà el LED vermell del GPIO 2, quan el sensor detecti un objecte.

```
sensor_0.1 $  
  
int Led = 2;  
int sensor = 34;  
  
void setup() {  
  pinMode(Led, OUTPUT);  
  pinMode(sensor, INPUT);  
}  
  
void loop() {  
  if (digitalRead(sensor) == HIGH){  
    digitalWrite(Led, HIGH);  
  }else{  
    digitalWrite(Led, LOW);  
  }  
}
```

Figura 4.12: Programa de verificació. Font: Pròpia.

Un cop es compila i puja el programa a la ESP32, es comprova que el funcionament és l'esperat.

Gràcies a aquest pas s'ha pogut verificar que el muntatge funciona de forma correcta, i s'ha comprovat la integritat de tot el hardware emprat.

4.5.2 Segon disseny

Com que pel prototip només s'ha adquirit un únic sensor, amb el primer disseny només hi ha un senyal d'entrada en comptes de dotze, per aquesta raó s'han incorporat quatre elements més, que simulen l'estat de quatre sensors addicionals. Aquests elements són polsadors, que envien un senyal als pins GPIO del microcontrolador.

El material emprat per aquest disseny és exactament el mateix que pel primer disseny, i l'estructura general i la lògica de funcionament són essencialment idèntiques.

Els pins al quals s'han connectat els polsadors són:

- GPIO 25
- GPIO 26
- GPIO 27
- GPIO 14

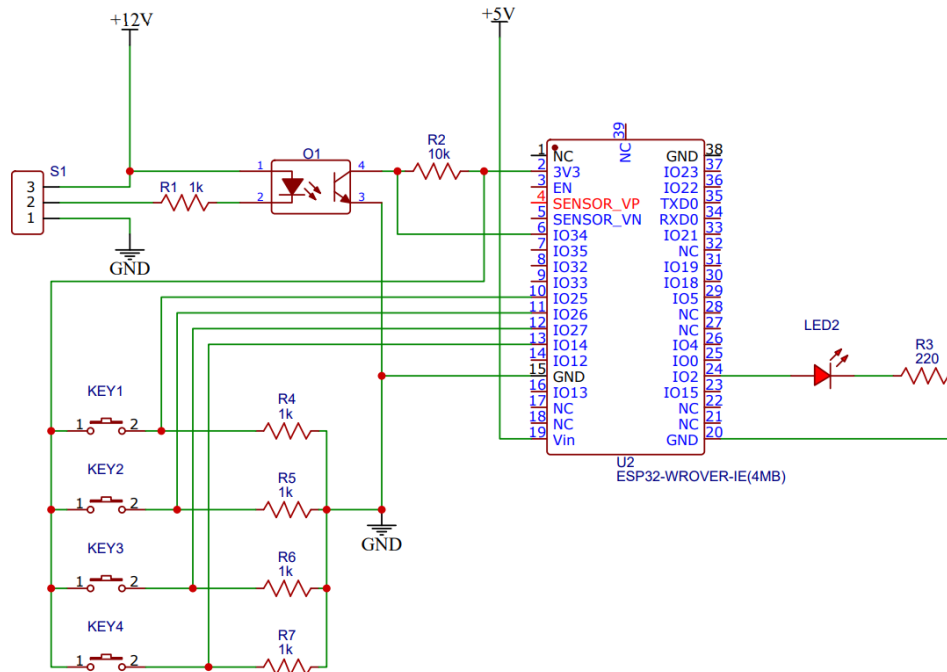


Figura 4.13: Esquema de connexions del segon disseny. Font: Pròpia.

A la **Figura 4.13** es veu com el muntatge manté una part idèntica amb l'addició dels quatre polsadors. Cadascun d'aquests polsadors, tal com s'ha comentat, simula el senyal que rebria el microcontrolador. Aleshores quan es tanquen, emeten un senyal de $3,3\text{ V}$ o *HIGH* a l'entrada corresponent, i quan es deixen de pulsar, és a dir, quan estan oberts, el senyal passa a ser de 0 V , o *LOW*.

Aquest senyal baix s'assoleix mitjançant una resistència de *pull-down* d' $1\text{ k}\Omega$ que es connecta a GND.

Aquest circuit serà el que s'utilitzarà al llarg d'aquest treball, però es tracta només d'un disseny primerenc, per simular una quantitat de senyals major a la d'un únic sensor.

4.5.3 Tercer disseny

El tercer és l'últim dels dissenys que s'ha realitzat, i, a diferència dels anteriors, aquest no s'ha desenvolupat físicament, ja que només es disposa d'un únic sensor de proximitat.

No obstant això, aquest es tracta del disseny final a implementar en el prototip i potser model final.

En ell s'han implementat els dotze sensors amb els dotze optocobladors pertinents així com tots els components addicionals.

S'ha eliminat el circuit secundari amb el LED vermell, ja que no es planeja incorporar-lo en el sistema real.

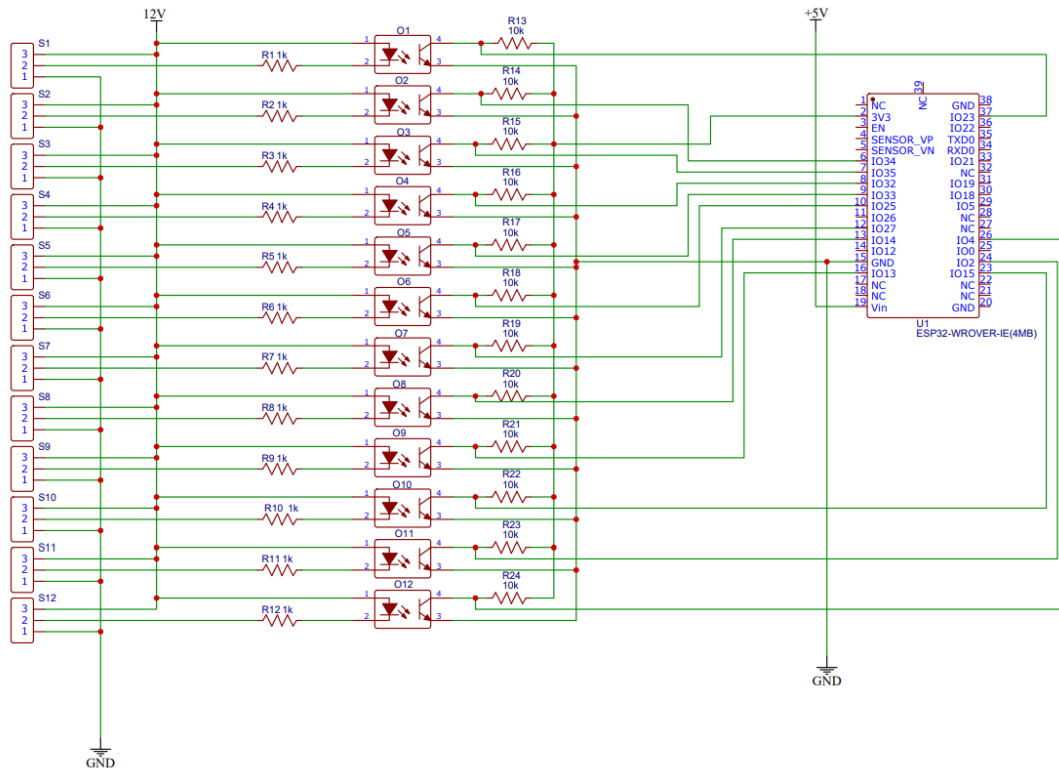


Figura 4.14: Esquema de connexions del segon disseny. Font: Pròpia.

Les entrades GPIO a les quals s'han connectat els sensors són les següents:

- Sensor 1: GPIO 23.
- Sensor 2: GPIO 34.
- Sensor 3: GPIO 35.
- Sensor 4: GPIO 32.
- Sensor 5: GPIO 33.
- Sensor 6: GPIO 25.
- Sensor 7: GPIO 27.
- Sensor 8: GPIO 14.
- Sensor 9: GPIO 13.
- Sensor 10: GPIO 15.
- Sensor 11: GPIO 2.
- Sensor 12: GPIO 4.

L'ordre en que s'ha assignat els sensors als pins del microcontrolador no és determinant, aleshores, en cas que fos necessari, més endavant es podria modificar l'entrada a la que s'ubica cada sensor.

No obstant això, per aquest treball s'ha considerat que aquests són els punts als que s'ha connectat els sensors.

Cal notar que els pins GPIO emprats, s'ha tingut en comte que es poden utilitzar com a entrada. No tots són capaços de ser utilitat com a *input*, per exemple, els pins 6 – 11 no es poden utilitzar ni com a entrada ni sortida ja que van connectats a la memòria flash integrada.

5. MONITORATGE AMB IOT

A continuació es realitzarà i descriurà el desenvolupament del sistema IoT pel monitoratge de les peces, connectant el sistema de detecció de peces dissenyat en l'apartat anterior al núvol.

Primerament, es realitzarà una breu descripció sobre l'IoT i com encaixa amb l'aplicació d'aquest projecte. Tot seguit s'explicarà els passos seguits pel desenvolupament del sistema. I finalment es veuran els resultats obtinguts.

5.1 IoT en l'entorn industrial

Anteriorment, s'ha fet una breu introducció al concepte de IoT i als seus orígens. Aquest essencialment consisteix en la connexió de grans quantitats de dispositius i sensors a internet, de manera que recullen i comparteixen dades, facilitant l'avaluació i explotació de la informació.

Els factors clau que han facilitat el desenvolupament de l'IoT són principalment tres. Processadors de baix cost, gran varietat de sensors de baix cost, i la comercialització de les xarxes sense fils a gran escala [29].

Actualment, qualsevol objecte, per senzill que sigui, es pot connectar a un dispositiu intel·ligent, capaç de recopilar dades i transferir-les a una xarxa, habilitant la possibilitat d'actuar, analitzar, canviar la configuració, etc [29].

Ara bé, aquest IoT, quan s'aplica a la indústria canvia el rol de forma lleugera. L'Internet Industrial de les coses (IIoT) es refereix a sensors, actuadors i altres dispositius interconnectats mitjançant una xarxa, en un entorn industrial, sigui per Internet, o per una xarxa interna. D'aquesta manera, busca augmentar la seguretat i millorar l'eficiència els centres de producció. En lloc de ser un servei pel consumidor com és l'IoT, el IIoT s'enfoca únicament a les persones responsables del procés industrial en específic [29].

A l'hora d'identificar un sistema IIoT, aquests destaquen per la seva estructura per capes, composta per sistemes interconnectats que generen dades per ser analitzades i reaccionar d'acord amb a aquestes. Aquesta estructura és la següent [30]:

1. Al nivell més baix hi ha els Dispositius físics, com podrien ser els sensors, o microcontroladors.

2. Al següent nivell es troba la capa de connectivitat o Xarxa. Aquesta és l'encarregada d'establir la connexió entre els dispositius físics i els servidors.
3. Més amunt es troba la capa dels Serveis. Aquesta capa conté les aplicacions informàtiques que processen les dades obtingudes pels dispositius i transmeses per la xarxa.
4. Finalment, hi ha la capa de Contingut. Aquesta és també una capa física per tal de comunicar els resultats o dades obtingudes amb els operaris.

Adicionalment, en funció de com es realitza el procés de tractament de les dades proporcionades per les *things*, es poden distingir dos nivells.

- *Fog Computing*: en una LAN connectada als dispositius.
- *Edge Computing*: la intel·ligència s'aplica directament als dispositius amb connexions punt a punt.

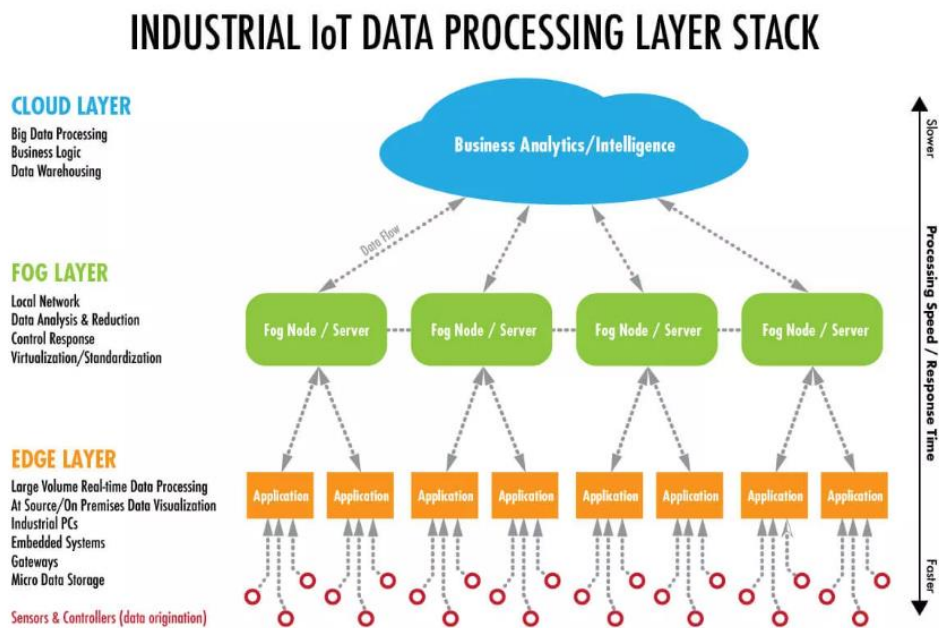


Figura 5.1: Capes de Cloud, Fog i Edge computing. Font: [31].

5.2 Requisites

Quan es vol crear un sistema IoT hi ha una sèrie de components essencials que són necessaris per portar a terme la tasca, però primerament caldrà identificar què forma un sistema d'aquest tipus.

Essencialment, tal com el seu nom indica, un sistema IoT està format per *things* o coses. Aquestes coses poden ser qualsevol mena de dispositiu, però es poden classificar en tres grans grups. El primer són els sensors, seguit dels actuadors i finalment els controladors.

Cadascun d'aquests components funciona en sincronia per obtenir informació del medi, tractar aquesta informació i generar una resposta.

Aleshores, els sensors són els encarregats d'obtenir informació del món físic i transformar-los en dades tractables informàticament.

Els actuadors fan just el contrari, transformant dades informàtiques en una sortida física, amb l'objectiu de controlar un sistema d'acord amb un conjunt d'instruccions.

Finalment, els controladors són el cervell del sistema, recopilant la informació detectada pels sensors i connectant aquesta informació a la xarxa o amb internet. Aquests controladors poden arribar a tenir la capacitat de prendre decisions i enviar ordres als actuadors.

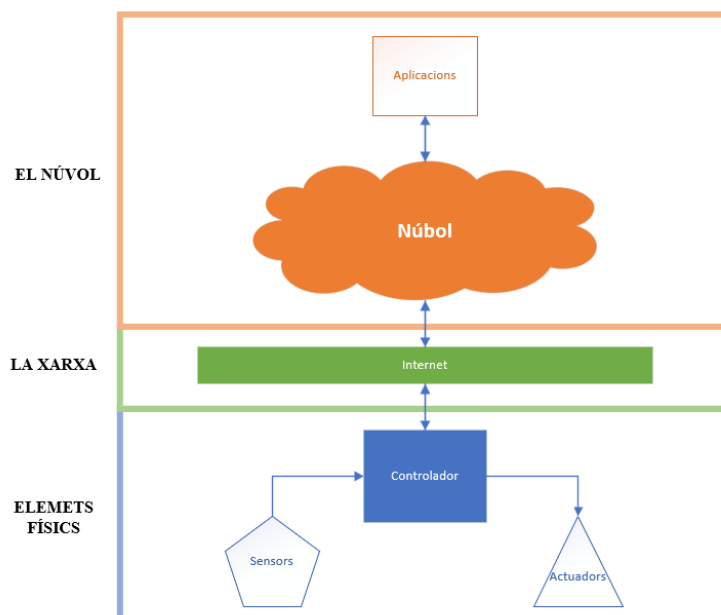


Figura 5.2: Elements bàsics d'un sistema IoT. Font: Pròpia.

Tenint en compte tots aquests factors, cal comparar-ho amb el que es vol dissenyar en aquest projecte.

En aquest projecte es vol implementar un sistema de monitoratge de peces. Aleshores aquest sistema ha de permetre la visualització de les peces que s'han detectat en temps real.

Per fer això caldran sensors i un sistema de control i connexió a internet. Com que no s'ha planejat realitzar cap acció, no serà necessari utilitzar cap mena d'actuadors.

En l'apartat **4. Sistema de detecció de peces**, s'ha dissenyat el sistema físic que permet realitzar la detecció de peces. A l'hora de dissenyar aquest sistema i fer l'elecció dels components, s'ha tingut en compte que, posteriorment, s'hauria d'integrar com a IoT.

D'aquesta manera, l'element de control, és a dir, el microcontrolador, s'ha seleccionat específicament perquè sigui capaç de connectar-se a internet. Anteriorment s'han analitzat les característiques del microcontrolador, i aquesta connexió es fa mitjançant Wifi.

D'altre banda, també existiria la possibilitat d'utilitzar una targeta Arduino clàssica sense connexió wifi, acompanyada d'un *Single board computer* (SBC), com per exemple una Raspberry.

En aquest cas, la connexió a internet es faria mitjançant el SBC, que tindria una connexió serial amb el microcontrolador. Aleshores el microcontrolador s'encarregaria únicament de llegir la informació dels sensors i activar els actuadors, i enviar i rebre aquesta informació de l'ordinador. Això permet executar programes molt més complexos, ja que la capacitat computacional d'un SBC és molt major a la d'un Arduino.

Al mateix temps, l'única forma de re programar o canviar el programa del microcontrolador és mitjanant una connexió física, en canvi, amb la implementació d'un SBC, utilitzant el protocol *firmata*, es podria realitzar la modificació del programa de forma remota.

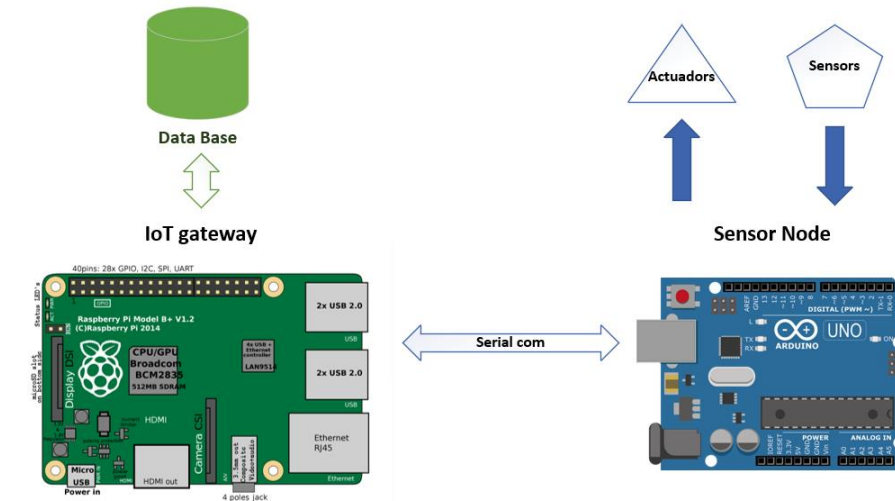


Figura 5.3: Configuració amb Single board computer. Font: Pròpia.

No obstant això, com que per aquest projecte, la quantitat de *things* a controlar és petita, i al mateix temps, es tracta d'una fase de prototipatge, té més sentit utilitzar un microcontrolador amb connexió a internet com el ESP32.

5.3 Protocols de comunicació IoT

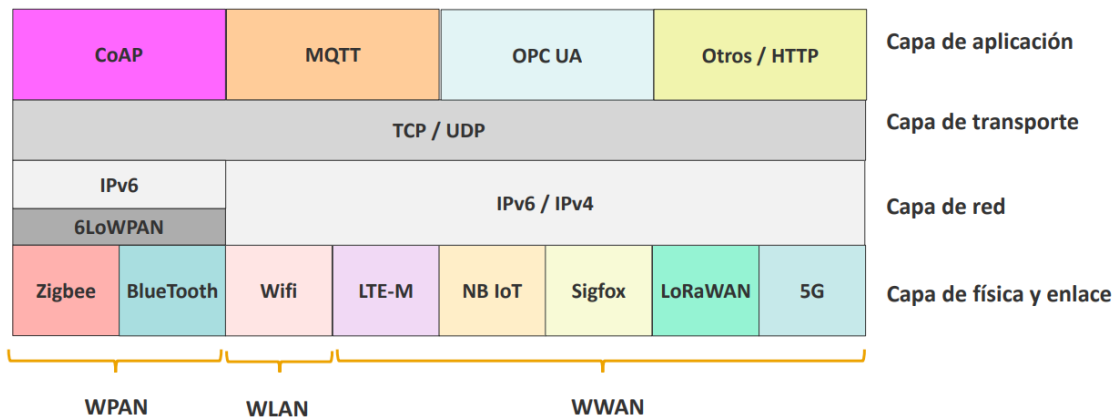


Figura 5.4: Protocols de comunicació separats en capes. Font: [29].

En l'apartat anterior s'han analitzat els requisits especialment a nivell de hardware, no obstant això, un cop es disposa del material necessari per portar a terme la tasca, cal determinar de quina manera es realitzarà la comunicació entre el controlador i el servidor o client.

A l'entorn IoT/IIoT hi ha una gran quantitat de protocols de comunicació que es poden dividir en quatre capes principals. La primera capa és la d'aplicació, seguida per la de transport, la capa de xarxa i finalment la capa física i d'enllaç.

Aquests nivells es defineixen segons el model TCP/IP, el qual essencialment permet la comunicació entre dos ordinadors o dispositius que pertanyen a una mateixa xarxa. Les seves sigles signifiquen Protocol de Control de Transmissió/Protocol d'Internet o *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*.

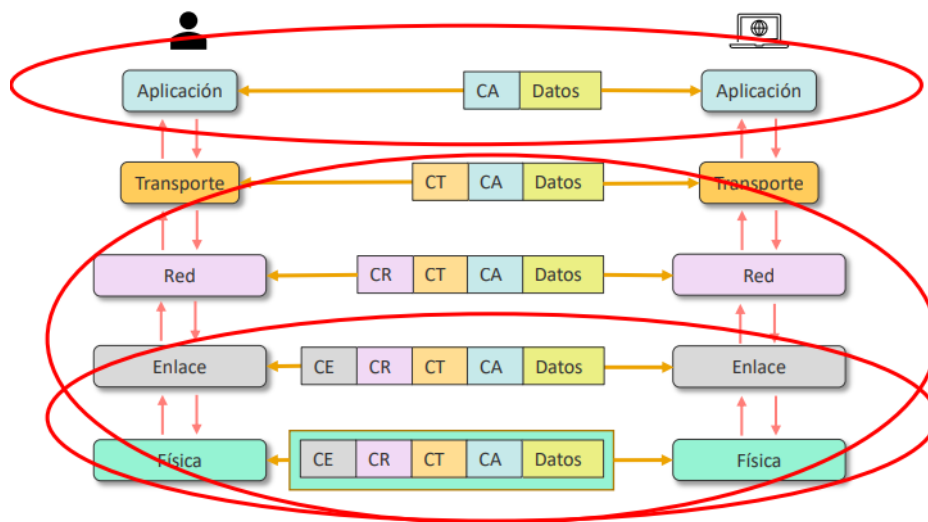


Figura 5.5: Model TCP/IP. Font: [29].

No obstant això, tant TCP/IP com estàndards emprats en IT, no són ideals per treballar amb IoT. La raó principal és que, les *things* són molt diferents dels ordinadors convencionals, ja sigui per la capacitat de processament de dades, memòria, funcions, ubicació, entre d'altres. Per aquesta raó cal redissenyar i adaptar uns protocols que puguin satisfer amb les necessitats de l'entorn IoT [29].

Per aquest projecte s'utilitzarà l'estàndard WLAN, definit al IEE 802.11, dins del qual hi ha moltes variants. Específicament s'utilitzarà una connexió Wifi a 2,4 GHz.

Per contraposició, com que està definida per treballar en un entorn IT, no té en compte les limitacions dels dispositius IoT, aleshores tenen un elevat consum d'energia.

No obstant això, aquesta tecnologia està present en la majoria d'empreses i és molt senzill trobar punts de connexió. També, com que la majoria de dispositius

implementen aquesta tecnologia, fa que hi hagi una constant evolució i millora d'aquesta.

Un exemple d'aquesta evolució és la incorporació de l'estàndard de Wifi per IoT, IEEE 802.11ah / Wifi HaLow, anunciat aquest 2022. La principal característica d'aquest Wifi és el seu baix consum energètic i major distància de connexió [29].

Cal notar que el microcontrolador escollit, el ESP32, a part de connexió Wifi, que és el mètode de connexió escollit, també permet *Bluetooth*, així com la variant BLE (*Bluetooth Low Energy*). Aquest protocol és especialment útil quan es treballa amb IoT a causa de la seva elevada velocitat de connexió i a la capacitat d'entrar en un mode de suspensió quan el dispositiu no transmet informació, disminuint el consum de forma significativa. De totes maneres s'ha optat per treballar amb Wifi ja que aquest permet connectar directament el microcontrolador a internet.

5.3.1 Protocols de capa d'aplicació

La capa d'aplicació és la més propera a l'usuari final, i, com a tal, s'encarrega de proporcionar la comunicació entre les aplicacions i la resta de la xarxa. Aleshores, ha d'especificar el protocol de comunicació per ser capaç d'intercanviar informació entre els programes que executen els servidors d'origen i destí.

Dins de l'entorn IoT, també hi ha protocols de la capa d'aplicació dissenyats específicament per treballar de forma òptima. Aquests es poden separar en dos grups principals, MOM (*Message-orientated middleware*) i RESTful (*Representation State Transfer*) [29].

Els de tipus MOM es basen en l'intercanvi de missatges que es van emmagatzemant en cues fins que el receptor és capaç de llegir-los. Com que aquest tipus de protocols són asíncrons no són ideals quan es volen tractar aplicacions en temps real. Dintre d'aquesta categoria hi ha protocols com l'MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), que és el més utilitzat, AMPQ (*Advanced Message Queuing Protocol*), i DDS (*Data Distribution Service*) [29].

Per contrapart, els de tipus RESTful està basat en el model de client-servidor compartint recursos en la xarxa. Amb aquest model la comunicació es realitza amb pregunta-resposta, on, el client fa la pregunta i és el servidor el que respon. Els principals

protocols són CoAP (*Constrained Application Protocol*) o HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) [29].

5.3.1.1 MQTT

MQTT és un protocol MOM basat en la publicació/subscripció, i és un dels més utilitzats en l'entorn de l'IoT. Una de les principals característiques que el fan ideal per treballar amb aquestes aplicacions és que es tracta d'un protocol lleuger, el qual permet gastar poca bateria i ample de banda.

Com que forma part del grup MOM està basat en un model de comunicació asíncrona mitjançant missatges. El concepte principal és que una aplicació anomenada publicador, envia missatges a cues, anomenades tòpics, per ser llegides per altres aplicacions anomenades subscriptors.

Aleshores el protocol MQTT té tres components principals, *publishers*, *subscribers* i un *broker*. Ja s'ha comentat que els *publishers* envien missatges, els *subscribers* els reben, i el *broker* té la funció de servidor, gestionant totes les cues de missatges que envien els publicadors. D'aquesta manera els subscriptors no s'han de connectar als publicadors, només cal que es connectin al *broker*, i que s'apunti a llegir els tòpics que li interessin [29].

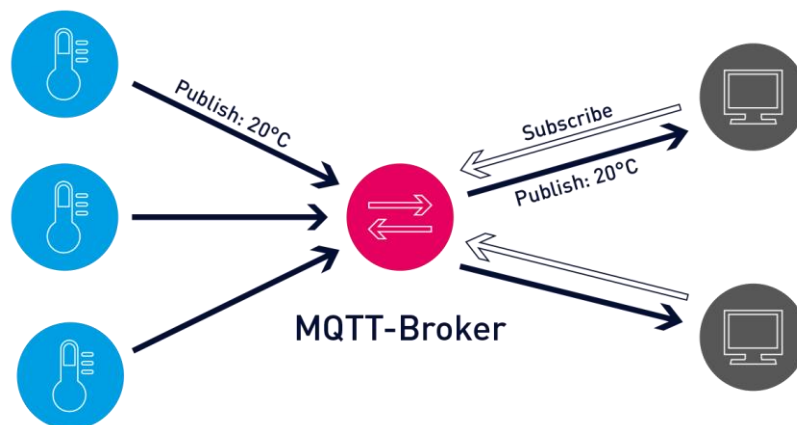


Figura 5.6: Esquema protocol MQTT. Font: [32].

5.3.1.2 CoAP

CoAP, tot i que, principalment pertany al grup de protocols de tipus RESTful, també pot treballar amb missatges asíncrons com els protocols MOM. Encara no està completament estandarditzat.

Es basa en HTTP, però orientat a baix consum energètic, encara menor que amb MQTT. Comunica un client amb un servidor, aleshores no és multi client amb multi servidor [29].

El funcionament és molt semblant al de HTTP però de forma simplificada. Amb CoAP, un node client pot dirigir a un altre node mitjançant un paquet CoAP. El servidor interpretarà aquest paquet, extraurà la informació, i prendrà una acció d'acord amb la lògica del paquet [33].

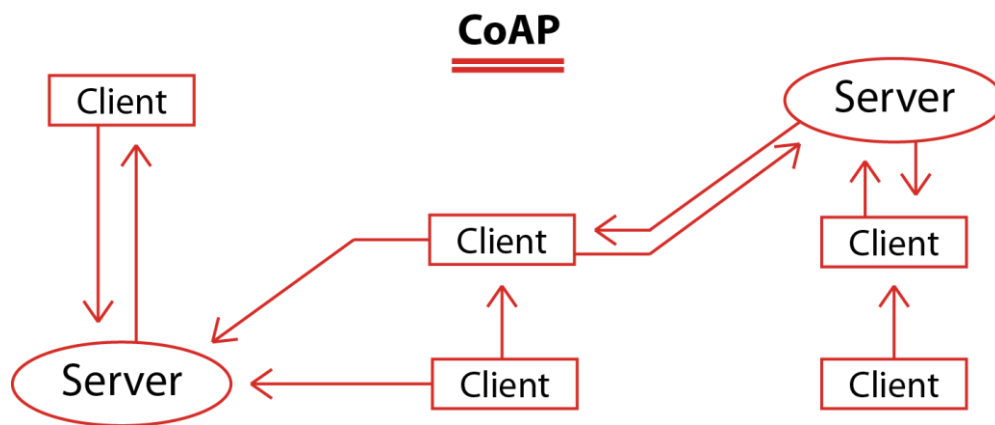


Figura 5.7: Protocol CoAP. Font: [33].

5.3.1.3 Protocol emprat

Tot i que s'han repassat dos dels protocols més potents a l'hora d'implementar-los per una aplicació de IoT, no s'ha optat per cap dels dos, finalment decantant-se per protocol HTTP.

Tot i que MQTT està orientat per aplicacions IoT, oferint consums molt baixos i la possibilitat de connectar molts dispositius de forma senzilla mitjançant el sistema de publicació/subscripció, aquest protocol no ofereix tanta flexibilitat com HTTP i tampoc està tan estès.

Amb CoAP, com que encara no s'ha estandarditzat per complet, s'ha decidit no utilitzar-lo.

Com que en aquest projecte les dades recollides en el monitoratge s'enviaran directament a un servidor, HTTP aconsegueix de forma correcta amb els requeriments i ofereix una solució adequada.

5.4 Estructura

A l'hora de trobar una solució per desenvolupar el sistema de monitoratge de peces amb IoT no hi ha una de sola.

Una de les solucions més senzilles, però totalment efectiva, que compliria amb la funció desitjada, seria utilitzar una aplicació de IoT de tercers com per exemple Arduino IoT Cloud, Samsung Artik Cloud, aREST Framework, etc.

Aquestes plataformes estan enfocades a la connectivitat d'objectes, especialment dissenyades per treballar amb dispositius Arduino. Entre aquestes plataformes es poden trobar diverses versions que poden ser gratuïtes o de pagament, que a mesura que incrementa la quota mensual, permeten afegir més dispositius, més espai d'emmagatzematge, entre d'altres.

No obstant això, per obtenir un major nivell de flexibilitat i personalització, es crearà un IoT cloud des de zero.

Per fer això caldrà disposar d'una part física del sistema, que seran els sensors i el microcontrolador ESP32, i una part virtual per emmagatzemar les dades recollides, i poder-les mostrar connectant-se a una pàgina web des de qualsevol lloc.

Aleshores el procés comença per l'adquisició de dades des del sistema de detecció físic, ja dissenyat. A partir d'aquí, caldrà enviar aquestes dades a un servidor, mitjançant la connexió wifi del sistema físic.

A la part del servidor, es rebran les dades i, mitjançant php, s'emmagatzemaran a una base de dades. Php (Hipertext Preprocessor) és un llenguatge de programació de codi obert especialment adequat pel desenvolupament web, podent ser incrustat en HTML, treballant en el back-end.

Una base de dades essencialment s'encarrega d'emmagatzemar qualsevol tipus de dades, ja siguin contrasenyes, emails, noms d'usuari, etc. Aquestes dades s'emmagatzemen en taules les quals estaran compostes per files i columnes. A les columnes es separen les diferents variables de la informació a emmagatzemar, i en les files s'introdueix els diferents valors de les dades que es volen emmagatzemar. El model més habitual de les bases de dades és el Relacional conegut també com a SQL (*Structured Query Language*).

Per la base de dades s'utilitzarà *MySQL*, un sistema de gestió de bases de dades de codi obert, que és la més popular a tot el món. L'inconvenient principal d'aquestes bases de dades, és que l'eina nativa per accedir a elles i modificar-les, és mitjançant la línia de comandes.

Per facilitar la gestió de la base de dades s'utilitzarà *phpMyAdmin*, una eina gratuïta dissenyada per administrar *MySQL* a través de la web. Aquesta permet fer les operacions més comunes a través d'una interfície molt més adaptada a l'usuari, i al mateix temps encara ofereix la possibilitat d'utilitzar el llenguatge *SQL*.

Un cop s'ha creat la base de dades, es poden actualitzar els valors d'aquesta en funció de la informació que es rebí del món físic. Aquesta informació emmagatzemada, aleshores, pot ser llegida i mostrada en una pàgina web, utilitzant, principalment, *HTML*.

Finalment, per veure l'estat del *hardware*, només caldrà accedir a la pàgina web, on es mostrarà la informació necessària.

Aquesta estructura es pot visualitzar a la **Figura 5.8**.

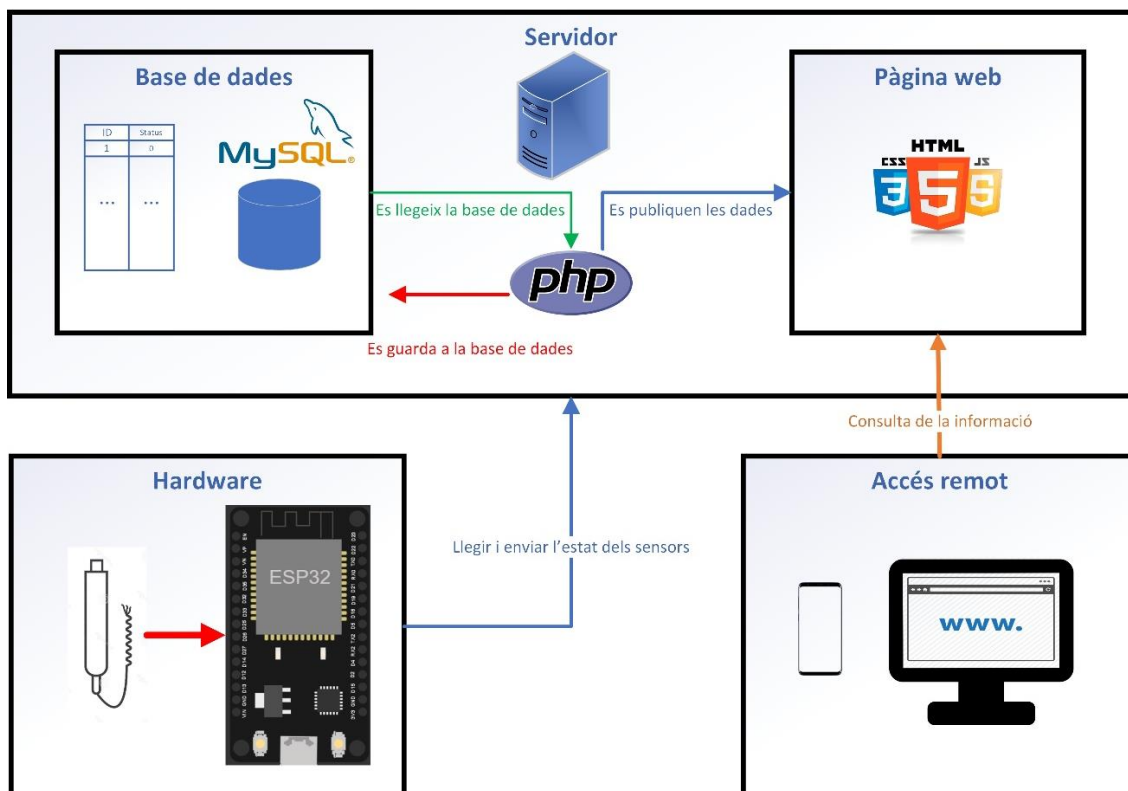


Figura 5.8: Esquema de l'IoT cloud. Font: Pròpia.

5.5 Desenvolupament

A continuació es descriurà el procés, així com el funcionament a nivell detallat, de tot el sistema d'enviament de dades al servidor i lectura d'aquestes. També es tractarà la configuració del servidor i la base de dades i la creació d'una pàgina web bàsica per la interpretació dels resultats.

5.5.1 Configuració del servidor

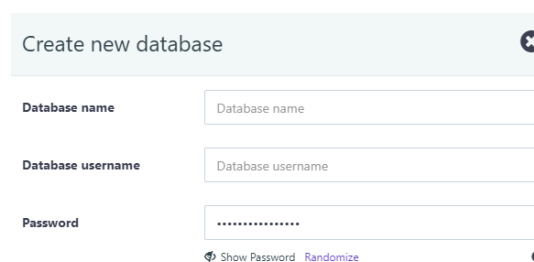
El primer de tot que es farà és obtenir el servidor sobre el qual treballar. Per fer això es recorrerà a un servei de *hosting* web que inclogui funcions de *MySQL* i *PHP*. Específicament s'ha decidit utilitzar un servei de *000webhost*, que ofereix aquests serveis de manera gratuïta, aleshores pel desenvolupament i la realització de proves del prototip és ideal.

Més endavant, en cas de ser implementat hi hauria la possibilitat de crear la base de dades en un altre servidor.

Com ja s'ha comentat, aquest servei inclou funcions de base de dades de *MySQL*, que es gestionen mitjançant *phpMyAdmin*. Aleshores, quan es comença un servidor web nou, s'assigna una direcció, sobre la qual estarà la pàgina web, i al ser totalment nova, es trobarà buida.

Les eines principals que s'utilitzaran són, l'administrador d'arxius, que permetrà introduir el codi que gestiona les dades i la interfície de la pàgina web, i el gestor de la base de dades, el qual permetrà crear noves bases de dades.

Quan es crea una nova base de dades, a aquesta se li ha d'assignar un nom, un nom d'usuari i una contrasenya. Hi ha un paràmetre addicional que es el *host* de la base de dades. Aquests paràmetres s'utilitzaran per realitzar la connexió a la base de dades des de la pàgina web, i poder accedir a la informació guardada.



The image shows a web form titled "Create new database". It has a light blue header with the title and a close button (an 'x' in a circle). Below the header are three input fields: "Database name", "Database username", and "Password". The "Password" field is currently filled with dots. At the bottom of the form, there are two links: "Show Password" and "Randomize".

Figura 5.9: Camps identificatius d'una base de dades. Font: Pròpia.

Per la base de dades d'aquest projecte s'han introduït els següents paràmetres, que també es mostren a la **Figura 5.10**.

- Nom de la base de dades: *id19028354_sensormonitoring*.
- Nom d'usuari de la base de dades: *id19028354_adri*
- Una contrasenya.
- Servidor de la base de dades: *localhost*, aquest ve per defecte.

DB Name	DB User	DB Host
id19028354_sensormonitoring	id19028354_adri	localhost

Figura 5.10: Paràmetres de la base de dades. Font: Pròpia.

Un cop s'ha creat la base de dades, si s'accedeix a la zona de configuració de *phpMyAdmin*, es pot comprovar com s'ha creat.

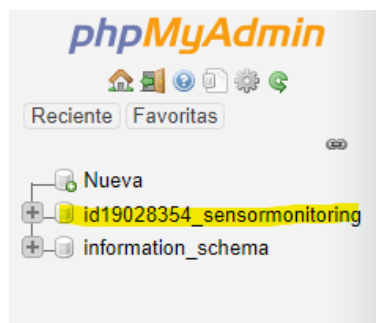


Figura 5.11: *phpMyAdmin*, base de dades creada. Font: Pròpia.

Des de la zona de configuració ara es poden crear les taules que seran les que continguin la informació sobre l'estat dels sensors. La primera taula que caldrà crear servirà per emmagatzemar l'estat actual dels sensors, és a dir, si detecten un objecte o no. El nom de la taula serà *LED_status*.

Com que hi ha dotze sensors, la taula tindrà dotze files i, ja que cal saber si el sensor està encès o apagat, tindrà dues columnes, una per indicar quin sensor és, tindrà el nom de *id*, i una altra per saber si el sensor detecta o no detecta, s'anomenarà *status*. Si el sensor detecta un objecte, el seu *status* serà 1, en cas contrari, 0.

+ Opciones				id	status
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	1	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	3	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	4	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	5	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	6	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	7	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	8	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	9	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	10	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	11	0
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	12	0

Figura 5.12: Taula de la base de dades dels sensors. Font: Pròpia.

Adicionalment, resultaria molt interessant ser capaç de distingir entre, el moment en que el robot està subjectant les peces a manipular, i en el que no està subjectant cap peça, d'aquesta manera no importa si els sensors no detecten cap quan no hi ha cap.

Per fer això caldrà crear una nova taula. Aquesta taula s'anomenarà *Subj_status*. Com que només tindrà un senyal, serà una taula d'una fila, i tindrà les mateixes columnes que per la taula anterior, *id* i *status*. L'*status* podrà prendre només els valors d'1, en cas que s'estiguin subjectant les peces, o 0 si no s'estan subjectant.

+ Opciones				id	status
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	1	0

Figura 5.13: Taula de la base de dades de la subjecció. Font: Pròpia.

5.5.2 Comunicació de la pàgina web amb la base de dades

Abans d'establir la comunicació entre microcontrolador i el servidor, es configurarà la comunicació entre la pàgina web i el servidor.

Primerament caldrà crear un arxiu en php, anomenat *index.php*. Aquest arxiu és l'esquelet de qualsevol pàgina web, i en ell es combina codi php i HTML. Per fer la comunicació amb la base de dades caldrà utilitzar les credencials introduïdes a la creació de la base de dades.

Aleshores, amb php, es pot fer una connexió a una base de dades mitjançant la funció `mysqli_connect`. Aquesta funció necessita el nom del servidor, el nom d'usuari de la base de dades, la contrasenya i el nom de la base de dades.

```
1 <?php
2
3 $servername = "localhost";
4 $dbUsername = "id19028354_adri";
5 $dbPassword = "*****";
6 $dbName = "id19028354_sensormonitoring";
7
8 $conn = mysqli_connect($servername, $dbUsername, $dbPassword, $dbName);
```

Figura 5.14: Connexió a la base de dades. Font: Pròpia.

Amb això, quan es vulgui fer una connexió a la base de dades, es podrà fer mitjançant `$conn`.

A partir d'aquí, utilitzant llenguatge SQL es pot obtenir la informació emmagatzemada a la base de dades. Per exemple, si es vol conèixer l'estat en el que es troba el sensor 1, caldrà posar les següents instruccions:

```
18 $sql = "SELECT * FROM LED_status WHERE id = '1'";
19 $result = mysqli_query($conn, $sql);
20 $row = mysqli_fetch_assoc($result);
```

Figura 5.15: Llegir estat del sensor 1 de la base de dades. Font: Pròpia.

La primera línia, guarda a la variable `$sql` la instrucció de seleccionar el valor de l'estat en el que es troba l'objecte amb `id = 1`, que és el sensor 1.

A continuació, es fa una consulta a la base de dades amb la funció `mysqli_query`, amb la qual primer es fa la connexió a la base de dades amb `$conn` i s'envia la consulta introduïda a la variable `$sql`.

Finalment, mitjançant la funció `mysqli_fetch_assoc`, es s'emmagatzemen els valors de la fila del sensor 1.

Ara, per comprovar si hi ha comunicació, es crea una pàgina web senzilla en la qual, si el valor del sensor 1 en la base de dades és 0, aparegui, "no detecta", en cas contrari, que aparegui, "detecta".

Per fer això, dintre del codi HTML de la pàgina web, s'introdueix en php, la següent condició:

```

<div id="main">
  <?php
  if($row['status'] == 0){?>
    <div class="header3">
    <h1 style = "font-size:15px;">No Detecta</h1>
    </div>

    <?php
    }

  else{ ?>

    <div class="header2">
    <h1 style = "font-size:15px;">Detecta</h1>
    </div>

  <?php
  }
  ?>

```

Figura 5.16: Condició detecta/no detecta. Font: Pròpia.

Am això només cal pujar l'arxiu *index.php* al servidor web i realitzar la comprovació.

Name	Size
.htaccess	0.4 kB
.htpasswd	0.1 kB
index.php	6.6 kB

Figura 5.17: Arxiu *index.php* al servidor web. Font: Pròpia.

Accedint a la pàgina web, es pot comprovar com ja no està buida, i com que el valor de la base de dades pel sensor 1, és 0, apareix el següent missatge:

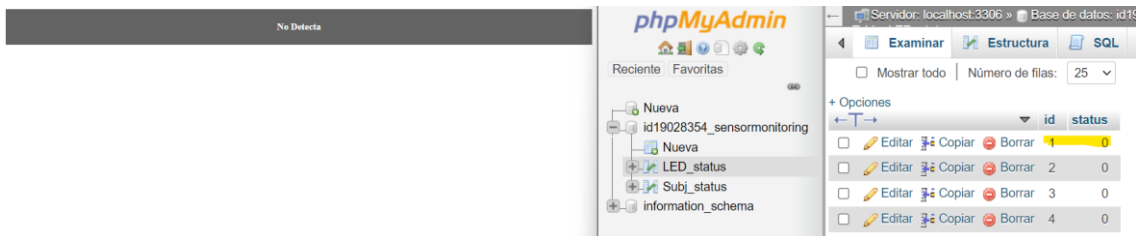


Figura 5.18: Comprovació amb "No detecta". Font: Pròpia.

En canvi, si es canvia manualment el valor de la base de dades, de 0 a 1, la pàgina web mostra el següent:

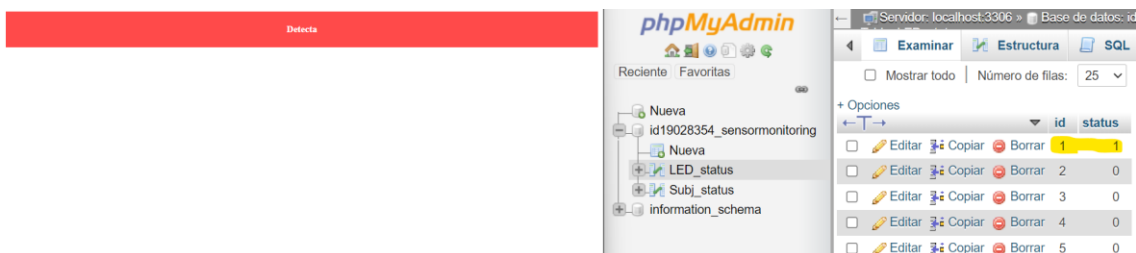


Figura 5.19: Comprovació amb "Detecta". Font: Pròpia.

5.5.3 Comunicació entre el microcontrolador i la base de dades

Un cop s'ha establert la comunicació entre la base de dades i la pàgina web, caldrà tenir la capacitat d'actualitzar la informació de forma automàtica des de la interfície física, és a dir, quan un sensor detecti un objecte, que actualitzi el seu valor a la base de dades a un 1, i si no detecta cap, a un 0.

Per fer això, com ja s'ha comentat anteriorment, és necessari disposar de tot el hardware que compleixi amb els requisits específics, especialment, que el microcontrolador pugui establir connexió a internet.

A partir d'aquí, per realitzar totes les proves i desenvolupament d'aquesta part, s'utilitzarà el Segon disseny, presentat a l'apartat 4.5.2. Aquest permetrà modificar cinc valors de la base de dades directament des de la interfície física, i addicionalment s'afegirà una entrada pel senyal de subjecció (*Subj_status*).

Els cinc valors els modificaran un sensor de proximitat capacitiu (tractat amb detall a l'apartat. 4. SISTEMA DE DETECCIÓ DE PECES), i quatre pulsadors. El funcionament dels pulsadors serà el següent. En cas de ser premuts, simularan que el sensor ha detectat un objecte, i en estat de repòs, que no hi ha cap objecte.

Per poder realitzar aquesta comunicació seran necessàries dues parts principals. La primera és el codi del microcontrolador, el qual s'encarregarà de llegir les entrades per interpretar l'estat dels sensors, i posteriorment enviar, mitjançant una connexió HTTP, un missatge amb aquest estat al servidor web.

La segona part és el codi que hi haurà al servidor web per interpretar els missatges que envia el microcontrolador. Un cop s'hagin interpretat i llegit els missatges s'actualitzarà la base de dades.

5.5.3.1 Codi del microcontrolador

Tal com s'ha comentat, el codi del microcontrolador tindrà la tasca de llegir l'estat de les entrades a les quals estan connectades els sensors, i enviar aquest estat al servidor web.

Pel desenvolupament d'aquest codi s'ha utilitzat l'IDE (*integrated Development Enviroment*) d'Arduino. Aquest ofereix un conjunt d'eines de software les quals permeten desenvolupar tot el codi necessari per fer funcionar un microcontrolador

Arduino o qualsevol altre compatible. Aquest ofereix una gran varietat de llibreries que són de gran ajuda a l'hora de crear un projecte.

Per aquest treball, les llibreries que s'ha fet servir són *HTTPClient.h* i *WiFi.h*, dues llibreries específicament dissenyades per treballar amb el microcontrolador ESP32, les quals poden ser implementades amb l'IDE d'Arduino.

```
//Llibreries necessàries
#include <HTTPClient.h>
#include <WiFi.h>
```

Figura 5.20: Llibreries pel microcontrolador. Font: Pròpia.

La llibreria *HTTPClient*, permet establir una connexió HTTP amb el servidor i enviar i rebre dades mitjançant peticions ja siguin de *GET*, *POST* o *PUT*. En aquest cas, com que només caldrà trametre informació cap al servidor, s'utilitzaran, principalment, peticions de *POST*, la qual s'utilitza per enviar dades o arxius a un servidor.

Per altra banda, la llibreria *WiFi* permet realitzar una connexió a la xarxa directament des del microcontrolador.

Després d'incloure les llibreries, s'han definit els paràmetres que es faran servir. Els dos primers s'usaran per fer la connexió wifi, aleshores serà necessari emmagatzemar les credencials wifi, és a dir, el nom de la xarxa, i la contrasenya.

Tot seguit es defineixen tres variables. La primera s'emprarà com a missatge a trametre al servidor, té el nom de *data_to_send*. Les dues següents s'utilitzaran com a *delay* pel bucle principal, aquest serà útil per donar marge d'operació entre que es fa la comunicació, s'envia la informació i es guarda.

Cal definir aquestes variables, ja que no es farà ús la funció *delay()*. Tot i que aquesta tindria el mateix funcionament, quan s'executa aquesta operació, el programa queda bloquejat en aquesta línia fins que passa el període de temps indicat. En canvi d'aquesta funció, s'usarà *millis*, la qual permet saber els mil·lisegons que han passat des de l'inici del programa, i fent la comparació amb les dues variables que s'han definit, es pot afegir un retard al bucle principal sense deixar el programa bloquejat.

Finalment, es definiran els pins als quals van connectades les entrades i sortides. Ja s'ha comentat que en total hi haurà cinc dispositius que actuaran com a sensors *sensor_1*,

sensor_2, etc., que aniran als pins 34, 27, 14 26 i 25 respectivament. Un senyal per indicar si s'està subjectant els colzes al pin 22. I, de manera addicional, un LED, connectat al pin 2.

```
//Per la connexió wifi
const char* ssid = "Nom Wifi";           //Add your WIFI network name
const char* password = "*****";        //Add WIFI password

//Definició de variables
String data_to_send = "";                //Informació a enviar al servidor
unsigned int Actual_Millis, Previous_Millis;
int refresh_time = 1000;                 //Refresh rate of connection to website

//Definició d'entrades i sortides
int subj = 22;
int sensor1 = 34;
int LED = 2;
int sensor2 = 27;
int sensor3 = 14;
int sensor4 = 26;
int sensor5 = 25;
```

Figura 5.21: Definició de variables del programa del microcontrolador. Font: Pròpia.

A partir d'aquest punt ja es pot començar a definir la configuració del programa o *setup*. En aquesta part es definirà el funcionament de les entrades i sortides definides anteriorment, aleshores caldrà especificar quin és el mode de funcionament del pin al qual estan assignades, si actuen com a entrades o com a sortides. Després d'això s'inicialitzarà la connexió a la xarxa wifi mitjançant les credencials inscrites anteriorment introduint-les a la funció *WiFi.begin()*. Per facilitar la visualització del procés de connexió, es pot consultar al monitor sèrie de l'editor l'estat en què es troba. Es pot veure que mentre no es realitzi la connexió s'aniran escrivint punts suspensius, i quan finalment s'estableixi la connexió amb la xarxa wifi, al monitor sèrie es veurà el missatge un missatge amb la IP del microcontrolador.

Finalment, s'inicialitzaran les variables *Actual_Millis* i *Previous_Millis* a zero, que, com s'ha explicat anteriorment, s'utilitzaran per fer una espera al bucle principal.

```

void setup() {
  delay(10);
  Serial.begin(115200);
  //Funcionament de les entrades i sortides
  pinMode(LED, OUTPUT);
  pinMode(subj, INPUT);
  pinMode(sensor1, INPUT);
  pinMode(sensor2, INPUT);
  pinMode(sensor3, INPUT);
  pinMode(sensor4, INPUT);
  pinMode(sensor5, INPUT);

  WiFi.begin(ssid, password);          //Comença la connexió wifi
  Serial.print("Connecting...");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { //Es comprova la connexió
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.print("Connected, my IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Actual_Millis = millis();
  Previous_Millis = Actual_Millis;
}

```

Figura 5.22: Set up del programa del microcontrolador.. Font: Pròpia.

Un cop s'ha finalitzat tota la configuració, fa falta programar el cos principal del programa, format pel *loop* o bucle. Aquesta part, tal com indica el seu nom, és la que es va repetint de forma reiterada i és en la qual es desenvolupen les funcions principals del codi com pot ser canviar l'estat d'un dels ports GPIO o enviar senyals.

Anteriorment, en la part de definició de variables, s'ha comentat que s'implementarà un retard a cada iteració del bucle per donar un marge d'operació dels senyals tramesos. Per fer aquest *delay* es compara el temps actual amb el temps de la iteració anterior, i si aquest és major a 1 segon, es poden tornar a dur a terme les funcions principals.

Un cop s'ha complert amb aquest temps d'espera, en cas que el microcontrolador hagi sigut capaç de connectar-se a la xarxa wifi, s'inicialitzarà una comunicació HTTP amb la funció *http.begin()*. En aquesta funció s'afegeix l'adreça web amb la direcció d'un arxiu que interpretarà els missatges tramesos per actualitzar la base de dades, aquest es tractarà més endavant amb detall. Li segueix la funció *addHeader()*, amb la qual s'especifica el format amb què s'enviarà la informació.

Finalment, com que hi ha contrasenya per accedir a qualsevol directori del servidor, és necessari adjuntar l'autenticació amb la funció `setAuthorization()`, que inclou les credencials d'accés, nom d'usuari i contrasenya.

```
//S'utiliza millis en canvi de delay;
Actual_Millis = millis();
if(Actual_Millis - Previous_Millis > refresh_time){
  Previous_Millis = Actual_Millis;
  if(WiFi.status()== WL_CONNECTED){ //Primer es comprova la connexió wifi
    HTTPClient http;
    http.begin("https://sensormonitoring123.000webhostapp.com/updateDB.php"); //S'indica el destí
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
    http.setAuthorization("admin", "admin123");
```

Figura 5.23: Primera part del bucle d'Arduino. Font: Pròpia.

La segona part del bucle conté el procés d'enviament de dades al servidor web. El primer que es fa és comprovar si s'estan subjectant les peces, aleshores es mira si el pin *subj* es troba en estat baix. Si és així, s'emmagatzema a la variable *data_to_send* el missatge *off*, i tot seguit, s'envia fent un POST mitjançant la funció *http.POST*. Com que no s'estan subjectant les peces, no caldrà tenir en compte l'estat en què es trobin els sensors. Addicionalment, s'apaga el LED físic de control que hi ha a la *protoboard*.

En canvi, si l'utilatge està subjectant les peces, el pin *subj* estarà en estat alt. D'aquesta manera la informació a enviar serà *on*. Es tramet de la mateixa manera que pel cas anterior.

Per aquest cas si caldrà monitorar l'estat de cada sensor, en total cinc per aquest cas. Si es detecta que l'estat del sensor és alt, és a dir, està detectant una peça, s'enviarà la informació al servidor de *on_LED*. Addicionalment, s'encendrà el LED físic.

En cas contrari, s'enviarà el missatge de *off_LED*, i s'apagarà el LED físic. A partir d'aquest punt, el servidor interpretarà els missatges tramesos i es modificarà la base de dades de forma pertinent.

Caldrà repetir aquest procés tants cops com sensors hi hagi, com en el sistema físic hi ha cinc sensors, un real i quatre simulats per polsadors, s'escriurà quatre cops més.

```

if (digitalRead(subj) == LOW){
  data_to_send = "off=";
  http.POST(data_to_send);           //Es defineix el missatge que s'enviarà al servidor i s'envia
  digitalWrite(LED, LOW);
}

else if (digitalRead(subj)== HIGH){
  data_to_send = "on=";
  http.POST(data_to_send);           //Es defineix el missatge que s'enviarà al servidor i s'envia
  if(digitalRead(sensor1) == HIGH){ //Si el sensor 1 detecta un objecte s'enviarà un senyal
    data_to_send = "on_LED=";
    http.POST(data_to_send);         //Es defineix el missatge que s'enviarà al servidor i s'envia
    digitalWrite(LED, HIGH);        //Addicionalment s'encén un led físic
  }
  else if(digitalRead(sensor1) == LOW){ //Si el sensor 1 no detecta cap objecte s'enviarà un senyal
    data_to_send = "off_LED=";
    http.POST(data_to_send);         //El missatge en aquest cas canvia, i indica que s'ha d'apagar el led
    digitalWrite(LED, LOW);         //I s'apaga un led físic
  }
}

```

Figura 5.24: Segona part del bucle d'Arduino. Font: Pròpia.

Un cop s'han realitzat totes les accions corresponents al bucle, es tancarà la connexió http amb la funció *http.end()*. També a la següent il·lustració es pot veure com, en cas que no s'estableixi connexió amb la xarxa wifi s'escriurà un missatge pel monitor sèrie.

5.5.3.2 Codi del servidor web

Fins ara s'ha tractat la comunicació entre el microcontrolador i la base de dades des del punt de vista del primer.

Aleshores s'ha desenvolupat un programa que permet, en funció de l'estat que tinguin els sensors, enviar un missatge mitjançant una connexió HTTP amb el servidor web. Aquest missatge té l'objectiu d'indicar quin estat té el sensor, i que el valor corresponent a cada sensor variï en funció del missatge rebut.

En el subapartat anterior, **5.5.3.1**, s'ha comentat de manera breu que la connexió HHTP es realitzava mitjançant una direcció al servidor amb un arxiu que s'encarregaria d'interpretar els missatges. Per tant, és necessari desenvolupar un arxiu php el qual tindrà la funció de llegir els missatges enviats i modificar el valor de la base de dades d'acord amb aquests missatges. Aquest arxiu s'anomenarà *updateDB.php*.

Primerament, de la mateixa manera que anteriorment, s'afegirà a la capçalera del document la connexió amb la base de dades *MySQL* que s'utilitzarà per llegir i modificar els valors d'aquesta. Com que la base de dades és la mateixa, tots els paràmetres de connexió seran idèntics.

```
1 <?php
2
3 $servername = "localhost";
4 $dbUsername = "id19028354_adri";
5 $dbPassword = "*****";
6 $dbName = "id19028354_sensormonitoring";
7
8 $conn = mysqli_connect($servername, $dbUsername, $dbPassword, $dbName);
```

Figura 5.25: Connexió a la base de dades MySQL. Font: Pròpia.

A partir d'aquí es comprovarà quin missatge s'ha enviat amb la sol·licitud POST, primer per la part de la variable subjecció (*off/on*) i després els LEDS (*on_LED/off_LED*).

En cas que el missatge enviat sigui *off*, es farà una connexió amb la base de dades, i es comprovarà l'estat de *Subj_status*. Si el valor emmagatzemat és 1, s'actualitzarà el valor de la base de dades amb la instrucció *UPDATE* i fent referència a la taula de *Subj_status*, que és la s'encarrega de guardar l'estat en el qual es troba l'utilatge, subjectant o no subjectant.

En canvi, si el valor que hi ha a la base de dades és 0 i es reb *off*, no s'actualitzarà el valor. Si l missatge que s'ha enviat des del microcontrolador és *on*, succeirà el mateix però a la inversa, posant el valor de la base de dades a 1.

```
11 if (isset($_POST['off'])) {
12     $sqlS = "SELECT * FROM Subj_status WHERE id = '1'";
13     $resultS = mysqli_query($conn, $sqlS);
14     $rowS = mysqli_fetch_assoc($resultS);
15     if($rowS['status'] == 1){
16         $update = mysqli_query($conn, "UPDATE Subj_status SET status = 0 WHERE id = 1;");
17         echo "subj_is_on";
18     }
19 }
20 }
21
22
23 else {
24     $sqlS = "SELECT * FROM Subj_status WHERE id = '1'";
25     $resultS = mysqli_query($conn, $sqlS);
26     $rowS = mysqli_fetch_assoc($resultS);
27     if($rowS['status'] == 0){
28         $update = mysqli_query($conn, "UPDATE Subj_status SET status = 1 WHERE id = 1;");
29         echo "subj_is_on";
30     }
31 }
32 }
```

Figura 5.26: Actualització de la base de dades. Font: Pròpia.

El mateix procés es seguirà per canviar els valors de la base de dades dels sensors, fent una comprovació prèvia del valor actual del sensor a la base de dades, i en cas de que calgui modificar-lo, actualitzar el valor. En aquest cas, els missatges enviats són *on_LED* o *off_LED*, i els valors es troben a la taula de la base de dades *LED_status*.

```

33
34 ▼ if (isset($_POST['off_LED'])) {
35     $led_id = $_POST['off_LED'];
36     $sql = "SELECT * FROM LED_status WHERE id = '1';";
37     $result = mysqli_query($conn, $sql);
38     $row = mysqli_fetch_assoc($result);
39 ▼     if($row['status'] == 1){
40         $update = mysqli_query($conn, "UPDATE LED_status SET status = 0 WHERE id = 1;");
41         echo "LED_is_off";
42     }
43
44 }
45
46
47 ▼ else {
48     $led_id = $_POST['on_LED'];
49     $sql = "SELECT * FROM LED_status WHERE id = '1';";
50     $result = mysqli_query($conn, $sql);
51     $row = mysqli_fetch_assoc($result);
52 ▼     if($row['status'] == 0){
53         $update = mysqli_query($conn, "UPDATE LED_status SET status = 1 WHERE id = 1;");
54         echo "LED_is_on";
55     }
56
57 }

```

Figura 5.27: Actualització de la base de dades pels Sensors. Font: Pròpia.

Un cop es puja aquest arxiu al servidor web, es pot realitzar el mateix procés que a l'apartat 5.5.2 i comprovar com el missatge que apareix a la pàgina web canvia quan el sensor de proximitat detecta un objecte i quan no, de manera automàtica. D'altre manera, també es pot veure com els valors de la base de dades varien en funció de l'estat del sensor.

5.5.4 Àrea de visualització

Fins ara, la pàgina web que s'ha dissenyat només és capaç de mostrar l'estat d'un dels sensors, per això es realitzaran modificacions amb l'objectiu de ser capaç de mostrar l'estat de dotze sensors, i fer-ho d'una manera clara i entenedora.

La zona de visualització constarà d'una imatge de l'utilatge dissenyat, sobre el qual hi haurà dotze indicadors. Aquesta imatge permetrà identificar de forma ràpida la posició de cada sensor i relacionar-la amb el sistema físic de forma directa.

Els indicadors dels sensors variaran la seva imatge en funció de l'estat. Quan el sistema no està subjectant cap peça apareixerà un senyal que indicarà "*stand by*", i tots els indicadors dels sensors es posaran en color gris.

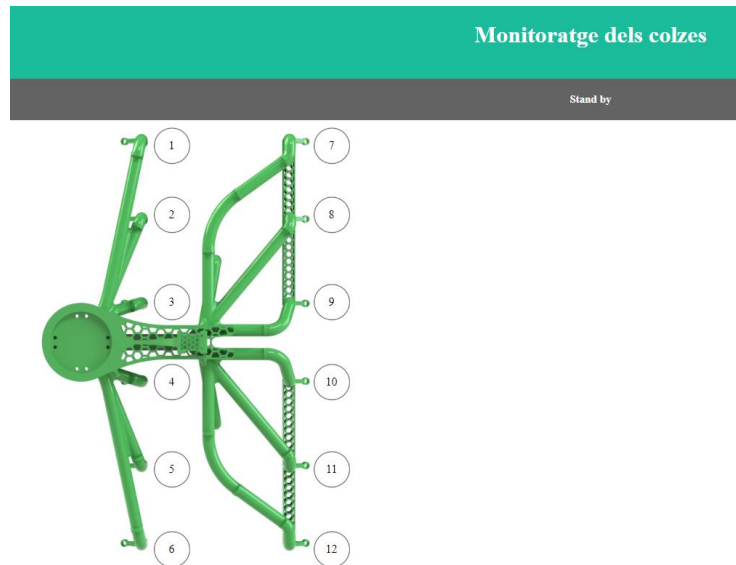


Figura 5.28: Àrea de visualització en *stand by*. Font: Pròpia.

En canvi, si el sistema està subjectant les peces, apareixerà un senyal en vermell amb el missatge “*subjectant colzes*”, i els indicadors dels sensors passaran a estar en color vermell. Durant aquesta etapa, si un dels sensors deixa de detectar un objecte, el sensor en particular canviarà la seva imatge. En la imatge que es mostra a continuació, tots els sensors menys el número 1 estan detectant un colze.

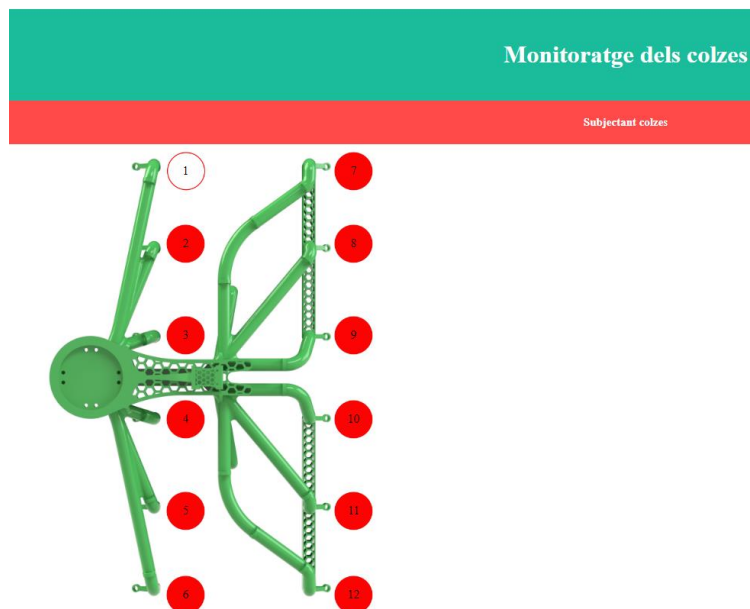


Figura 5.29: Àrea de visualització detectant colzes. Font: Pròpia.

Finalment, s'ha afegit un *script* amb el llenguatge de programació JavaScript per actualitzar periòdicament la pàgina web, d'aquesta manera es veuen els canvis d'estat dels sensors de forma automàtica. S'ha establert un període de dos segons.

```
<script type="text/javascript">
$(document).ready (function () {
    var updater = setTimeout (function () {
        $('div#main').load ('index.php', 'update=true');
    }, 2000);
});
</script>
```

Figura 5.30: Script per actualitzar la pàgina web. Font: Pròpia.

Per fer aquest script s'ha utilitzat la llibreria jQuery que és ideal per treballar amb JavaScript en documents HTML.

```
82 <head>
83     <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.7.0/jquery.min.js" type="text/javascript"></script>
84     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
85 </head>
```

Figura 5.31: Importar llibreria jQuery. Font: Pròpia.

6. IMPLEMENTACIÓ DE VISIÓ ARTIFICIAL

En aquest apartat es plantejarà la possibilitat de fer el control de qualitat mitjançant tècniques de visió artificial. Per això, primerament es farà una introducció sobre què és la visió artificial i els conceptes principals, seguidament tractaran els diferents enfocaments específics per tractar el problema, i es desenvoluparà un programa que permeti mesurar els colzes a partir d'una imatge. Finalment s'analitzaran els resultats.

6.1 Introducció

La visió artificial o visió per computador (*computer vision*) és un camp científic multidisciplinari que consisteix en la captació i processament d'imatges amb l'objectiu d'oferir un guiat operatiu als dispositius durant l'execució de les seves funcions, sigui per aplicacions industrials o no industrials (educatives, governamentals o militars).

Aleshores bàsicament es podria definir com la capacitat de proporcionar a un sistema la capacitat de prendre decisions en funció del que estan veient. D'aquesta manera, s'intenta suplir les mancances que tenen els sistemes sensorials tradicionals com per exemple, sensors infrarojos, o de proximitat, per desenvolupar tasques més complexes.

Ara bé, quan la visió artificial s'ha d'aplicar a la indústria, si es compara amb l'educativa, els requeriments són més exigents, especialment a nivell de robustesa, fiabilitat i estabilitat. En canvi, en comparació amb la militar, és necessari que tingui un cost més reduït. Aleshores els principals reptes de la visió artificial aplicada a la indústria són, oferir un sistema precís, resistent, amb elevada fiabilitat i estabilitat mecànica, a un cost baix.

Les tasques principals que tracta un sistema de visió artificial es poden separar en quatre grups:

- **Adquisició** d'imatges.
- **Processament** d'imatges
- **Anàlisis** d'imatges.
- **Comprensió** d'imatges digitals.

6.1.1 Visió artificial amb IA

Ja des de fa molts anys es van començar a implementar sistemes de visió artificial per processar imatges i reconèixer característiques bàsiques mitjançant algorismes. Aleshores, les tasques que eren capaços de desenvolupar eren relativament simples on les formes havien de ser previsible i seguir un patró bàsic.

Actualment, gràcies al gran desenvolupament de la capacitat computacional dels sistemes així com la possibilitat d'integració d'aquests mitjançant IoT, hi ha hagut una fusió de la visió artificial amb la intel·ligència artificial (IA), fins al punt en què es pot considerar la visió per computador com un camp de la IA.

La IA permet expandir els algorismes de visió per ordinador clàssics mitjançant xarxes neuronals, i tècniques de *deep learning* les quals proporcionen una millora de la precisió i velocitat així com la possibilitat de treballar en moltes més aplicacions.

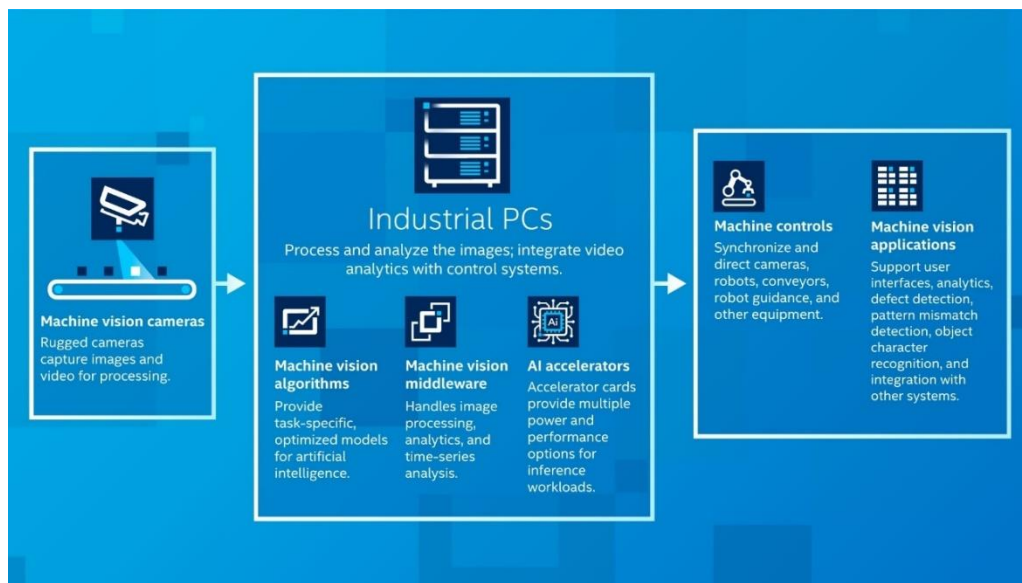


Figura 6.1: Sistema industrial de visió artificial. Font: [34].

Actualment, juga un rol molt important desenvolupant tasques d'inspecció industrial, ja sigui dimensional com superficial, reconstrucció d'objectes 3D, biometria facial, captura de moviment, videovigilància o seguretat en infraestructures crítiques.

6.1.2 Avantatges de la visió artificial

Els sistemes de visió artificial ofereixen una gran quantitat d'avantatges si es comparen amb sistemes sensorials convencionals, com poden ser sensors de proximitat, ja que aquests són tècnicament incapaços de desenvolupar tasques que requereixen visió.

D'altra banda, si es comparen amb la visió humana, tot i que aquesta pot detectar una major quantitat de detalls i arribar a interpretar situacions més complexes, la visió artificial destaca per la capacitat de quantificar l'escena que es mostra en una imatge de forma precisa i repetitiva. D'aquesta manera, la visió artificial pot jugar amb la resolució i òptica per arribar a inspeccionar detalls d'objectes que l'ull humà no seria capaç de detectar.

Adicionalment, eliminant el contacte físic entre el sistema d'inspecció i l'objecte a inspeccionar, s'evita la possibilitat de malmetre les peces durant el procés i, com que es tracta d'un procés totalment electrònic, es minimitzen els costos de manteniment degut al desgast de peces mecàniques.

Com que es redueix la participació humana, la visió artificial aporta un nivell de seguretat addicional en entorns perillosos, així com la contaminació humana a espais crítics com sales blanques.

Aleshores la visió artificial pot ser de gran importància a l'hora d'assolir objectius estratègics, a continuació es llisten una sèrie d'objectius i com, aquesta tecnologia pot ajudar a assolir-los.

Taula 6.1: Objectius estratègics assolits amb visió artificial. Font: Pròpia.

Objectius estratègics	Aplicacions
1. Millora de la qualitat	Inspecció, mesura, verificació.
2. Major productivitat	Automatització de tasques repetitives amb visió artificial.
3. Major flexibilitat	Mesura i calibratge, guiat de robots, verificació prèvia.
4. Major control dels processos	Retroalimentació de tasques manuals amb dades per ordinador.
5. Reducció de costos de producció	Detecció d'imperficcions, reducció de la mà d'obra.
6. Control d'inventari	Reconeixement òptic i identificació.
7. Reducció d'espai	El sistema de visió artificial es pot adaptar en qualsevol espai.

6.1.3 Aplicacions

Existeixen una gran varietat d'aplicacions en les que la visió artificial juga un paper essencial, anteriorment s'han comentat algunes d'aquestes.

No obstant això, aquestes aplicacions esmentades, són molt específiques, ja que tracten directament un problema en concret. De fet, si es treballa a un nivell més genèric, es poden resumir les aplicacions d'aquesta tecnologia en quatre grups: identificació, guiat, mesura i inspecció. Amb aquests quatre grups es poden resumir les bases de la visió artificial.

6.1.3.1 Identificació

Els sistemes de visió artificial d'identificació s'encarreguen de reconèixer i interpretar una imatge, ja sigui llegint un codi de barres, codis de matrius de dades, etiquetes, etc.

Hi ha de molts tipus diferents, i específicament dissenyats per desenvolupar una tasca, per exemple un sistema de reconeixement òptic de caràcters és capaç de llegir caràcters alfanumèrics sense coneixement previ. En canvi, un sistema de comprovació òptica de caràcters confirma la presència d'una sèrie de caràcters.

Aquests sistemes poden identificar segons les propietats que es mostren a la imatge, ja sigui mitjançant un patró únic, en funció del color, forma o mida.



Figura 6.2: Etiqueta d'un producte farmacèutic. Font: [35].

6.1.3.2 Guiat

Els sistemes de guiat mitjançant visió artificial s'encarreguen d'adquirir la posició i orientació d'una peça o objecte, comparar-la amb una tolerància especificada per verificar el correcte posicionament d'aquesta. En cas de que la seva posició no fos la correcta, es notificaria a un sistema de control que, per exemple, accionaria un braç

robòtic que s'encarregaria de corregir la posició. Aquest mateix concepte es podria aplicar durant el procés de disposició de peces en un palet, o durant el procés d'assemblatge d'un objecte, o emmagatzematge de peces en un magatzem.

D'altra banda, el mateix sistema de guiament per visió artificial es pot utilitzar per alinear un altre sistema de visió artificial. Per exemple, en detectar la posició d'una peça amb una càmera "global", es pot assignar a una càmera "local" que canviï la seva alineació per enfocar o enquadrar de forma correcta una peça.



Figura 6.3: Àrea principal de visualització pel guiament d'un robot *pick and place*. Font: [36].

6.1.3.3 Mesura

Els sistemes de mesura per visió artificial calculen la distància entre dos o més punts per definir geomètricament un objecte, de manera que es pot comprovar si una peça compleix unes especificacions geomètriques o no. D'aquesta manera, en cas que el producte sigui defectuós, es podrà saber de manera instantània i per grans volums de peces.

Aquest procés normalment es fa mitjançant una càmera fixa en l'espai que va captant imatges dels objectes que apareixen en el seu camp de visió. A partir d'aquestes imatges, aplicant algorismes, es pot identificar la forma desitjada, i mesurant píxels, conèixer la mida de l'objecte.

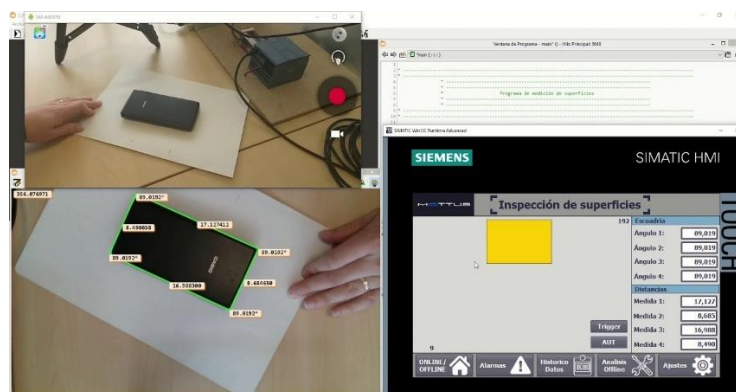


Figura 6.4: Mesura d'objectes amb visió artificial. Font: [37].

6.1.3.4 Inspecció

Aquest és l'últim grup de les aplicacions principals de la visió artificial, i, tal com indica el nom, conforma els sistemes destinats a inspeccionar defectes o irregularitats des de components o peces, fins a productes finals.

Una d'aquestes inspeccions podria ser per detectar píxels morts en pantalles, o determinar el correcte posicionament d'una etiqueta, o fins i tot observar i detectar el desgast en eines de mecanitzat.

Combinant aquests sistemes amb eines d'anàlisi estadístic, es pot arribar a predir de forma precisa els defectes que pot arribar a presentar una peça.

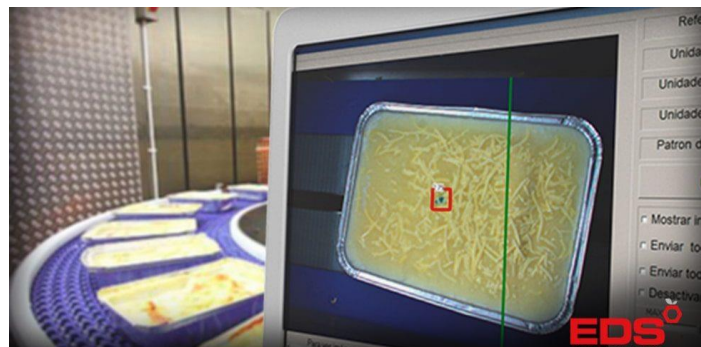


Figura 6.5: Inspecció d'aliments amb visió artificial. Font: [38].

6.2 Components principals

Fins ara s'ha fet una introducció a la visió artificial, tractant les seves característiques principals, quin paper juga a la indústria, el seu funcionament bàsic i les seves principals aplicacions. Aleshores, caldrà determinar els components necessaris per desenvolupar i integrar un sistema de visió artificial en un procés industrial.

Aquests components són el sistema de processament de la imatge, un sistema d'adquisició d'imatges, comunicació amb el sistema de control i una font d'alimentació. Addicionalment, els sistemes de visió artificial més elaborats també tenen una il·luminació específica de la zona de treball, i una àrea de visualització dels resultats, com pot ser una pantalla.

A la **Figura 6.6** es mostra un esquema amb la majoria d'aquests components i una possible distribució.

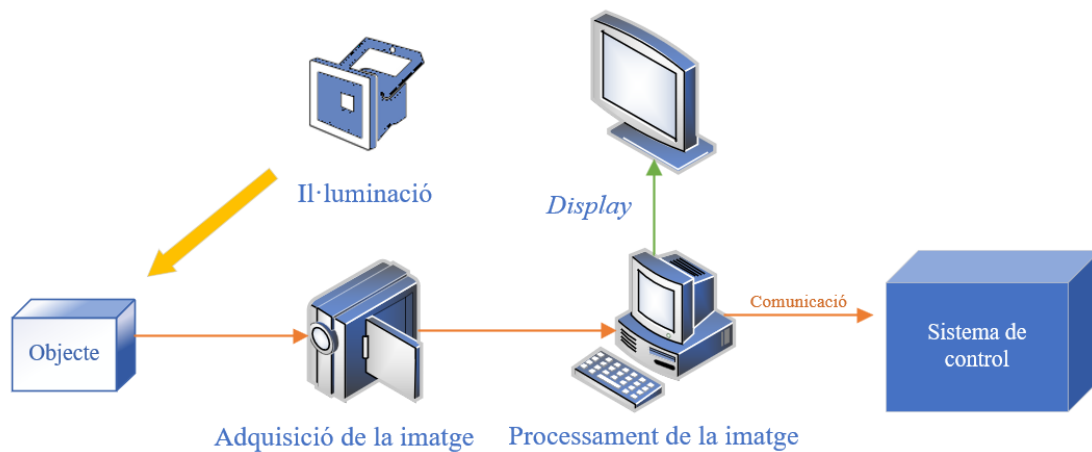


Figura 6.6: Components principals d'un sistema de visió artificial. Font: Pròpia.

6.2.1 Sistema de processament de la imatge

Aquest és un dels aspectes més crucials en el desenvolupament d'un sistema de visió artificial, ja que serà l'encarregat d'interpretar la imatge capturada, i donar la resposta d'acord amb l'aplicació en qüestió.

Tot i que la il·luminació, o qualitat del sistema d'adquisició d'imatges influeixen en gran manera en els resultats que s'obté en el sistema de processament de la imatge, els algorismes incorporats en aquest, marquen la diferència entre desenvolupar un sistema correcte i òptim.

Aquest processament es fa mitjançant programari i generalment segueix una sèrie de passes. Primerament, cal adquirir la imatge mitjançant un sistema d'adquisició com pot ser una càmera, en moltes ocasions és necessari realitzar modificacions a la imatge per optimitzar la interpretació de la imatge i germanitzar resultats correctes. A partir d'aquí el programari executa el cos principal del programa en el qual es duen a terme les accions principals d'identificació, mesura o inspecció. Finalment, es fa una valoració dels resultats i es trameten cap al sistema de control principal.

6.2.2 Sistema d'adquisició d'imatges

El sistema d'adquisició d'imatges s'encarrega de, mitjançant transductors, formar una representació d'un objecte o espai, donant lloc a una imatge. Aquests poden ser càmeres fotogràfiques o de vídeo, o també l'ull humà.

Per un sistema de visió artificial, els components més importants a tenir en compte són la lent i el sensor d'imatge.

La lent o objectiu és la part de la càmera que s'encarrega de dirigir els feixos de llum cap al sensor d'imatge. Un objectiu pot arribar a contenir més d'una lent, d'aquesta manera es pot dirigir la llum cap al focus del sensor, mostrant una imatge nítida.

D'altra banda, el sensor d'imatge s'encarrega de detectar i capturar la llum tramesa per l'objectiu, per compondre una imatge. Això és possible mitjançant una gran quantitat de dispositius sensibles a la llum, com fotodíodes o fototransistors, que transformen la llum en senyals elèctriques.

6.2.3 Il·luminació

A l'hora de desenvolupar un sistema de visió artificial, la il·luminació és un dels factors clau de cara a obtenir resultats òptims, ja que la informació que obtenen aquests sistemes per realitzar la anàlisi és mitjançant la llum reflectida per l'objecte, i no per l'anàlisi del propi objecte.

Existeixen una gran diversitat de tècniques d'il·luminació, les quals poden millorar una imatge eliminant característiques innecessàries que només generarien soroll, i destacant altres de crítiques.

Per exemple, la tècnica d'il·luminació més comuna és la frontal, on la càmera es posiciona mirant l'objecte en la mateixa direcció que la llum. Aquesta tècnica és especialment útil per superfícies amb pocs reflexos com paper o tela.

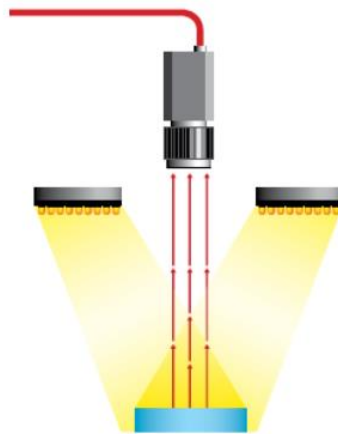


Figura 6.7: Il·luminació frontal. Font: [39].

O també la il·luminació per contrast o retro il·luminació, on es situa l'objecte entre el focus de llum i la càmera. Això permet reconèixer la silueta de l'objecte i realitzar mesures precises a canvi d'eliminar els detalls superficials.

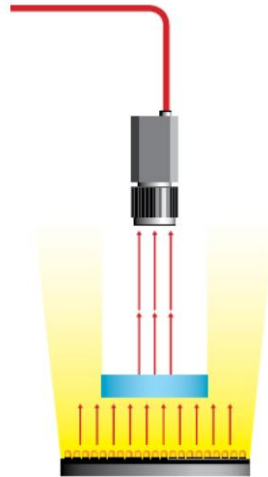


Figura 6.8: Il·luminació per contrast. Font: [39].

6.3 Requisites

Fins ara s'ha tractat a nivell teòric tots els aspectes més rellevants en la visió artificial, i a tenir en compte de cara a la implementació, especialment, en un entorn industrial.

No obstant això, aquest projecte es centrarà especialment en el desenvolupament del sistema de processament de la imatge, i deixarà de banda els altres aspectes com poden ser la il·luminació, o sistema d'adquisició d'imatges.

Anteriorment, en aquest document s'ha explicat la tasca a desenvolupar a nivell global, i s'ha tractat de forma breu què ha de fer i quina serà la funció del control de qualitat (Apartat 3. TREBALL A REALITZAR).

Bàsicament, el control de qualitat ha de mesurar el diàmetre interior dels colzes, per tal de verificar que aquest compleix amb unes dimensions determinades. Aquest control de qualitat es farà durant el procés de subjecció del conjunt colzes-colada.

Aleshores es desenvoluparà un programa que detecti els diàmetres interiors dels colzes i els mesuri, a partir d'una imatge. A partir d'aquí, es definiran unes toleràncies, i a partir de la mida que es tingui, es determinarà si la peça és correcta o defectuosa.

El programa es desenvoluparà en llenguatge *Python*, en la versió 3.10.4. *Python* és un llenguatge de programació de propòsit general iniciat per *Guido van Rossum*. Aquest llenguatge destaca per la seva simplicitat i llegibilitat del codi, el qual permet al programador expressar-se amb menys línies de codi sense comprometre la llegibilitat.

6.3.1 OpenCV

Un dels factors més importants que faciliten i fan possible dur a terme una gran varietat de projectes de visió artificial, és la llibreria *OpenCV*, la qual serà implementada per aquest projecte [40].

OpenCV és una biblioteca de lliure accés específicament per visió artificial, d'aquí el seu nom, *Open Source Computer Vision Library*. Aquesta va ser desenvolupada originalment per Intel, d'ús gratuït comercial i d'investigació, amb publicació sota llicència BSD (*Berkeley Software Distribution*) [40].

El programari està desenvolupat completament en C++, no obstant això, inclou connectors per poder-la incorporar en altres llenguatges com *Python*, *Java*, *Matlab*, *Octave* i *Javascript* [40].

Si es compara *Python* amb C o C++, aquest primer és més lent. No obstant això, es pot estendre fàcilment *Python* amb C++, d'aquesta manera es pot escriure codi computacionalment intensiu en C++, creant contenidors de *Python* que s'utilitzen com a mòduls. Això permet que el codi sigui tan ràpid com amb C++, i al mateix temps, tenir la facilitat de programar amb un llenguatge més senzill d'escriure. Aleshores el mòdul de *OpenCV-Python* és un contenidor de *Python* per la implementació original d'*OpenCV C++*.

Pel desenvolupament del programa d'aquest treball s'ha utilitzat la versió d'*OpenCV* 4.5.5.64.

6.4 Calibratge de la càmera

Quan s'utilitzen càmeres en un sistema, per exemple, un sistema de conducció autònoma, cal assegurar que les càmeres que incorpora siguin precises, aleshores han de tenir elevada resolució i poca o cap distorsió.

Amb un elevat nivell de precisió s'aconsegueixen resultats iguals, per una mateixa entrada. Una bona resolució permet distingir qualsevol tipus de canvi en l'entorn, per

petit que sigui, però sense una adequada calibració no es podran obtenir els nivells de precisió desitjats degut a la distorsió que té la càmera.

De la mateixa manera que periòdicament, degut al desgast causat per, els dispositius de mesura convencional s'han de calibrar per tal de garantir un nivell de precisió i augmentar la qualitat dels productes. Calibrar els instruments de mesura suposa:

- Consistència i correcció en les mesures.
- Increment de la fiabilitat de l'instrument.
- Compliment amb estàndards de qualitat.
- Determinació de paràmetres com precisió, desviació i fiabilitat de les mesures.

Aleshores, es dissenyarà un programa que permeti calibrar la càmera que s'estigui utilitzant, eliminant la distorsió.

6.4.1 Distorsió

Per generar una imatge clara amb una càmera estenopeica, que és una càmera sense lent, la apertura d'aquesta ha de ser el més petit possible, ja que si s'augmenta la mida d'aquesta, els feixos de llum de múltiples punts de l'objecte incidiran sobre la mateixa part de la pantalla, generant una imatge borrosa. En canvi, si la apertura és massa petita, gairebé no entrarà llum i la imatge es veurà molt fosca.

Per solucionar aquest problema s'incorpora una lent a la càmera, augmentant la mida de l'apertura, fent que entri més quantitat de llum, i al mateix temps, mitjançant propietats òptiques, redirigint els feixos de llum per enfocar la imatge. Obtenint una imatge nítida i brillant.

El problema principal d'utilitzar una lent, és que aquesta pot introduir efectes de distorsió, que com s'ha comentat anteriorment, poden ser un problema quan es volen realitzar tasques de mesura o control.

Existeixen dos tipus principals de distorsió:

- La primera, i més comuna, és la distorsió Radial (**Figura 6.9**), la qual succeeix a causa de la flexió desigual de la llum. En aquesta el feixos propers als extrems de la lent és dobleguen més que els del centre, afegint "curvatura" a la imatge.

- La segona, no tan comuna, és la distorsió tangencial, la qual succeeix quan la lent no està alineada amb el sensor de la càmera, fent que la imatge sembli inclinada i estirada.

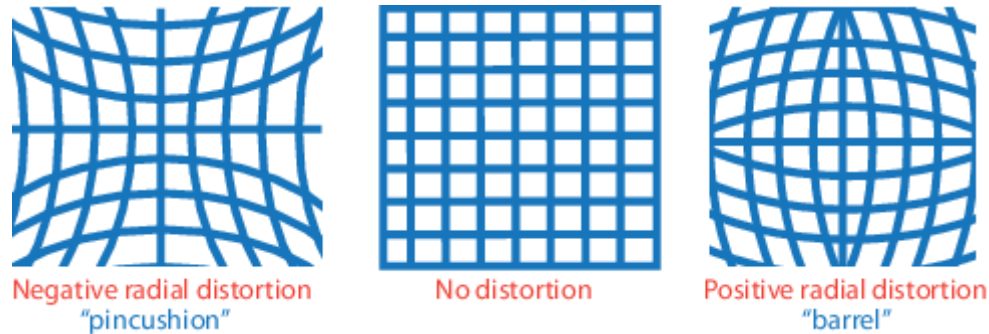


Figura 6.9: Distorsió radial. Font: [41].

6.4.2 Model de càmera estenopecica

El model de càmera estenopecica o *pinhole camera model*, és un dels models més coneguts i simples que descriuen la projecció de punts 3D sobre el pla del sensor de la càmera, o el pla de la imatge.

Per aquest model es considera que aquest pla es posiciona davant del centre de la càmera, d'aquesta manera la imatge no està invertida. El pla es troba a una distància f , que és la distància focal de la càmera, del centre òptic $C = (0,0,0)$, que és el punt d'origen. L'eix òptic es situa en l'eix Z , creuant el pla d'imatge a $(0,0, f)$ [42].

El model es descriu de la següent manera:

$$w \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & f \end{bmatrix} \cdot [R|t] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

O també:

$$w \cdot p = K \cdot [R|t] \cdot P \quad (6.2)$$

On w és un factor escalar per les coordenades (u, v) .

(u, v) són les coordenades de la projecció del punt 3D sobre el pla de la imatge.

(X, Y, Z) defineixen les coordenades d'un punt 3D en el món real.

K és una matriu 3×3 , que defineix els paràmetres intrínsecs de la càmera, s'anomena matriu de càmera o *camera matrix*.

f_x, f_y són les distàncies focals vertical i horitzontal de la càmera.

(c_x, c_y) són els punts principals de la càmera, normalment són $(0,0)$ si es considera que està centrada.

$[R|t]$ és una matriu 3×4 de paràmetres extrínsecs de la càmera per indicar la rotació i translació. Com que en la majoria de casos la càmera es manté fixa, en moltes ocasions no es té en compte.

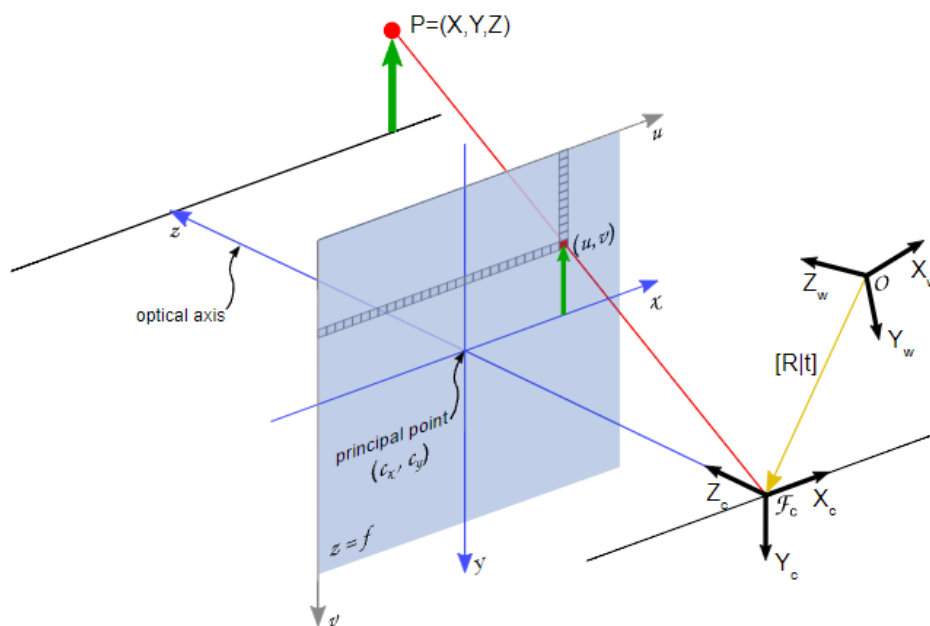


Figura 6.10: Model de càmera estenopeica o *pinhole camera model*. Font: [43].

Seguint aquest model, es poden utilitzar punts 3D per fer projeccions a un pla i d'aquesta manera obtenir la matriu de càmera K . A partir d'aquesta matriu es poden obtenir els paràmetres intrínsecs de la càmera i eliminar la distorsió de les imatges que pren.

6.4.3 Mètode de Zhang

El mètode de Zhang o calibratge de Zhang, és un mètode de calibratge de càmera el qual utilitza tècniques de calibratge tradicional i d'autocalibratge.

Aquest és capaç d'assolir bons nivells de calibratge sense la necessitat d'emprar objectes d'altra precisió, com en el mètode tradicional, i oferint major robustesa que els

mètodes d'autocalibratge. Per aquestes raons és un dels mètodes més usats per aplicacions de visió artificial.

El mètode de Zhang proposa seguir un procés per dur a terme el calibratge [44]:

- Primer caldrà disposar d'un patró, normalment s'utilitza un taulell d'escacs, el qual es pot imprimir.
- A continuació s'han de prendre imatges del patró en diferents posicions i orientacions.
- A partir d'aquestes imatges s'extreuen les cantonades dels requadres del taulell d'escacs.
- Es fa l'estimació dels cinc paràmetres intrínsecs i tots els extrínsecs.
- S'aplica el mètode de mínims quadrats per estimar els coeficients de distorsió radial.
- Finalment, s'optimitzen les estimacions i es millora la precisió amb el mètode de màxima versemblança.

A l'hora d'aplicar el mètode, un dels factors més rellevants és, el número d'imatges amb les que es fa el calibratge. Com es pot observar a la **Figura 6.11**, a major quantitat d'imatges menor serà l'error. No obstant això, quan es treballa amb més de 3 imatges la millora és molt notable, i a partir d'aquest punt s'estanca. Aleshores es pot determinar que utilitzant entre 5 i 15 imatges es pot assolir un calibratge de la càmera correcte.

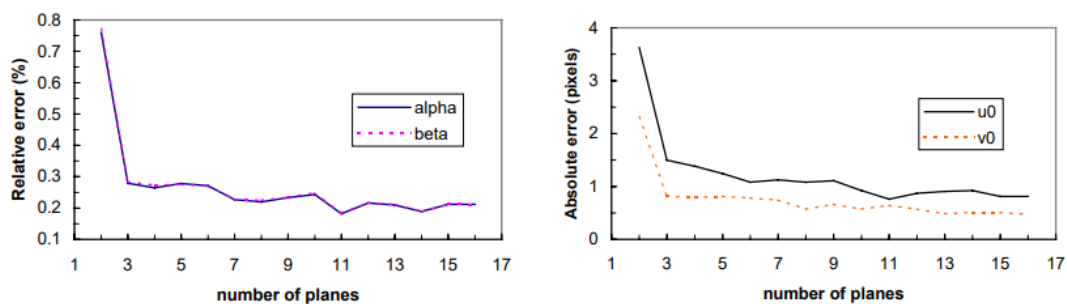


Figura 6.11: Error respecte el nombre d'imatges o plans. Font: [44].

6.4.4 Codi pel calibratge

A continuació es farà una descripció del programa implementat per fer el calibratge de la càmera.

El llenguatge utilitzat és també *Python*, i de la mateixa manera, la llibreria *OpenCV* serà crucial en el desenvolupament del software, ja que inclou un seguit de funcions especialment útils per fer el calibratge d'una càmera.

Adicionalment, s'usaran les llibreries de *numpy* i *glob*.

Numpy és una llibreria específica per *Python* la qual inclou una gran quantitat de funcions matemàtiques que faciliten el desenvolupament i programació de codi.

Glob és una llibreria més bàsica que les anteriors, aquesta s'utilitzarà per crear una llista amb totes les imatges pel calibratge, d'aquesta manera es pot automatitzar el procés.

Com s'ha comentat anteriorment, el mètode de calibratge implementat, requereix d'una sèrie d'imatges d'un patró, que en aquest cas serà un taulell d'escacs imprès en un full DIN A4, concretament el que es mostra a la **Figura 6.12**. Els quadrats del taulell mesuren $25 \times 25 \text{ mm}$.

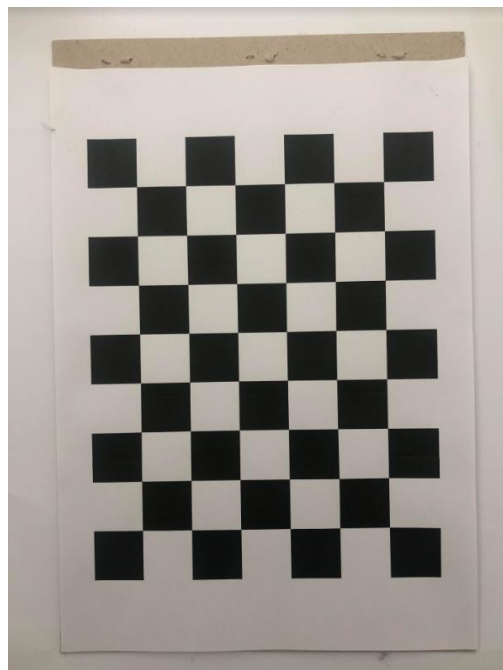


Figura 6.12: Patró per calibrar la càmera. Font: Pròpia.

A continuació es mostra un exemple de les fotografies que s'han utilitzat per el calibratge, la resta d'imatges es poden trobar als Annexos. En total s'han pres 8 imatges,

que, segons indiquen les estadístiques del mètode de *Zhang*, és una quantitat de mostres prou gran com per obtenir un error baix i optimitzar el calibratge.

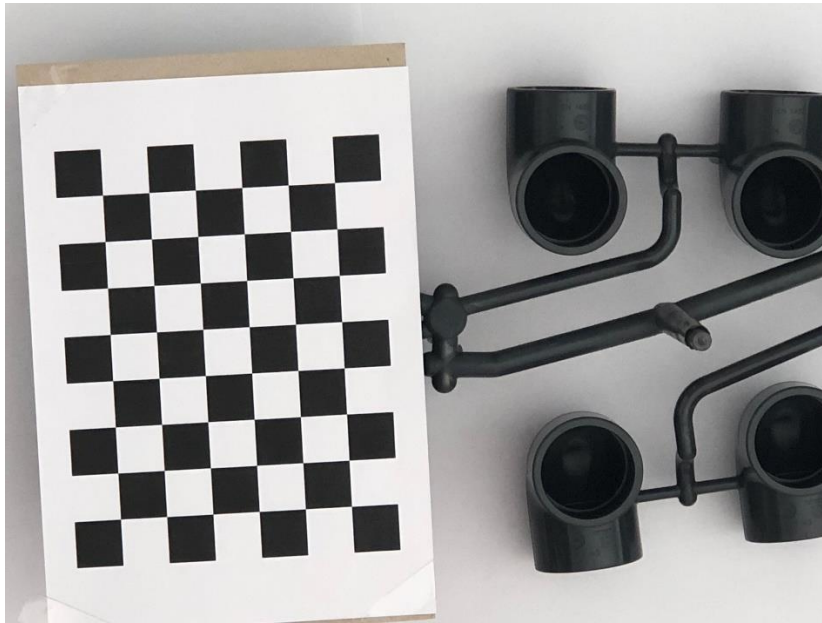


Figura 6.13: Imatge amb el taulell pel calibratge. Font: Pròpia.

Respecte al codi implementat, aquest consta de tres parts principals. La primera part s'encarrega de trobar els punts del patró del taulell d'escacs, aquests punts seran les cantonades de cada quadrat, i això es fa per cada imatge.

En la segona part s'obtidran tots els paràmetres necessaris per fer el calibratge de la càmera, especialment la matriu de la càmera.

Finalment, s'eliminarà la distorsió de les imatges que s'utilitzaran per calcular la mesura dels colzes mitjançant els paràmetres aconseguits en el pas anterior.

- A la primera part, després d'importar les llibreries, es defineixen un seguit de variables que s'utilitzaran per trobar els punts al patró i emmagatzemar-los.

Destacar que es defineix la mida del taulell d'escacs, és a dir, la quantitat de cantonades a trobar en l'amplada i alçada, i també la mida de la imatge, en píxels.

Es defineix un criteri de terminació, que és un estàndard d'*OpenCV*, que s'utilitzarà per refinar el píxel en el que es troba la cantonada del taulell.

Es crearan dos *arrays* per emmagatzemar els punts, i d'una manera ordenada.

```

9  chessboardSize = (6,8) #Mida del patró, amplada i alçada de cantonades a trobar.
10 frameSize = (4032,2024) #Mida de la imatge.
11
12 # Definició d'un criteri de terminació (estàndard de OpenCV)
13 criteria = (cv.TERM_CRITERIA_EPS + cv.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 30, 0.001)
14
15
16 # Es prepara la forma dels punts per tenir-los ordenats seguint → (0,0,0), (1,0,0), (2,0,0) ..., (6,5,0)
17 objp = np.zeros((chessboardSize[0] * chessboardSize[1], 3), np.float32)
18 objp[:,2] = np.mgrid[0:chessboardSize[0],0:chessboardSize[1]].T.reshape(-1,2)
19
20 size_of_chessboard_squares_mm = 25
21 objp = objp * size_of_chessboard_squares_mm
22
23
24 # Arrays per emmagatzemar els punts trobats
25 objpoints = [] # 3d en l'espai real
26 imgpoints = [] # 2d en el pla d'imatge

```

Figura 6.14: Definició de variables pel calibratge. Font: Pròpia.

- Tot seguit, es llegiran totes les imatges pel calibratge, i es trobaran les cantonades per cada imatge amb la funció *cv.findChessboardCorners*. En aquesta funció s'introdueix la imatge en la que trobar les cantonades, i quantes cantonades ha de trobar. La imatge que s'ha introduït, prèviament, s'ha transformat a escala de grisos.

Aleshores, en cas que s'hagi detectat una cantonada, es guarden els seus valors en les variables emmagatzemades anteriorment (*objpoints.append(objp)* i *imgpoints.append(corners2)*), i es dibuixaran aquests punts amb la funció *cv.drawChessboardCorners*, d'aquesta manera es podrà observar el procés de calibratge i verificar que s'han trobat els punts correctes.

Aquest procés es repetirà per totes les imatges.

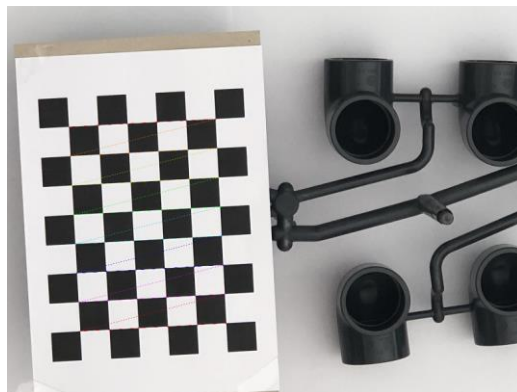


Figura 6.15: Imatge amb les cantonades detectades. Font: Pròpia.

```

28 # S'importen totes les imatges
29 images = glob.glob('./Img Board JPEG/*.jpeg')
30
31 # Aquest procés es repeteix per totes les imatges
32 for image in images:
33     # Es llegeixen les imatges i es passen a escala de grisos
34     img = cv.imread(image)
35     gray = cv.cvtColor(img, cv.COLOR_BGR2GRAY)
36
37     # Es troben les cantonades del taulell d'escacs
38     ret, corners = cv.findChessboardCorners(gray, chessboardSize, None)
39
40     # Si es troben cantonades, es guarden en els Arrays definits anteriorment
41     if ret == True:
42
43         objpoints.append(objp)
44         corners2 = cv.cornerSubPix(gray, corners, (11,11), (-1,-1), criteria)
45         imgpoints.append(corners2)
46
47         # Es dibuixen les cantonades i es mostra la imatge
48         cv.drawChessboardCorners(img, chessboardSize, corners2, ret)
49         cv.imshow('img', cv.resize(img, (0, 0), None, 0.2, 0.2))
50         cv.waitKey(500)
51
52
53 cv.destroyAllWindows()

```

Figura 6.16: Identificació dels punts 3D i 2D en el patró. Font: Pròpia.

- En la segona part es trobaran els paràmetres més importants amb la funció *cv.calibrateCamera()*, la qual necessita els punts de l'espai 3D i els que s'han trobat amb el patró 2D.

```

58 ##### Obtenció dels paràmetres de la càmera
59
60 ret, cameraMatrix, dist, rvecs, tvecs = cv.calibrateCamera(objpoints, imgpoints, frameSize, None, None)
61
62 print("Camera Calibrated: ", ret)
63 print("Camera matrix : ", cameraMatrix)
64 print("dist : ", dist)
65 print("rvecs : ", rvecs)
66 print("tvecs : ", tvecs)
67

```

Figura 6.17: Paràmetres principals de la càmera. Font: Pròpia.

- Per l'última part es corregirà la imatge utilitzant els paràmetres trobats en el pas anterior. Per això cal definir sobre quina imatge es vol eliminar la distorsió, i a partir de les mides d'aquesta imatge, utilitzant la funció *cv.getOptimalCameraMatrix()*, es troba la matriu de càmera òptima per aquesta imatge.

Aleshores, amb la funció `cv.undistort()`, elimina la distorsió de la fotografia, i perquè aquesta mantingui les mides originals, es retalla.

```

69 ##### Correcció de la distorsió
70
71 img = cv.imread('COLADA.jpeg') #Imatge a la qual se li vol emilinar la distorsio
72 h, w = img.shape[:2]
73 newCameraMatrix, roi = cv.getOptimalNewCameraMatrix(cameraMatrix, dist, (w,h), 1, (w,h))
74
75
76
77 # Undistort, eliminar distorsió
78 dst = cv.undistort(img, cameraMatrix, dist, None, newCameraMatrix)
79
80 # Es retalla la imatge
81 x, y, w, h = roi
82 dst = dst[y:y+h, x:x+w]
83 cv.imwrite('coladaR.jpeg', dst)

```

Figura 6.18: Correcció de la distorsió. Font: Pròpia.

6.4.4.1 Resultats del calibratge

En executar el codi amb les imatges mostrades anteriorment, primer, de manera seqüencial, van apareixent imatges que mostren els punts que s'han trobat als patrons.

Després d'això els paràmetres obtinguts són els següents:

```

Camera matrix
: [[1.30188679e+04 0.00000000e+00 2.42001017e+03]
 [0.00000000e+00 1.30345273e+04 1.28280069e+03]
 [0.00000000e+00 0.00000000e+00 1.00000000e+00]]

dist :
 [[-5.92835783e-02 -6.72541202e+00 6.64586002e-03 1.70751413e-03
 1.65096739e+02]]

```

Figura 6.19: Paràmetres del calibratge de la càmera. Font: Pròpia.

Entre aquests també s'obtenen els vectors de rotació i translació de la càmera.

Adicionalment, també es pot calcular l'error de reprojecció utilitzant les funcions d'*OpenCV*, *cv.projectPoints()* i *cv.norm*, tal com es mostra a la següent figura.

```

105 for i in range(len(objpoints)):
106     imgpoints2, _ = cv.projectPoints(objpoints[i], rvecs[i], tvecs[i], cameraMatrix, dist)
107     error = cv.norm(imgpoints[i], imgpoints2, cv.NORM_L2)/len(imgpoints2)
108     mean_error += error
109
110 print("total error: {}".format(mean_error/len(objpoints)))

```

Figura 6.20: Error de reprojecció. Font: Pròpia.

```
total error: 0.07986454260486237
```

Figura 6.21: Valor de l'error de reprojecció. Font: Pròpia.

L'error obtingut és de 0,0798 ... píxels.

6.5 Algoritmes emprats a la visió artificial

En aquest apartat es tractaran una sèrie d'algorismes comunament utilitzats en el camp de la visió artificial, i que s'implementaran pel desenvolupament de la tasca proposada en aquest projecte.

6.5.1 Modificacions de color, escala de grisos

Normalment, quan es treballa amb visió artificial, realitzar modificacions de color a les imatges amb les quals es treballa pot ser beneficiós.

En nombroses ocasions, el color no aporta cap informació addicional, per exemple, en aquest cas, que es volen obtenir les mesures d'unes peces, és completament irrellevant de quin color és cada part de la imatge.

Per aquesta raó, convertir la imatge a escala de grisos no suposa cap reducció en la informació útil de la imatge, i addicionalment simplifica els algorismes d'anàlisi d'imatges, reduint els requeriments computacionals [45].

Una imatge en color RGB es pot definir amb una matriu tridimensional $m \times n \times 3$, on m i n són les mides de la matriu, i el número 3, és el nombre de plans que hi ha, com que la imatge és RGB, hi ha 3 plans, en canvi, en escala de grisos només hi ha un pla

$m \times n$. Aleshores un algorisme transforma aquesta matriu tridimensional, $\mathbb{R}^{m \times n \times 3}$, a una matriu bidimensional, $\mathbb{R}^{m \times n}$, per representar la imatge [45].

Per fer aquesta transformació de RGB a escala de grisos cal obtenir les 3 matrius de l'escala de color. Com que el rang del color va de 0 a 255, es divideix el valor per 255, d'aquesta manera s'obté un valor de sortida d'entre 0 i 1 [46].

A partir d'aquí, fent la mitjana entre la brillantor de cada píxel, anomenat també *luminance*, es pot obtenir una aproximació de la imatge en blanc i negre, obtenint una única matriu, amb els valors de les matrius RGB combinats.

No obstant això, com que l'ull humà percep la brillantor de forma diferent en funció del color, mitjançant experimentació, s'han dissenyat combinacions ponderades dels tres canals RGB.

Un dels algorismes més utilitzats és *Luminance*, que *COLOR_RGB2GRAY*, utilitza la següent combinació [47]:

$$Y_{Luminance} \leftarrow 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B \quad (6.3)$$

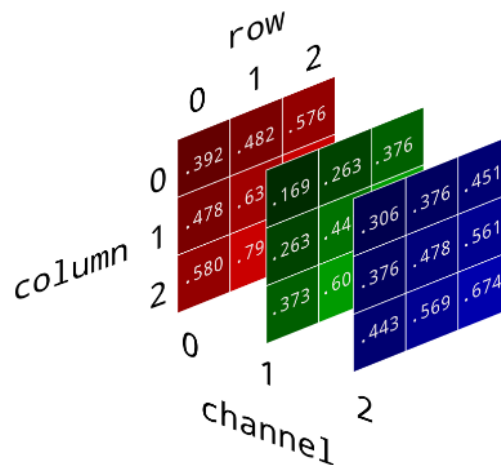


Figura 6.22: Canals RGB. Font: [46].

6.5.2 Detecció de contorns amb Canny

El mètode Canny és un dels més emprats en detecció de contorns amb visió artificial, desenvolupat per *Jhon F. Canny*. Aquest es basa a trobar punts on el gradient de la imatge d'entrada és un màxim local [48].

Aquest algorisme segueix una sèrie de nivells per arribar fins al resultat final. El primer nivell consisteix en la reducció del soroll de la imatge, aquesta operació es fa mitjançant un filtre Gaussià [49].

Després es calcula el gradient de la imatge suavitzada, detectant els píxels amb el gradient més gran o màxima variació. També es determina la direcció del gradient, la qual és sempre perpendicular a les vores [48].

Un cop s'ha obtingut la magnitud del gradient i direcció, s'eliminen els píxels que no formen part de les vores, comprovant si és un màxim local respecte els seus veïns en la direcció del gradient [49].

Finalment, mitjançant la definició d'un llindar màxim i mínim, s'acaba decidint quines de les vores detectades ho són, i quines no. Aleshores, els gradients de les vores que estiguin entre els llindars es consideraran com a correctes, la resta s'eliminaran [49].

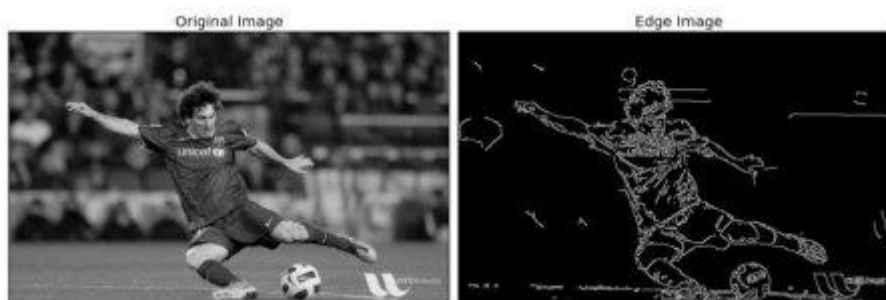


Figura 6.23: Detecció de contorns amb Canny. Font: [49].

6.5.3 Transformada de Hough

La transformada de Hough és un algorisme molt utilitzat per la detecció de patrons en imatges. Aquest permet detectar una gran varietat de patrons, siguin rectes, cercles o corbes [50].

Aquest algorisme fa servir el gradient per identificar aquests patrons, on el seu valor és màxim en els contorns de les figures que apareixen a la imatge, amb una direcció determinada [50].

Com que per aquest projecte es volen trobar cercles, s'utilitzarà l'algorisme *Hough Circle Transform*.

Un cercle es pot representar amb $(x - x')^2 + (y - y')^2 = r^2$, on x' i y' representen el centre del cercle, i r el seu radi. Aleshores per representar un cercle es necessiten 3

paràmetres, (x', y', r) . A partir d'aquí, com que hi ha 3 paràmetres es necessitarà un acumulador 3D, que s'anirà omplint [51].

No obstant això, aquest mètode és ineficient, i *OpenCV* usa una variació anomenada *Hough Gradient Method*, la qual utilitza el mètode del gradient per anar omplint l'acumulador en la direcció d'aquest [51].

Aquest es pot resumir en dues etapes. En la primera es troben tots els candidats possibles a ser centres de cercle. I en la segona es determina quin és el radi òptim per aquell centre [51].

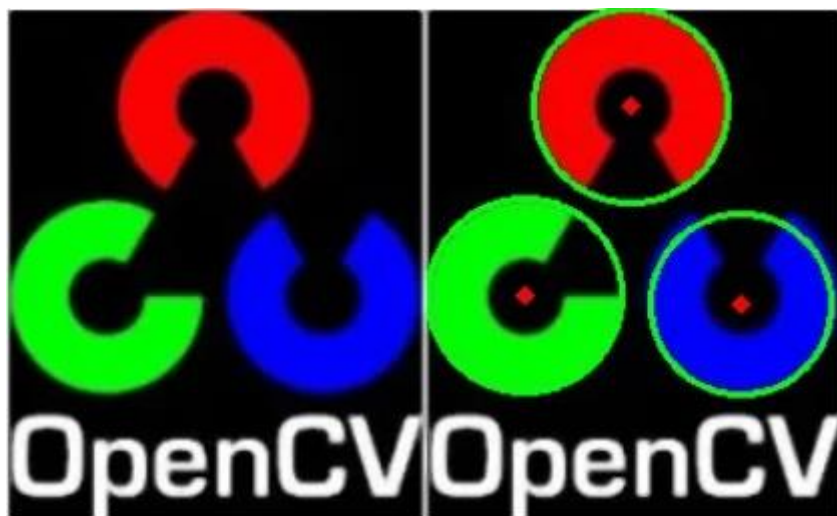


Figura 6.24: *Hough Gradient Method*. Font: [51].

6.6 Desenvolupament

Fins ara s'han tractat tots els aspectes més rellevants de la visió artificial, fins i tot s'ha realitzat el calibratge de la càmera amb la qual es prendran fotografies per desenvolupar les proves d'aquest treball.

A continuació es tractarà el desenvolupament del programa per mesurar la mida dels colzes a partir d'una imatge.

Per a la comprovació i desenvolupament del codi s'utilitzaran dos tipus d'imatges, en el primer tipus (**Figura 6.25**) es considerarà un entorn ideal, aleshores s'introduiran renders extrems del model 3D. Per aquesta no serà necessari realitzar el calibratge, ja que no s'utilitza cap càmera.

El segon tipus d'imatge (**Figura 6.26**) considerarà un entorn més "real", on les condicions no són de laboratori. Aquestes imatges es prendran directament del conjunt

real colzes-colada amb una càmera. Aquesta càmera és una càmera de mòbil aleshores la precisió dels resultats no és la mateixa que si s'utilitzés una professional. Aleshores per aquestes imatges primera es seguirà el procés de calibratge explicat anteriorment.

Per aquests experiments s'ha considerat que dels 12 colzes, s'analitzen 6 en cada foto, d'aquesta forma es pot tenir més precisió, ja que es fa la foto de més a prop, i addicionalment, com que només s'agafa la meitat de la colada, a la imatge no apareixerà l'utilitatge, cosa que facilitarà l'anàlisi de la imatge.

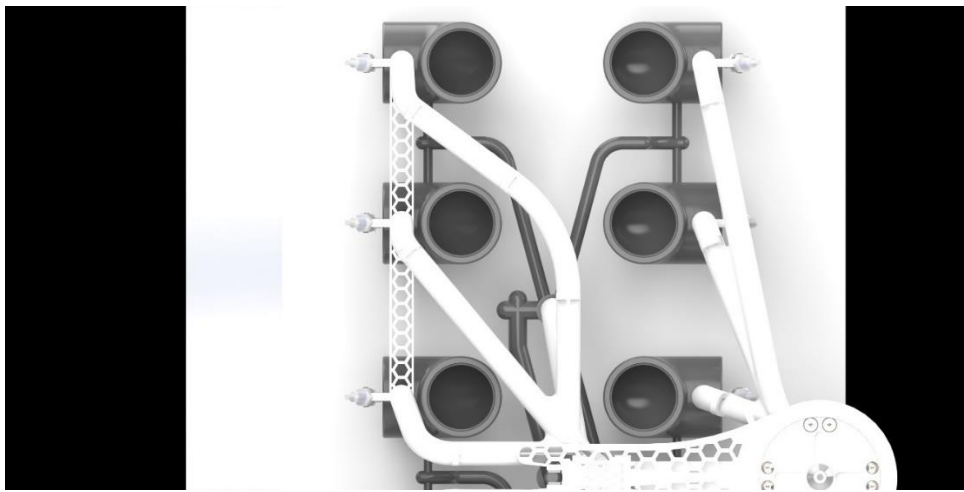


Figura 6.25: Imatge de *render*. Font: Pròpia.

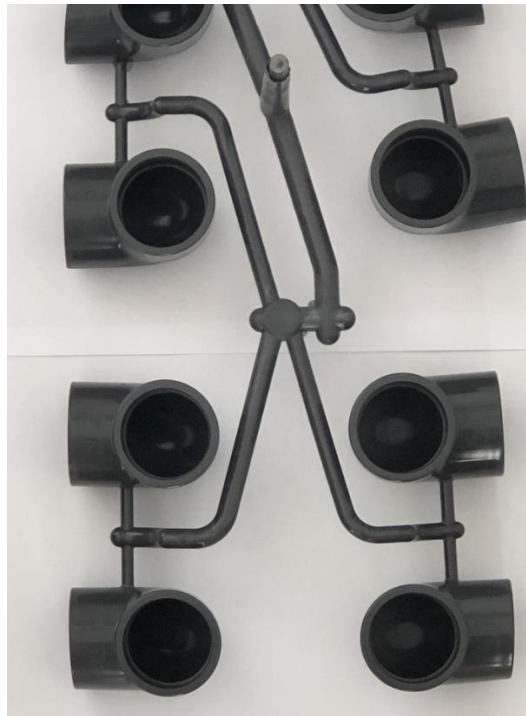


Figura 6.26: Imatge Real. Font: Pròpia.

6.6.1 Estructura

El programa essencialment es separarà en tres parts, la primera part és la més senzilla, s'encarregarà d'importar les imatges i llegirles, essencialment amb la funció `cv2.imread()`, que és de la llibreria *OpenCV*.

A continuació, en la segona part, s'obtindran els cercles que corresponen a la zona que es vol mesurar. Per fer això prèviament caldrà transformar la imatge per facilitar a l'algorisme que s'utilitzarà la identificació de les formes importants i reducció del soroll o parts de la imatge irrelevantes. Un cop s'ha transformat la imatge, s'utilitzarà la funció `cv2.HoughCircles`, la qual utilitza el mètode del gradient de Hough per trobar el centre dels cercles que apareixen a la imatge.

L'última part consistirà a representar en la imatge original els cercles que s'han trobat i la mida d'aquests.

Aleshores, el punt clau d'aquest programa consisteix a trobar els cercles correctes, per tal de poder verificar la seva mida.

Per tal de facilitar la modificació de paràmetres clau s'han creat dues funcions, les quals corresponen a les dues últimes parts de l'estructura del programa.

La primera funció, que s'anomenarà `obtenircercles()`, s'encarregarà de la segona part del programa, és a dir, transformar la imatge i obtenir els cercles. Aquesta funció necessitarà l'entrada d'una sèrie de paràmetres, set en total.

```
obtenircercles(img,dist, param1, param2, minrad, maxrad,cThr=[100,100])
```

- El primer paràmetre, *img*, és la imatge en la qual s'han de trobar els cercles.
- El segon paràmetre, *dist*, s'utilitzarà per la funció `cv2.HoughCircles`, per determinar la distància mínima entre els cercles.
- *param1*, també serà per la funció `cv2.HoughCircles`, serveix per determinar el valor del gradient durant la detecció de les vores.
- *param2*, correspon a la funció `cv2.HoughCircles`, i és un llinard acumulatiu, en el qual, com més petit sigui el valor, més cercles es detectaran, incloent-hi cercles "incorrectes".

- *minrad*, s'utilitzarà per definir el radi mínim dels cercles que es detectin.
- *maxrad*, s'utilitzarà per definir el radi màxim dels cercles que es detectin.
- *cThr*, és el llindar per la funció *cv2.Canny*, la qual s'utilitzarà per transformar la imatge.

Adicionalment, la funció retorna tres variables, els cercles trobats, com a una llista de vectors amb la posició en *x,y* de cada cercle, i la seva mida, en píxels. També retorna la imatge sense transformar, la original. Finalment, també retorna la imatge un cop transformada.

I la segona funció, que s'anomenarà *midacercles()*, s'encarregarà de dibuixar-los i calcular la mida en *mm*, així com classificar-los en correctes o no correctes. Aquesta tindrà cinc paràmetres a introduir.

```
midacercles(all_circs_rounded, img_org, escala, tolinf, tolsup)
```

- *all_circs_rounded*, són tots els cercles que s'han detectat amb la funció *obtenircercles()*.
- *img_org*, és la imatge original sense transformar.
- *escala*, és el valor per passar de píxels a mil·límetres.
- *tolinf*, és el valor mínim pel qual es considerarà que un cercle és correcte, en *mm*.
- *tolsup*, és el valor màxim pel qual es considerarà que un cercle és correcte, en *mm*.

El funcionament i codi específic de cada funció es pot trobar als Annexos.

A continuació es mostra un esquema de l'estructura que seguirà el programa, **Figura 6.27**.

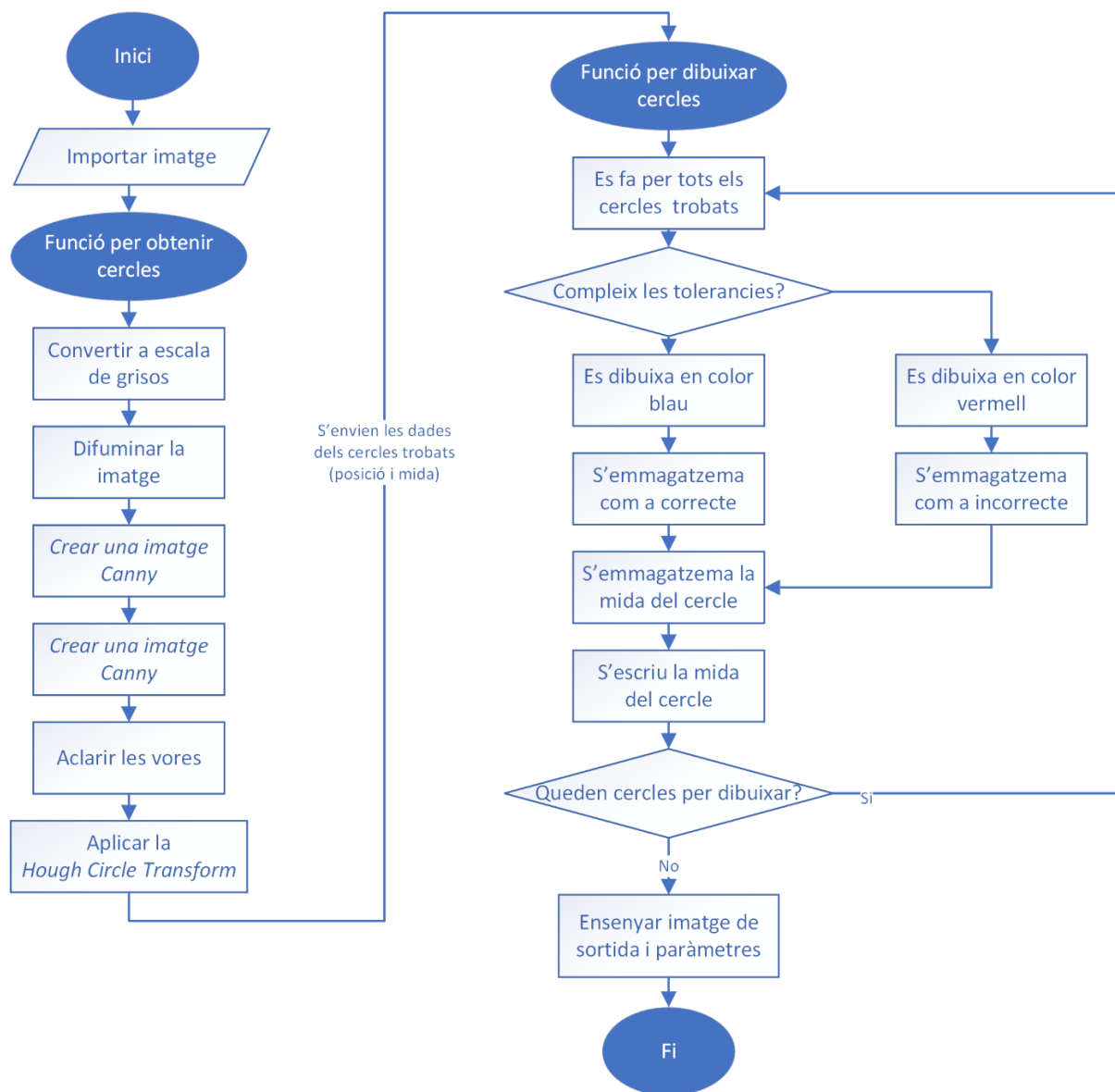


Figura 6.27: Estructura del programa. Font: Pròpia.

6.7 Resultats

Finalment es mostraran els resultats obtinguts mitjançant la implementació de les dues funcions explicades anteriorment, en un petit programa.

Tal com ja s'ha comentat, es faran experimentacions amb dos tipus d'imatges. Primerament, amb la imatge ideal, obtinguda des d'un render amb el model 3D desenvolupat.

Posteriorment, amb la imatge real, obtinguda mitjançant una càmera sobre el conjunt colzes-colada real.

6.7.1 Resultats amb model 3D

El codi implementat per obtenir els resultats es mostra a la **Figura 6.28**.

Com es pot observar, primerament s'importen les llibreries necessàries, esmentades en apartats anteriors. Addicionalment, s'ha utilitzat *matplotlib.pyplot*, la qual és molt útil a l'hora de fer representacions gràfiques de qualsevol mena d'imatge, ja que les escala de manera automàtica.

Tot seguit es carrega la direcció de la imatge a mesurar a la variable *imatgesup_1*.

Finalment, s'apliquen les dues funcions principals descrites anteriorment. Els paràmetres s'han ajustat de manera específica per obtenir resultats òptims.

Cal destacar que les toleràncies s'han assignat amb uns valors de 49 mm i 51 mm, aleshores de ± 1 mm.

També s'ha assignat el valor de l'escala a $0,256377 \frac{mm}{px}$.

Aquest valor s'aconsegueix mesurant la mida dels colzes a la imatge, en píxels, i comparant-ho amb la mida real. Les dimensions, en píxels, del diàmetre dels colzes són 196 píxels, i la mida real dels colzes és 50,25 mm.

Aleshores:

$$escala = \frac{50,25 \text{ mm}}{196 \text{ px}} \cong 0,256377$$

```
1 import cv2
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import funciones
4
5 imatgesup_1= 'coladaGris.jpeg' #'./imgcalib/coladaR.jpeg'
6
7 all_circs_rounded_top, img_org_top_img = funciones.obtenircercles(imatgesup_1,dist=500,param1=60, param2=20, minrad=50,
8 maxrad=120, cThr=[125,125])
9
10 funciones.midacercles(all_circs_rounded=_all_circs_rounded_top, img_org=img_org_top,escala=0.256377, tolinf=49, tolsup=51)
11
12 cv2.imshow('convertida',cv2.resize(img,(0,0), None, 0.2, 0.2))
13 plt.show()
```

Figura 6.28: Codi per mesura amb model 3D. Font: Pròpia.

Finalment, es mostra la imatge Canny, d'aquesta manera es pot visualitzar quina imatge s'introdueix a l'algorisme. Com es pot observar la imatge s'ha simplificat, ara només hi ha dos colors, i només apareixen les vores, d'aquesta manera es distingeixen de manera molt clara els cercles que es volen mesurar.

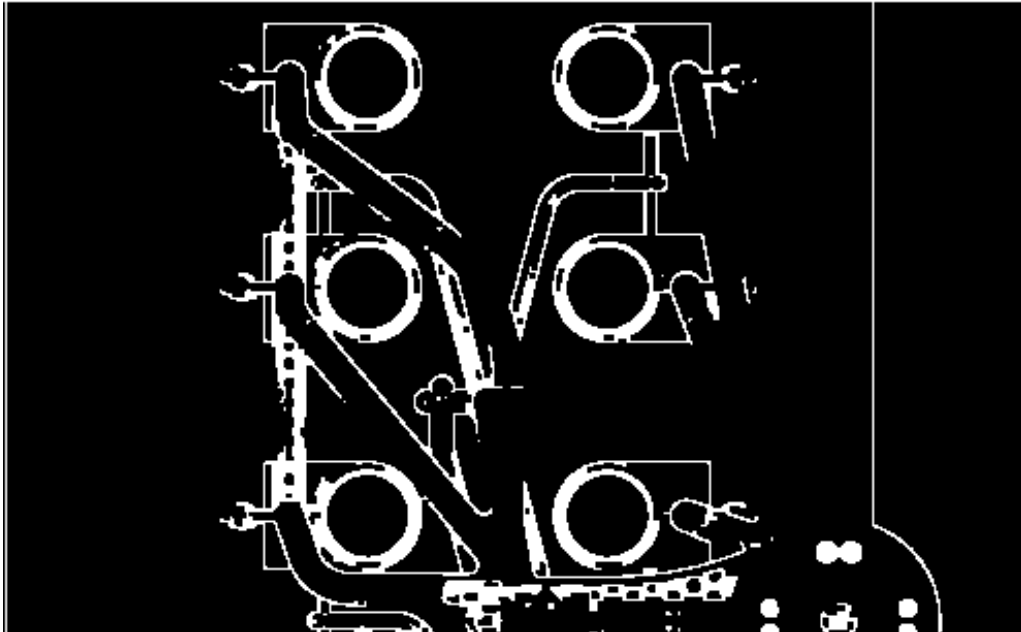


Figura 6.29: Imatge Canny per render. Font: Pròpia.

En la imatge de sortida es mostren els resultats obtinguts en el programa. Com es pot observar els resultats són molt acurats, i per quatre de les mesures realitzades els valors són exactes, només varien en dos d'elles per un valor de $0,52\text{ mm}$, que són aproximadament dos píxels.

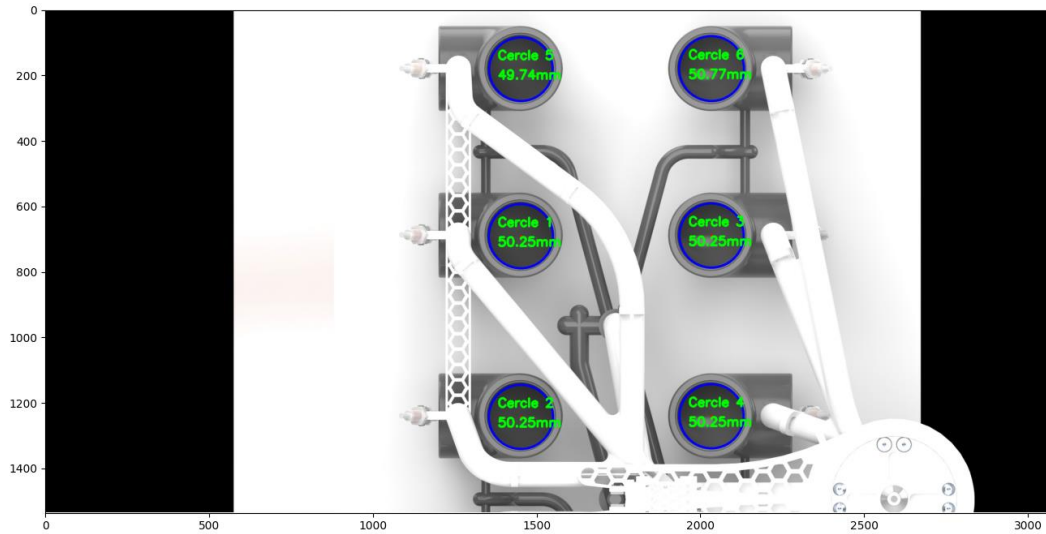


Figura 6.30: Imatge resultat amb render. Font: Pròpia.

Adicionalment el programa indica el nombre total de cercles detectats, la seva mida, i quins són incorrectes, en cas que hi hagi.

```
Hi ha 6 cercles
mida total['50.25', '50.25', '50.25', '50.25', '49.74', '50.76']
tots són correctes
```

Figura 6.31: Sortida del codi, indicant el resultat, per cas render. Font: Pròpia.

Per exemple, canviant el valor de les toleràncies a 48 mm i 49 mm, sortirà que tots els cercles són incorrectes, encara que segueixen mesurant el mateix.

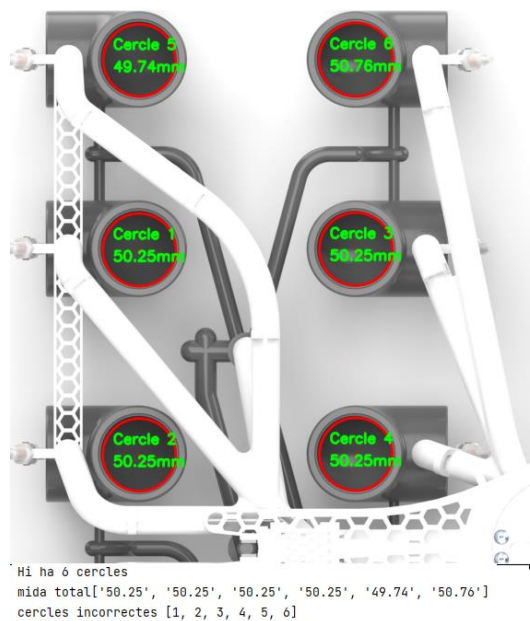


Figura 6.32: Sortida en cas que siguin incorrectes. Font: Pròpia.

6.7.2 Resultats amb imatge real

Pel cas real, l'estructura del codi és exactament el mateix, amb la diferència que els paràmetres de les funcions principals s'han adaptat a la imatge capturada i a la càmera emprada.

Com es pot observar a **Figura 6.33**, a les dues funcions s'han canviat la majoria de paràmetres. La raó principal és que la imatge capturada amb la càmera té una resolució diferent, major que a la del render, aleshores en el moment de comptar els píxels, les proporcions són diferents.

El paràmetre més rellevant és l'escala. En aquest cas, el diàmetre dels colzes, en píxels, és de 470 píxels, i la mida real dels colzes segueix sent la mateixa, 50,25 mm.

Amb això s'obté una escala de:

$$escala = \frac{50,25 \text{ mm}}{470 \text{ px}} \cong 0,107$$

```

1 import cv2
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import funcions
4
5 imatgesup_1= './imgcalib/coladaR.jpeg' #'coladaGris.jpeg'
6
7 all_circs_rounded_top, img_org_top_img = funcions.obtenircercles(imatgesup_1,dist=1000,param1=40, param2= 20, minrad=50,
8 maxrad=300, cThr=[50,50])
9
10 funcions.midacercles(all_circs_rounded=_all_circs_rounded_top, img_org=img_org_top,escala=0.107, tolinf=49, tolsup=51)
11
12 cv2.imshow('convertida',cv2.resize(img,(0,0), None, 0.2, 0.2))
13 plt.show()

```

Figura 6.33: Codi per mesura amb imatge real. Font: Pròpia.

Pel que fa a la sortida del programa, s'obté també la imatge Canny, i es pot observar com els contorns són més primers. Això es degut, també, a la resolució de la imatge. A la funció *obtenircercles()*, que és l'encarregada de generar la imatge Canny, s'utilitza una funció per incrementar les vores detectades, i això ho fa per nombre de píxels. Aleshores, si varia la resolució de la imatge, també variarà el gruix dels contorns detectats.

De totes maneres això no suposa un problema per l'algorisme, i si fos necessari és molt senzill augmentar el gruix.

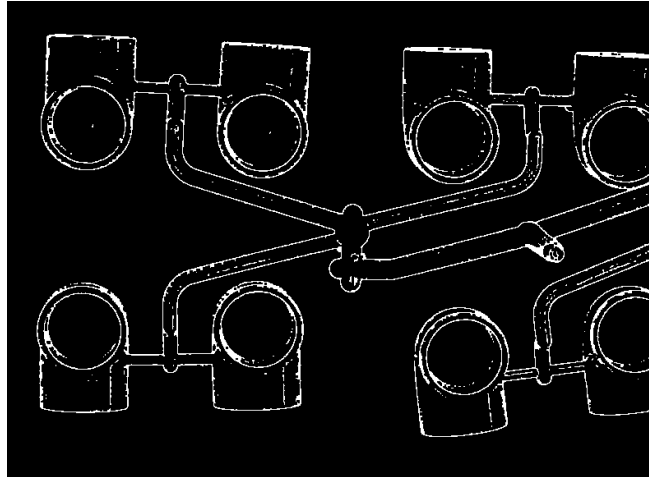


Figura 6.34: Imatge Canny, imatge real. Font: Pròpia.

Finalment, a la imatge de sortida s'obtenen resultats molt bons. Considerant que les condicions de llum i l'entorn en què s'ha realitzat la imatge no són òptims, i a part, la càmera no és la ideal, ha sigut possible detectar i aconseguir unes mides acurades de tots els colzes.

Els valors que més s'allunyen de la mida real són $50,93\text{ mm}$ i $49,22\text{ mm}$, aleshores la desviació màxima és de $+0,68\text{ mm}$ i $-1,03\text{ mm}$.

També es pot observar com per aquest cas s'han detectat 8 colzes en lloc de 6, ja que a la imatge apareixen 2 extra. Aquests 2 extra, que es situen al costat esquerre de la imatge, no es tenen en compte.

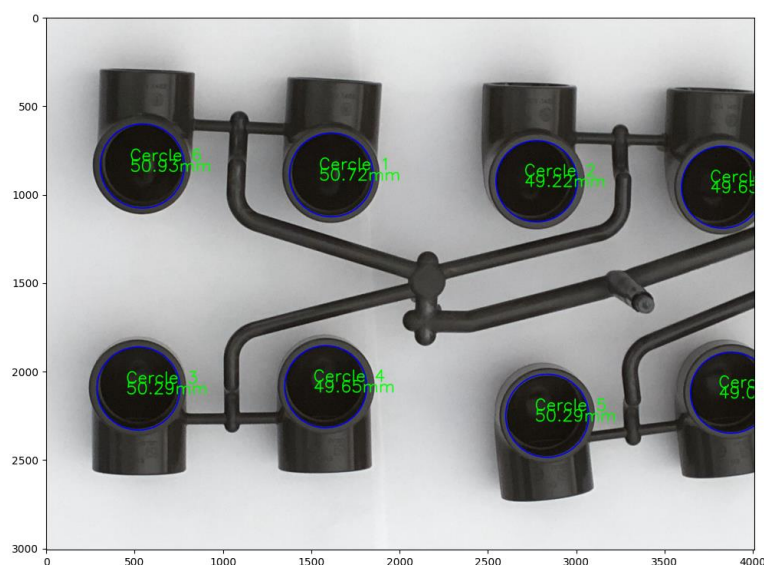


Figura 6.35: Imatge resultat amb imatge real. Font: Pròpia.

7. PRESSUPOST

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

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

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

7.1 Costos dels materials

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

Taula 7.1: Costos dels materials de la part mecànica. Font: Pròpia.

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

Taula 7.2: Costos materials de la part electrònica. Font: Pròpia.

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

7.2 Costos de fabricació

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

Taula 7.3: Costos de fabricació. Font: Pròpia.

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

7.3 Costos de mà d'obra

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

Taula 7.4: Costos de mà d'obra. Font: Pròpia.

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

7.4 Llicències de software

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

Taula 7.5: Llicències de software. Font: Pròpia.

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

7.5 Pressupost total

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

Taula 7.6: Pressupost total. Font: Pròpia.

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

8. INFORMACIÓ

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

8.1 Normatives

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

8.1.1 Seguretat

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 12100:2012	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010)	[52]
UNE-EN ISO 13854:2020	UNE-EN ISO 13854:2020 Seguridad de las máquinas. Espacios mínimos para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano. (ISO 13854:2017).	[53]
UNE-EN ISO 13850:2016	Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2015).	[54]
UNE-EN IEC 61496-1:2021	Seguridad de las máquinas. Equipos de protección electroinsensibles. Parte 1: Requisitos generales y ensayos.	[55]

8.1.2 Normatives amb PLC

Norma	Títol	Font
UNE-EN 61131-5:2001	Autómatas programables. Parte 5: Comunicaciones. (Ratificada por AENOR en febrero de 2002).	[56]
UNE-EN 61131-6:2012	Autómatas programables. Parte 6: Seguridad funcional. (Ratificada por AENOR en enero de 2013.)	[57]

8.1.3 Normatives amb robots

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 10218-1:2012	Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. (ISO 10218-1:2011)	[58]
UNE-EN ISO 10218-2:2011	Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011).	[59]
PD ISO/TR 20218-1:2018	Robotics. Safety design for industrial robot systems. End-effectors	[60]

8.1.4 Elements de fixació

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 888:2019	Elementos de fijación. Pernos, tornillos y espárragos. Longitudes nominales y longitudes roscadas. (ISO 888:2012)	[61]
UNE-EN ISO 10510:2011	Tornillos autorroscantes con arandela plana incorporada. (ISO 10510:2011)	[62]
UNE-EN ISO 225:2011	Elementos de fijación. Pernos, tornillos, espárragos y tuercas. Símbolos y designación de las dimensiones. (ISO 225:2010)	[63]
UNE-EN ISO 10666:2000	Tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Características mecánicas y funcionales (ISO 10666:1999).	[64]
UNE-EN 20898-7:1996	Características mecánicas de los elementos de fijación. Parte 7: Ensayo de torsión y mínimo par de torsión para pernos y tornillos con diámetros nominales comprendidos entre 1 mm y 10 mm. (ISO 898-7:1992).	[65]

8.1.5 Coixinets

Norma	Títol	Font
UNE 16604:1991	Cojinetes redondos para roscar. Vocabulario y terminología.	[66]
UNE 18106:1986	Rodamientos. Tolerancias. Definiciones.	[67]

8.1.6 Motlles

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 26909:2010	Resortes. Vocabulario (ISO 26909:2009) (Ratificada por AENOR en junio de 2010.)	[68]
UNE-EN ISO 2162-1:1997	Documentación técnica de productos. Resortes. Parte 1: Representación simplificada. (ISO 2162-1:1993).	[69]
UNE-EN 13906-1:2013	Muelles helicoidales cilíndricos fabricados de alambres y barras. Cálculo y diseño. Parte 1: Muelles de compresión. (Ratificada por AENOR en agosto de 2013.)	[70]

8.1.7 Materials

Norma	Títol	Font
UNE-EN ISO 180:2020	Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto Izod. (ISO 180:2019).	[71]
UNE-EN ISO 15013:2008	Plásticos. Placas extruidas de polipropileno (PP). Requisitos y métodos de ensayo. (ISO 15013:2007)	[72]
UNE-EN ISO 19062-1:2016	Plásticos. Materiales de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones. (ISO 19062-1:2015).	[73]

8.1.8 Fabricació Additiva

Norma	Títol	Font
UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:2020	Fabricación aditiva. Diseño. Fabricación aditiva con gradiente funcional (ISO/ASTM/TR 52912:2020) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2020.)	[74]
UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017	Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología. (ISO/ASTM 52900:2015).	[75]
UNE-EN ISO/ASTM 52911-2:2020	Fabricación aditiva. Diseño. Parte 2: Fusión láser de lecho de polvo de polímeros. (ISO/ASTM 52911-2:2019).	[76]
UNE-EN ISO/ASTM 52910:2020	Fabricación aditiva. Diseño. Requisitos, directrices y recomendaciones (ISO/ASTM 52910:2018)	[77]
UNE-EN ISO/ASTM 52903-1:2021	Fabricación aditiva. Fabricación aditiva de materiales plásticos basada en extrusión de materiales. Parte 1: Materias primas. (ISO/ASTM 52903-1:2020).	[78]

8.1.9 Comunicacions

Norma	Títol	Font
UNE-EN 50325-1:2019	Subsistema de comunicaciones industriales basado en la norma ISO 11898 (CAN) para interfaces dispositivos-controladores. Parte 1: Requisitos generales. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en febrero de 2020.)	[79]
UNE-EN 303348 V1.2.1	Controladores de bucle de inducción de audiofrecuencia de hasta 45 A en la gama de frecuencias de 10 Hz a 9 kHz; norma armonizada para el acceso al espectro radioeléctrico. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en septiembre de 2021.)	[80]

8.2 Patents

Les patentes formen part de la Propietat Industrial, que, a part de patents, també inclou dissenys industrials, Marques i Noms comercials i Topografies de semiconductors. A més a més per cadascun d'aquests drets hi ha una legislació aplicable [81].

Bàsicament, una patent és un títol que acredita el dret a explotació exclusiva sobre una determinada invenció, que impedeix la fabricació o venda sense consentiment del titular [82].

Aleshores, l'objecte de la patent pot ser una entitat física, com ho seria un producte o màquina, o una activitat, per exemple un procediment. Cal tenir en compte que una patent és un dret negatiu, però que no autoritza a res, per tant, una patent no dona al seu titular el dret a fabricar o comercialitzar el producte patentat sense complir amb les normes legals pertinents [82].

Per tal que una invenció sigui patentable ha de complir amb una sèrie de requisits [81] [82].

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

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

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

9. IMPACTE MEDIAMBIENTAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10. PERSPECTIVA DE GÈNERE

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

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

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

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

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

11. ORGANITZACIÓ DEL TREBALL

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

11.1 Planificació

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

Taula 11.1: Durada de les activitats. Font: Pròpia.

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

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

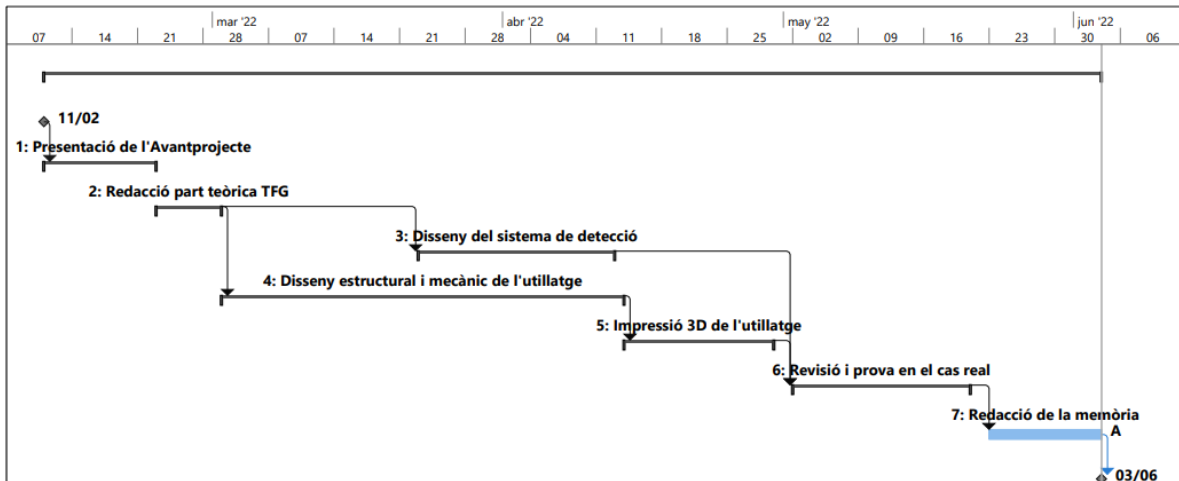


Figura 11.1: Diagrama de Gantt activitats principals. Font: Pròpia.

Com s'ha comentat anteriorment, cada activitat principal s'ha dividit en sub-activitats, **Taula 11.2**. Aquestes s'han determinat en funció dels requeriments del projecte. En total hi ha 29 sub-activitats, més la redacció final de la memòria, on s'especifica de forma acurada la durada així com la data d'inici i finalització.

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

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

Tot això es mostra de forma estructurada amb un diagrama de Gantt, **Figura 11.2**: Gantt total. Font: Pròpia. en el qual apareix la planificació global de tot el projecte, on es pot veure en un format visual la durada de cada activitat així com l'ordre que segueixen.

Taula 11.2: Sub-activitats. Font: Pròpia.

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

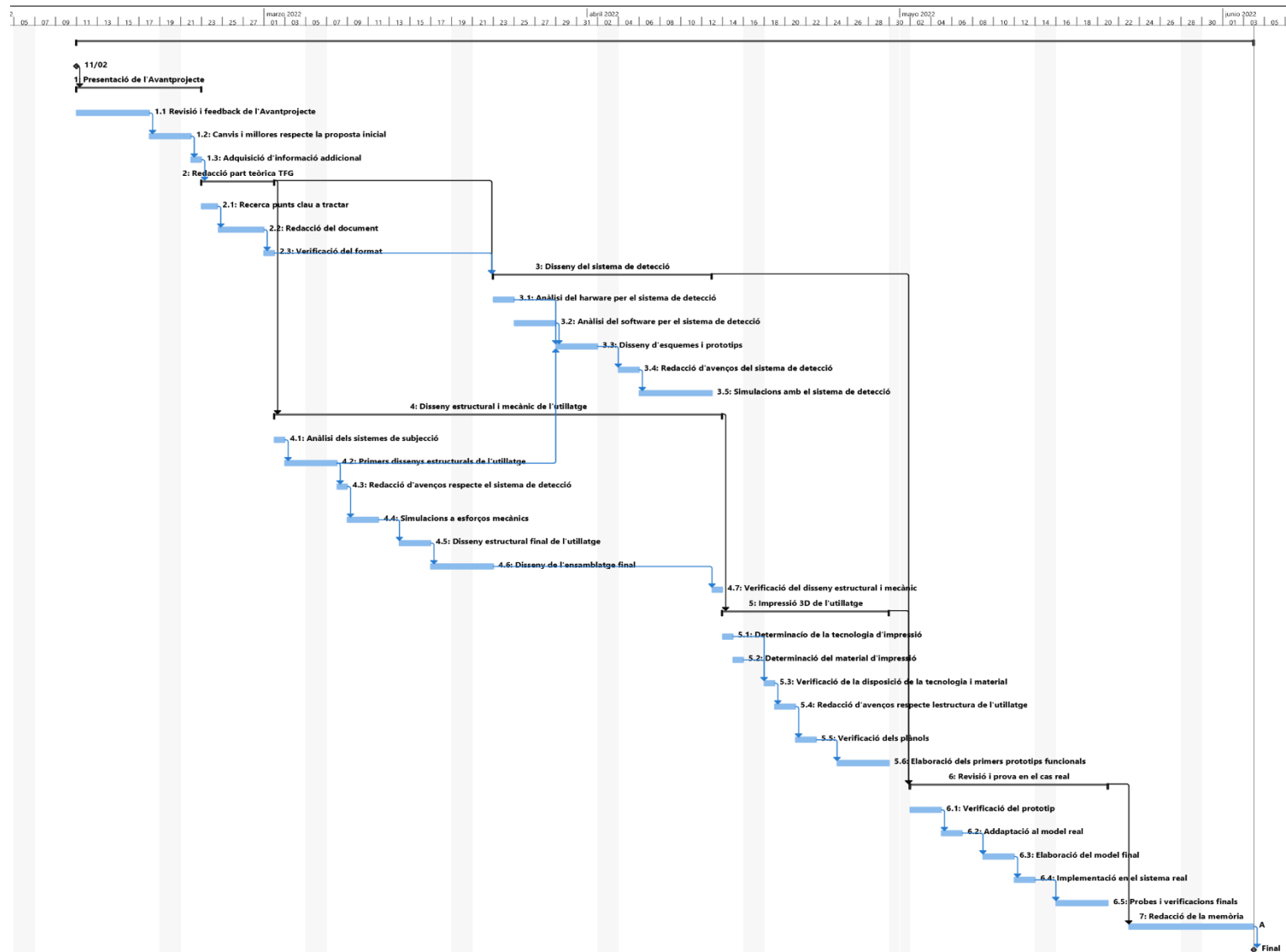


Figura 11.2: Gantt total. Font: Pròpia.

11.2 Punts de control

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

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

Degut a que es vol realitzar un seguiment exhaustiu del progrés del projecte, per tal de poder prevenir qualsevol incident i corregir-lo, seguim els criteris de la **Taula 11.3**, ja que la durada del projecte és d'aproximadament 4 mesos, s'ha decidit agafar una freqüència de control lleugerament major a la indicada, i realitzar un punt de control cada dues setmanes.

Taula 11.3: Criteri de freqüència de punts de control. Font: [83].

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

Aleshores, seguint aquest format s'obtenen un total de 8 punts de control, que es repartiran tal i com s'indica a la **Figura 11.3**. També es pot veure de manera més detallada a la **Taula 11.4**.

Taula 11.4: Punts de control. Font.: Pròpia.

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

febrero de 2022	↑ ↓	marzo de 2022	↑ ↓	abril de 2022	↑ ↓
lu. ma. mi. ju. vi. sáb. do.		lu. ma. mi. ju. vi. sáb. do.		lu. ma. mi. ju. vi. sáb. do.	
31 1 2 3 4 5 6		28 1 2 3 4 5 6		28 29 30 31 1 2 3	
7 8 9 10 11 12 13		7 8 9 10 11 12 13		4 5 6 7 8 9 10	
14 15 16 17 18 19 20		14 15 16 17 18 19 20		11 12 13 14 15 16 17	
21 22 23 24 25 26 27		21 22 23 24 25 26 27		18 19 20 21 22 23 24	
28 1 2 3 4 5 6		28 29 30 31 1 2 3		25 26 27 28 29 30 1	
mayo de 2022	↑ ↓	junio de 2022	↑ ↓		
lu. ma. mi. ju. vi. sáb. do.		lu. ma. mi. ju. vi. sáb. do.			
25 26 27 28 29 30 1		30 31 1 2 3 4 5			
2 3 4 5 6 7 8		6 7 8 9 10 11 12			
9 10 11 12 13 14 15		13 14 15 16 17 18 19			
16 17 18 19 20 21 22		20 21 22 23 24 25 26			
23 24 25 26 27 28 29		27 28 29 30 1 2 3			
30 31 1 2 3 4 5					

Figura 11.3: Calendari amb punts de control. Font: Pròpia.

11.3 Gestió d'Incidències i Riscos

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

A la **Taula 11.5**, s'han llistat una sèrie de riscos que poden aparèixer durant la realització del projecte, avaluant-los amb un valor de “Nivell de Risc” que segueix una escala de l'1 al 5. On el 5 es considera com a un risc de nivell crític, molt urgent a tractar, amb prioritat sobre qualsevol altre, mentre que el risc 1 és un risc amb prioritat mínima.

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

Taula 11.5: Llistat de riscos i retard. Font: Pròpia.

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

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

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

11.4 Seguiment i control del projecte

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

En total hi ha hagut 8 punts de control, repartits segons la **Taula 11.4**.

11.4.1 Primer punt 21/02/2022

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

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

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

Fins ara es segueix amb la planificació i els terminis.

11.4.2 Segon punt 07/03/2022

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

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

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

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

Tot va dintre de termini.

11.4.3 Tercer punt 21/03/2022

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

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

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

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

11.4.4 Quart punt 04/04/2022

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

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

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

Tot va dintre de termini.

11.4.5 Cinquè punt 18/04/2022

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

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

Tot va dintre de termini.

11.4.6 Sisè punt 02/05/2022

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

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

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

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

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

11.4.7 Setè punt 16/05/2022

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

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

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

11.4.8 Vuitè punt 30/05/2022

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

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

S'ha començat amb la redacció de les memòries.

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

12. CONCLUSIONS I TREBALL DE FUTUR

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

12.1 Introducció

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

En aquesta part del treball es desenvolupen els aspectes electrònics, els quals inclouen el disseny d'un sistema de detecció de peces, la connexió d'aquest sistema a l'IoT i finalment la implementació d'un sistema de verificació mitjançant visió artificial.

12.2 Conclusions

L'objectiu principal d'aquesta part treball era incorporar aquest seguit de funcionalitats esmentades, amb l'utilatge dissenyat a la memòria de mecànica, per donar-li un valor afegit, especialment de fiabilitat i connectivitat.

Primerament, s'ha desenvolupat el sistema de detecció de peces, analitzant en l'àmbit teòric els components necessaris, per més endavant acabar dissenyant el circuit electrònic que permeti obtenir la funcionalitat desitjada.

Aleshores s'ha connectat aquest sistema de detecció com a sistema IoT. Per això s'han analitzat els diferents protocols de comunicació, per finalment tenir a disposició les dades llegides al sensor, en una pàgina web, mitjançant un servidor.

Finalment, amb un programa en *Python*, s'ha implementat visió artificial per mesurar les dimensions dels colzes, a partir d'una imatge. S'ha fet una anàlisi de l'estat de la visió artificial a la indústria, s'han estudiat els principals algorismes emprats i per assegurar la precisió més gran possible de les mesures, s'ha calibrat la càmera.

Amb tot això s'ha realitzat una prova del resultat amb imatges en un entorn ideal, i després amb un entorn més real.

S'ha pogut arribar a la conclusió de que la connectivitat dels dispositius en un entorn industrial pot oferir una gran quantitat de beneficis, reduït el temps de parades, i minimitzant els errors de producció.

En aquest treball s'ha desenvolupat el sistema IoT de manera individual, sense tenir en compte que existeix la possibilitat que en la planta de producció poden haver-hi d'altres. Per aquesta raó, si aquest fos el cas, seria convenient harmonitzar els protocols i integrar els sistemes en què la comunicació entre ells fos important.

D'altra banda, s'ha pogut comprovar com el sistema de visió artificial, en un entorn ideal o de laboratori ofereix resultats molt bons i precisos, però que en condicions reals, on la llum i el hardware emprat són factors a considerar, la qualitat dels resultats disminueix.

12.3 Treball de futur

En aquest treball s'ha desenvolupat un prototip del sistema de detecció el qual només implementa un únic sensor. Aleshores, una de les primeres addicions, de cara a un model més avançat, seria la implementació dels onze sensors restants, així com tots els elements que els acompanyen (resistències, cables, etc.).

A partir d'aquest punt seria possible afegir el sistema a l'utilitatge, i a partir d'aquell punt verificar el seu funcionament en condicions reals, i realitzar els canvis necessaris perquè faci la seva tasca de manera òptima.

Tal com ja s'ha comentat, el sistema IoT dissenyat, s'ha dissenyat com a sistema independent. Aleshores seria interessant, quan el projecte es trobi en una etapa més avançada, enfocada a la implementació final, revisar els protocols i decidir si convé utilitzar un diferent.

Finalment, per poder arribar a integrar el sistema de control de qualitat amb visió artificial, es necessita determinar el hardware que s'usarà (càmeres, llums, etc.), abans de començar a fer proves de cara a un model final.

Adicionalment, seria molt atractiu afegir al programa un sistema per aconseguir l'escala de conversió de píxels a *mm* de manera automàtica. Això es podria fer mitjançant patrons de referència dels quals es coneguéssin la mida,. Detectant-los en la foto o mateix vídeo que els colzes i mesurant-los amb visió artificial, es podria fer la conversió de píxels a mil·límetres de manera automàtica.

Bibliografia

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

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

- [22] «Radial gripper DHRS,» FESTO, [En línia]. Available: https://www.festo.com/gb/en/p/radial-gripper-id_DHRS/?q=~:festoSortOrderScored. [Últim accés: 2021].
- [23] «Ventosa Festo VASB-15-1/8-NBR,» RS Components, [En línia]. Available: <https://pt.rs-online.com/web/p/ventosas-neumaticas/2038218>.
- [24] J.-Y. Chen, K.-C. Tai i G.-C. Chen, «Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform,» *Procedia CIRP*, 2017, pp. 150-155.
- [25] V. Espinosa, «Instrumentació,» de *Apunts Enginyeria Electrònica, Tecnocampus, UPF*, 2019-2020.
- [26] Amazon, «Heschen Interruptor capacitivo del sensor de proximidad,» [En línia]. Available: https://www.amazon.es/gp/product/B07XJ9ZRKK/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o06_s00?ie=UTF8&psc=1.
- [27] Amazon, «ESP32 Dev Kit C,» [En línia]. Available: <https://www.amazon.es/AZDelivery-ESP-32-Dev-Kit-Parent/dp/B07Z83MF5W?th=1>.
- [28] Amazon, «PC817 optoacoplador,» [En línia]. Available: https://www.amazon.es/BOJACK-optoacoplador-instalaci%C3%B3n-PC817C-paquete/dp/B08CXKZ98W/ref=sr_1_5?crd=3TQFK6D6M8JY2&keywords=Optoacoplador+PC817&qid=1653816265&s=industrial&sprefix=optoacoplador+pc817%2Cindustrial%2C75&sr=1-5.
- [29] M. Pons i L. Janer, «Desenvolupament de sistemes IIoT,» de *Apunts Enginyeria Electrònica Tecnocampus, UPF.*, 2022.
- [30] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham i T. Watson, «The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework,» de *Computers in Industry*, 2018, pp. 1-12.
- [31] WINSYSTEMS, «Cloud, Fog and Edge Computing – What’s the Difference?,» [En línia]. Available: <https://www.winsystems.com/cloud-fog-and-edge>

computing-whats-the-difference/. [Últim accés: 2022].

- [32] P. AG, «IT Explained: MQTT,» [En línia]. Available: <https://www.paessler.com/es/it-explained/mqtt>.
- [33] P. Data, «MQTT vs CoAP, la batalla por ser el mejor protocolo IoT,» [En línia]. Available: <https://www.pickdata.net/es/noticias/mqtt-vs-coap-mejor-protocolo-iot>.
- [34] Intel, «¿Qué es la Visión artificial?,» [En línia]. Available: <https://www.intel.es/content/www/es/es/manufacturing/what-is-machine-vision.html>.
- [35] Cognex, «VISIÓN ARTIFICIAL,» [En línia]. Available: <https://www.cognex.com/es-mx/what-is/machine-vision/applications/identification>.
- [36] S. M. Vision, «Robótica guiada por visión artificial,» [En línia]. Available: <https://solidmachinevision.com/es/robotica-guiada-vision-artificial/>.
- [37] Mottus, «Medición automatizada de piezas mediante visión artificial,» [En línia]. Available: <https://www.mottus.es/medicion-automatizada-de-piezas-mediante-vision-artificial/>.
- [38] E. Robotics, «Inspección de alimentos con sistemas de visión artificial,» [En línia]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/inspeccion-alimentos-vision-artificial/>.
- [39] Infaimon, «Técnicas de Iluminación,» [En línia]. Available: <https://infaimon.com/enciclopedia-de-la-vision/tecnicas-de-iluminacion/>.
- [40] O. CV. [En línia]. Available: <https://docs.opencv.org/4.5.5/>.
- [41] «Distorsió Radial,» [En línia]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/36071089/camera-calibration-is-this-radial-distortion-how-do-i-undistort-it>.

- [42] W. Burger, «Zhang's Camera Calibration Algorithm: In-Depth Tutorial and Implementation,» 2016. [En línia]. Available: https://www.researchgate.net/publication/303233579_Zhang's_Camera_Calibration_Algorithm_In-Depth_Tutorial_and_Implementation.
- [43] Nvidia, «Pinhole Camera Model,» [En línia]. Available: https://docs.nvidia.com/vpi/appendix_pinhole_camera.html.
- [44] Z. Zhang, «Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations,» Microsoft Research, [En línia]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/11/zhan99.pdf>.
- [45] C. Kanan i G. W. Cottrell, «Color-to-Grayscale: Does the Method Matter in Image Recognition?,» 10 01 2012. [En línia]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029740>.
- [46] B. Rohrer, «How to Convert an RGB Image to Grayscale,» 2019. [En línia]. Available: <https://www.kdnuggets.com/2019/12/convert-rgb-image-grayscale.html>.
- [47] OpenCV, «Color conversions,» [En línia]. Available: https://docs.opencv.org/3.4/de/d25/imgproc_color_conversions.html.
- [48] W. Rong, Z. Li, W. Zhang i L. Sun, An improved Canny edge detection algorithm, 2014.
- [49] OpenCV, «Canny Edge Detection,» [En línia]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/da/d22/tutorial_py_canny.html.
- [50] «Line Detection by Hough transformation,» [En línia]. Available: https://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/HoughTrans_lines_09.pdf.
- [51] OpenCV, «Hough Circle Transform,» [En línia]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/da/d53/tutorial_py_houghcircles.html.

- [52] «UNE-EN ISO 12100:2012,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-12100-2012-n0049405>. [Últim accés: 2022].
- [53] «UNE-EN ISO 13854:2020,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-13854-2020-n0064550>. [Últim accés: 2021].
- [54] «UNE-EN ISO 13850:2016,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-13850-2016-n0056444>. [Últim accés: 2022].
- [55] «UNE-EN IEC 61496-1:2021,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iec-61496-1-2021-n0065479>. [Últim accés: 2022].
- [56] «UNE-EN 61131-5:2001,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-61131-5-2001-n0026113>. [Últim accés: 2022].
- [57] «UNE-EN 61131-6:2012,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-61131-6-2012-n0050437>. [Últim accés: 2022].
- [58] «UNE-EN ISO 10218-1:2012,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10218-1-2012-n0049289>. [Últim accés: 2022].
- [59] «UNE-EN ISO 10218-2:2011,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10218-2-2011-n0048668>. [Últim accés: 2022].
- [60] «PD ISO/TR 20218-1:2018,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-bisi-pd-iso-tr-20218-1-2018-00000000030366625>. [Últim accés: 2022].
- [61] «UNE-EN ISO 888:2019,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-888-2019-n0061750>. [Últim accés: 2022].

- [62] «UNE-EN ISO 10510:2011,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10510-2011-n0048449>. [Últim accés: 2022].
- [63] «UNE-EN ISO 225:2011,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-225-2011-n0047727>. [Últim accés: 2022].
- [64] «UNE-EN ISO 10666:2000,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-10666-2000-n0022771>. [Últim accés: 2022].
- [65] «UNE-EN 20898-7:1996,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-20898-7-1996-n0010953>. [Últim accés: 2022].
- [66] «UNE 16604:1991,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-16604-1991-n0000746>. [Últim accés: 2022].
- [67] «UNE 18106:1986,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-18106-1986-erratum-n0000882>. [Últim accés: 2022].
- [68] «UNE-EN ISO 26909:2010,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-26909-2010-n0045353>. [Últim accés: 2022].
- [69] «UNE-EN ISO 2162-1:1997,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-2162-1-1997-n0013340>. [Últim accés: 2022].
- [70] «UNE-EN 13906-1:2013,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-13906-1-2013-n0051544>. [Últim accés: 2022].
- [71] «UNE-EN ISO 180:2020,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0064437>. [Últim accés: 2022].
- [72] «UNE-EN ISO 15013:2008,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-15013-2008-n0040567>. [Últim accés: 2022].

- [73] «UNE-EN ISO 19062-1:2016,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-19062-1-2016-n0057310>. [Últim accés: 2022].
- [74] «UNE-CEN/TR/ISO/ASTM 52912:2020,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-cen-tr-iso-astm-52912-2020-n0064770>. [Últim accés: 2022].
- [75] «UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52900-2017-n0059196>. [Últim accés: 2022].
- [76] «UNE-EN ISO/ASTM 52911-2:2020,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52911-2-2020-n0064850>. [Últim accés: 2022].
- [77] «UNE-EN ISO/ASTM 52910:2020,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063724>. [Últim accés: 2022].
- [78] «UNE-EN ISO/ASTM 52903-1:2021,» [En línia]. Available: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-astm-52903-1-2021-n0065805>. [Últim accés: 2022].
- [79] «UNE-EN 50325-1:2019,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0063121>. [Últim accés: 2022].
- [80] «UNE-EN 303348 V1.2.1,» [En línia]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0066409>. [Últim accés: 2022].
- [81] «Oficina Española de Patentes y Marcas,» [En línia]. Available: <https://www.oepm.es/es/index.html>. [Últim accés: 2022].
- [82] A. Barlocchi, «Patents i Universitat, Breu introducció a la propietat industrial,» de *ZBM Patents & Trademarks*, TecnoCampus, Mataró-Maresme, 2021.
- [83] F. FLores i P. Palacios, «Gestió de Projectes II,» de *Apunts Enginyeria Mecànica*

i Electrònica, 2021.

- [84] Z. Bi, «Chapter 1 - Overview of Finite Element Analysis,» de *Finite Element Analysis Applications*, Academic Press, 2018, pp. 1-29.
- [85] J. R. Gomà i A. Gonzalez, «Modelització i Simulació,» de *Apunts Enginyeria Mecànica Tecnocampus*, UPF, 2021.
- [86] «COMHER,» [En línia]. Available: <https://comher.com/>. [Últim accés: 2022].
- [87] «FDM 3D printed end-of-arm tooling,» Stratasys, [En línia]. Available: <https://www.stratasys.com/tooling/jigs-and-fixtures-made-simple/ea-tooling>. [Últim accés: 2022].
- [88] «Stratasys,» [En línia]. Available: <https://www.stratasys.com/es/corporate/about-us>.
- [89] SCHMALZ, «Lightweight Gripping System SLG,» SCHMALZ, [En línia]. Available: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/lightweight-gripping-systems-slg/>. [Últim accés: 2022].
- [90] FESTO, «Parallel gripper,» [En línia]. Available: <https://www.festo.com/de/en/a/8116765/?q=~:sortByFacetValues-asc>. [Últim accés: 2022].
- [91] Festo, «Push-in fitting,» [En línia]. Available: <https://www.festo.com/de/en/a/153303/>. [Últim accés: 2022].
- [92] H. A. P. company, «What is 3D printing?,» [En línia]. Available: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/#chap>. [Últim accés: 2022].
- [93] «HP Jet Fusion 5200,» MAQUINSER, [En línia]. Available: <https://www.maquinser.com/producto/hp-jet-fusion-5200/>. [Últim accés: 2022].
- [94] Materialise, «PA 12 (sls),» [En línia]. Available: <https://www.materialise.com/es/manufacturing/materiales/pa-12-sls>. [Últim accés: 2022].

- [95] Xometry, «Nylon PA 12 (SLS, MJF),» [En línia]. Available: <https://xometry.eu/en/materials/nylon-pa12-sls/>. [Últim accés: 2022].
- [96] Cognex, «COMPONENTES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL,» [En línia]. Available: <https://www.cognex.com/es-mx/what-is/machine-vision/components>.