



Centros universitarios adscritos a la



Grau en enginyeria electrònica i automàtica

**Implementació del sensor HEX-E en el robot col·laboratiu
TM5-900**

Memòria

**Pau Comajuan Bermúdez
PONENT: Josep López Xarbau**

TARDOR/PRIMAVERA 2022/2023



Dedicatòria

Aquest projecte va dedicat la meva família, amics i totes aquelles persones que m'han donat suport i han confiat en mi durant tots aquests anys, ja que sense tots ells no podria haver arribat fins aquí.

Agraïments

Voldria donar les gràcies a la meva mare i el meu pare per haver confiat en mi durat tots aquests anys, ja que inclús en els moments més difícils, han estat al meu costat, donar-me suport tant en els meus estudis com en les meves decisions personals.

Per últim, donar les gràcies a tots els professors que han format part del meu recorregut acadèmic, en especial a en Josep López Xarbau, pel seguiment i tota l'ajuda que m'ha ofert durant el transcurs del projecte.

Resum

L'objectiu principal d'aquest projecte és la implementació del sensor HEX-E V2 en el robot col·laboratiu TM5-900. Aquest projecte explora l'adaptació del sensor per millorar les capacitats del robot en aplicacions industrials específiques com la detecció d'obstacles, la separació de peces en línies de producció, l'assemblatge de components i l'acabat de superfícies. S'han realitzat diversos estudis de viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental per assegurar l'èxit del projecte.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es la implementación del sensor HEX-E V2 en el robot colaborativo TM5-900. Este proyecto explora la adaptación del sensor para mejorar las capacidades del robot en aplicaciones industriales específicas como la detección de obstáculos, la separación de piezas en líneas de producción, el ensamblaje de componentes y el acabado de superficies. Se han realizado diversos estudios de viabilidad técnica, económica y medioambiental para asegurar el éxito del proyecto.

Abstract

The main objective of this project is the implementation of the HEX-E V2 sensor in the collaborative robot TM5-900. This project explores the adaptation of the sensor to enhance the robot's capabilities in specific industrial applications such as obstacle detection, part separation in production lines, component assembly, and surface finishing. Various technical, economic, and environmental feasibility studies have been conducted to ensure the project's success.

Índex

Índex de figures	V
Índex de taules	IX
Glossari de termes	XI
1. Objectius	1
1.1 Propòsit	1
1.2 Finalitat	1
1.3 Objecte	1
1.4 Abast	1
1.5 Líneas del projecte	1
2. Introducció teòrica	3
2.1 Introducció general	3
2.2 COBOTS	3
2.2.1 Aplicacions actuals en l'indústria	3
2.2.2 TM5-900	5
2.2 Sensor HEX-E V2	7
2.2.1 Característiques i aplicacions principals	7
2.2.2 OnRobot	8
2.3 TMflow	9
2.4 Normatives	10
3. Objectius i especificacions tècniques	11
3.1 Objectius	11

II

3.2 Especificacions tècniques.....	12
3.2.1 TM5-900.....	12
3.2.2 HEX-E V2	14
3.2.3 RG2 FINGUER GRIPPER.....	16
4. Estudi i preparació de l'entorn	19
4.1 Condicions de contorn.....	19
4.1.1 Muntatge del sensor	19
4.1.2 Calibratge del sensor	21
4.1.3 Disseny elements necessaris.....	22
4.2 Definició de les característiques del projecte	25
5. Desenvolupament de les aplicacions.....	31
5.1 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball	31
5.2 Separació de peces en una línia de producció	34
5.3 Assemblatge i/o inserció de components	39
6.4 Acabat de superfícies.....	44
6. Posada en marxa.....	51
6.1 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball	51
6.1.1 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball – Robot	51
6.1.2 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball - Persona	52
6.1.3 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball – Aplicació en la indústria	52
6.2 Separació de peces en una línia de producció	53

6.2.1 Separació de peces en una línia de producció – Robot	53
6.2.2 Separació de peces en una línia de producció – Persona.....	56
6.2.3 Separació de peces en una línia de producció – Aplicació en la indústria	56
6.3 Assemblatge i/o inserció de components.....	57
6.3.1 Assemblatge i/o inserció de components – Robot.....	57
6.3.2 Assemblatge i/o inserció de components – Persona	59
6.3.3 Assemblatge i/o inserció de components – Aplicació en la indústria.....	59
6.4 Acabat de superfícies	59
6.4.1 Acabat de superfícies – Robot	60
6.4.2 Acabat de superfícies – Persona	62
6.4.3 Acabat de superfícies - Aplicació en la indústria.....	62
7. Planificació	65
7.1 Planificació original.....	65
7.2 Desviacions.....	66
8. Anàlisi de viabilitat	69
8.1 Viabilitat econòmica	69
4.2 Viabilitat tècnica	70
8.3 Viabilitat mediambiental.....	71
9. Perspectiva de gènere	73
10. Conclusions	75
10.1 Passos Futurs	75
11. Referències	77

Índex de figures

Figura 2.1 COBOT YuMi de ABB [2]	4
Figura 2.2 LBR iiwa 14 de KUKA [4]	5
Figura 2.3 TM5-900 en el LAB4 [Font pròpia]	5
Figura 2.4 Dimensions TM5-900 [8].....	6
Figura 2.5 Distribució eixos TM5-900 [8]	7
Figura 2.6 Vista del sensor HEX-E [9]	8
Figura 3.1 Diagrama rang de moviment segons DOF, vista lateral [8]	13
Figura 3.2 Diagrama rang de moviment segons DOF, vista aèria [8]	13
Figura 3.3 Relació entre el payload i la distància amb el centre de gravetat [8]	14
Figura 3.4 Relació força-parell en els eixos Txy i Fxyz [9].....	15
Figura 3.5 Relació força-parell en els eixos Tz i Fxyz [9]	15
Figura 3.6 Gràfica velocitat pinça segons amplada i força aplicada [17]	15
Figura 3.7 Rang actuació i dimensions pinça [17]	17
Figura 3.8 Visualització muntatge grip original [17].....	17
Figura 4.1 Unió sensor HEX-E amb els adaptadors [18]	19
Figura 4.2 Indicació connexió pin M12-12 sensor [18]	20
Figura 4.3 Indicació port de connexió amb els dispositius [18]	20
Figura 4.4 Sistema cablejat eina – control box [18]	20
Figura 4.5 Menú “Divices” en el “Web Client” [18]	21
Figura 4.6 Posició recomanada sensor durant l’autocalibratge [Font pròpia]	22

Figura 4.7 Primera versió grip [Font pròpia]	23
Figura 4.8 Modelatge sistema en SOLIDWORKS [Font pròpia]	23
Figura 4.9 Resultat final grip [Font pròpia]	24
Figura 4.10 Nous grips instal·lats en el RG2 [Font pròpia].....	24
Figura 4.11 Representació funció “Approaching” [19].....	26
Figura 4.12 Representació de la funció "Searching" en espiral [19]	27
Figura 4.13 Representació de la funció "Searching" lineal [19].....	27
Figura 4.14 Force control node segons coordenades TCP [19]	28
Figura 4.15 Force control node segons base [19].....	28
Figura 4.16 Force control node segons canvi coordenades [19]	29
Figura 5.1 Vista general codi 1 [Font pròpia]	31
Figura 5.2 Característiques moviment “Compliance1” [Font pròpia]	32
Figura 5.3 Configuració criteri aturada “Compliance1” [Font pròpia]	33
Figura 5.4 SUBFLOW “Inicialització” [Font pròpia]	35
Figura 5.5 Fase detecció safata – codi 2 [Font pròpia]	36
Figura 5.6 Fase selecció peça – codi 2 [Font pròpia]	36
Figura 5.7 SUBFLOW “Checkpes” [Font Pròpia]	38
Figura 5.8 Vista general codi 3 [Font pròpia]	40
Figura 5.9 Característiques subfase aproximació [Font pròpia]	41
Figura 5.10 Característiques subfase cerca [Font pròpia]	42
Figura 5.11 Característiques subfase inserció [Font pròpia]	42

Figura 5.12 SUBFLOW “Pass” [Font pròpia]	43
Figura 5.13 SUBFLOW “Fail” [Font pròpia]	44
Figura 5.14 Vista general codi 4 [Font pròpia]	45
Figura 5.15 Programació node “TouchStop1” – Codi 4 [Font pròpia]	46
Figura 5.16 Programació node “Force1” – Codi 4 [Font pròpia]	46
Figura 5.17 SUBFLOW “Tram 1” [Font pròpia]	47
Figura 5.18 Programació node “Move1” – Codi 4 [Font pròpia].....	48
Figura 5.19 SUBFLOW “Tram 2&3” [Font pròpia]	49
Figura 5.20 Programació node “Circle1” – Codi 4 [Font pròpia]	49
Figura 5.21 Programació node “Move2” – Codi 4 [Font pròpia]	50
Figura 6.1 Posició P8 – codi 1 [Font pròpia]	51
Figura 6.2 Posició P10 – codi 1 [Font pròpia]	52
Figura 6.3 Posició P3 – codi 2 [Font pròpia]	53
Figura 6.4 Posició P16 – codi 2 [Font pròpia]	54
Figura 6.5 Posició P10 – Codi 2 [Font pròpia].....	54
Figura 6.6 Posició P17 – Codi 2 [Font pròpia]	55
Figura 6.7 Posició P20 – codi 2 [Font pròpia]	55
Figura 6.8 Posició P4 – Codi 3 [Font pròpia]	57
Figura 6.9 Posició P6 – Codi 3 [Font pròpia]	57
Figura 6.10 Posició TCP procés inserció OK [Font pròpia]	58
Figura 6.11 Posició P8 – Codi 3 [Font pròpia]	58

VIII

Figura 6.12 Posició P74 – Codi 4 [Font pròpia]	60
Figura 6.13 Posició P77 – Codi 4 [Font pròpia]	60
Figura 6.14 Punt mitjà semicercle – Codi 4 [Font pròpia]	61
Figura 6.15 Punt final semicercle – Codi 4 [Font pròpia]	61
Figura 6.16 Posició P78 – Codi 4 [Font pròpia]	62
Figura 7.1 Diagrama de Gantt 25/12/2023 a 23/2/2024 [Font pròpia]	65
Figura 7.2 Diagrama de Gantt 12/2/2024 a 13/4/2024 [Font pròpia]	66
Figura 7.3 Diagrama de Gantt 8/4/2024 a 4/6/2024 [Font pròpia]	66
Figura 7.4 Diagrama de Gantt desviacions del 25/2024 a 4/6/2024 [Font pròpia]	67
Figura 7.5 Diagrama de Gantt desviacions del 15/3/2024 a 4/6/2024 [Font pròpia].....	68

Índex de taules

Taula 3.1 Característiques principals braç [8].....	12
Taula 3.2 Característiques eixos [8]	12
Taula 3.3 Característiques armari de control [8].....	12
Taula 3.4 Característiques principals sensor [8]	14
Taula 3.5 Característiques principals pinça [17]	16
Taula 4.1 Valor segons motiu aturada [19]	25
Taula 7.1 Llistat de tasques [Font pròpia]	65
Taula 7.2 Llistat de tasques – Desviacions [Font pròpia]	67
Taula 8.1 Fluxos de caixa nets anuals [Font pròpia]	70
Taula 8.2 Accions impactats durant les diverses fases [Font pròpia]	71
Taula 8.3 Avaluació efecte sobre factors ambientals [Font pròpia].....	71

Glossari de termes

CNC	“Cumputer Numerical Control”
DOF	“Degree of freedom”
EN	“European normative”
I/O	“Input/Output”
ICB	“Índex capacitats bàsiques”
INT	Nombres enters
ISO	“International Organization for Standardization”
LED	“Light Emitting Diode”
Payload	Capacitat de carrega en el TCP
TCP	“Tool center point”
UNE	“Asociación Española de Normalización”
UTP	“Unshilded Rwisted Pair”
VAN	“Valor Actual Net”

1. Objectius

En aquest capítol, es desenvoluparan els objectius del projecte.

1.1 Propòsit

Integració el sensor HEX-E en el robot col·laboratiu TM5-900 del laboratori i desenvolupament de diverses aplicacions mitjançant les característiques del mateix sensor.

1.2 Finalitat

Adaptar el sensor HEX-E per a una integració òptima amb el robot TM5-900, aprofundint en la programació i la calibració necessàries per a una operació precisa i eficient. Demostrant la viabilitat i avantatges que representa la integració de nous sistemes a la tecnologia actual.

1.3 Objecte

Desenvolupar el programa i els elements complementaris, tals com adaptadors o preformes, per posteriorment efectuar la posada en marxa del projecte en el COBOT TM5-900.

1.4 Abast

Especificar les característiques tècniques dels diversos elements que componen el sistema, desenvolupar un seguit de programes enfocats a aprofitar les diverses característiques del sensor i desenvolupar tota la documentació / elements necessaris per efectuar les tasques de forma efectiva.

No es contemplen ni la possibilitat de traslladar les aplicacions desenvolupades a l'àmbit industrial real.

1.5 Líneas del projecte

Aquest projecte segueix les línies vistes en les diferents assignatures d'Automatització i robòtica, juntament amb tots els coneixements adquirits durant l'etapa universitària, en especial els coneixements adquirits en l'assignatura de gestió de projectes.

2. Introducció teòrica

En aquest capítol, es donarà una breu introducció general sobre les línies del projecte juntament amb la teoria relacionada amb aquest.

2.1 Introducció general

Durant les últimes dècades, les empreses de diferents sectors han experimentat un moviment important cap a l'automatització de part dels seus processos productius, en alguns casos fins i tot en la totalitat d'aquests.

Per això, és crucial adaptar-se als nous mètodes de treball i d'organització en les fàbriques, comprenent el que implica col·laborar amb autòmats i aconseguir crear un entorn de treball on les persones puguin interactuar amb els robots de manera beneficiosa.

En aquest treball, s'enfocarà en l'ús d'un sensor de força acoblat a un robot, el qual li permetrà dur a terme tasques de precisió, com ara assemblatges o el moviment de materials i/o peces.

2.2 COBOTS

Els COBOTS o robots col·laboratius són un tipus de robots dissenyats específicament per treballar juntament amb les persones en un mateix espai, sense necessitat d'un perímetre de seguretat que protegeixi els operaris del moviment del robot. [1]

Això és possible gràcies al fet que aquests robots porten incorporats diversos sensors capaços de detectar si han xocat amb alguna persona i poder aturar el moviment per evitar danys. Els seus moviments estan programats amb menys força i velocitat que els robots que necessiten un perímetre de seguretat per operar.

2.2.1 Aplicacions actuals en l'indústria

Els COBOTS tenen el potencial d'implementar-se en la majoria de les indústries i en el sector dels serveis, com ara la restauració o la medicina. Actualment, ja s'estan incorporant en algunes indústries de manera consistent i en menor escala en el sector dels serveis.

Algun dels robots més habituals són els següents:

· Exemple YuMi de ABB [2]:

El robot IBR 14000 representant en la figura 2.1, també conegut com a YuMi (acrònim de You and Me), és un dels robots més utilitzats en l'automatització de tasques mitjançant robots col·laboratius. Això es gràcies a la versatilitat que ofereixen els seus dos braços i la tecnologia que li permet treballar en el mateix espai de treball que les persones.



Figura 2.1 COBOT YuMi de ABB [2]

· LBR iiwa de KUKA [3]:

Es tracta d'una sèrie de robots lleugers destinats a realitzar tasques de muntatge en planta, amb l'objectiu d'eliminar les zones de seguretat perquè els operaris puguin transitar amb més facilitat per les zones de treball. En la figura 2.2 es pot veure el LBR iiwa 14.

Això és possible gràcies als seus sensors de força articulats, els quals són capaços de detectar el contacte de manera immediata i reduir la força o velocitat del moviment actual per evitar danys als operaris.



Figura 2.2 LBR iiwa 14 de KUKA [4]

2.2.2 TM5-900

Aquest és el model de robot col·laboratiu que s'utilitzarà per desenvolupar el projecte, de la marca *Techman Robot Inc.* (col·laboradors de OMRON), el qual està instal·lat en el laboratori de fabricació y mecatrònica del TecnoCampus (TCM1), tal com es pot veure en la figura 2.3. [5][6]



Figura 2.3 TM5-900 en el LAB4 [Font pròpia]

La sèrie TM5 inclou diversos models que varien en diferents aspectes com pes, abast o dimensions. Aquests robots ofereixen gran versatilitat i adaptabilitat en nombroses aplicacions, permetent l'automatització de diversos processos industrials sense necessitat d'aïllar-los de les zones de treball i possibilitant la coexistència en un mateix espai amb els operaris.

El robot permet la instal·lació d'una càmera de visió artificial que l'ajuda a dur a terme diverses tasques, com ara el posicionament, mesures o identificacions d'objectes. Això amplia significativament les possibilitats a l'hora de programar o automatitzar processos.

L'entorn de programació del TM5-900 és el TMflow [7]. Aquest programari permet preparar programes mitjançant blocs de codi preestablerts o dissenyar moviments mitjançant el guiatge manual del robot. En la següent figura es poden visualitzar les mides generals del robot.

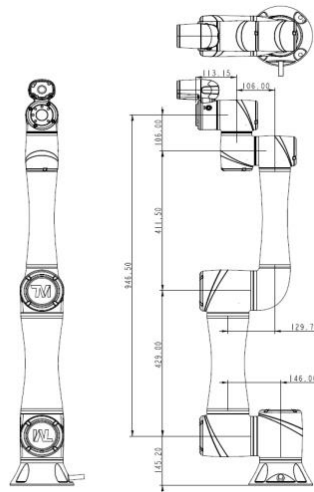


Figura 2.4 Dimensions TM5-900 [8]

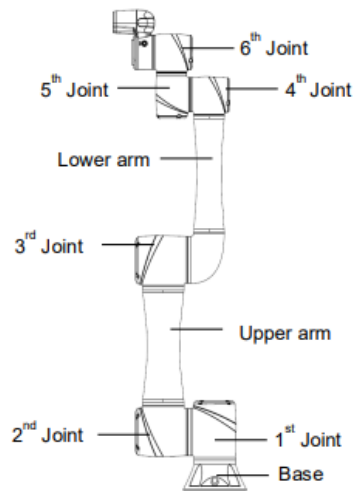


Figura 2.5 Distribució eixos TM5-900 [8]

Tal com es pot apreciar a la figura 2.5, el model TM5-900 disposa de 6 eixos de rotació, els quals li permeten arribar a gairebé qualsevol punt dins del seu espai de treball.

2.2 Sensor HEX-E V2

En aquest apartat es tractaran les diverses característiques del sensor, juntament amb informació sobre el seu fabricant i altres models.

2.2.1 Característiques i aplicacions principals

El sensor HEX-E de OnRobot és una eina de tecnologia avançada dissenyada per a robots industrials, concebuda per a la detecció precisa de forces i parells en diverses aplicacions. Aquest sensor permet als robots realitzar tasques que requereixen un control tàctil i de força en sis eixos, millorant la precisió i l'eficàcia en les operacions de muntatge, poliment, llimat i altres processos, en altres paraules “donar-li el sentit del tacte al robot”. En la figura 2.6 es pot observar una vista lateral del sensor.



Figura 2.6 Vista del sensor HEX-E [9]

Les característiques clau del sensor inclouen la capacitat de mesurar forces de fins a 250 N en els eixos X, Y i Z, i parells de fins a 5 Nm en els eixos de rotació, gràcies als seus 6 eixos. Això proporciona una versatilitat excepcional per a una àmplia gamma d'aplicacions industrials, juntament amb una integració fàcil amb diversos robots i sistemes de control, gràcies al software que porta incorporat. La seva precisió i sensibilitat faciliten la realització de tasques amb una gran delicadesa i control.

Aquestes característiques permeten als robots executar tasques que fins ara no podien dur a terme per la falta d'informació, i prendre decisions en temps real segons els inputs de força que rep en realitzar els moviments o manipulacions.

En les indústries de fabricació i automoció, el sensor HEX-E troba ampli ús en tasques com el muntatge d'objectes delicats, el poliment de superfícies i el control de qualitat, gràcies a la seva capacitat de proporcionar retroalimentació tàctil i de força precisa. També es pot utilitzar en aplicacions de manipulació de materials, com el paletitzat i el muntatge de components electrònics, millorant l'eficiència i la fiabilitat dels processos automatitzats. A més, també pot ser utilitzat per detectar impactes o obstacles durant el funcionament del robot en què estigui instal·lat. [10]

2.2.2 OnRobot

OnRobot és una empresa líder en el camp de la tecnologia robòtica, establerta el 2015 i amb seu a Dinamarca. Destaca pel compromís amb la innovació i l'excel·lència en el desenvolupament i fabricació d'eines i accessoris per a robots industrials. L'enfocament de

L'empresa se centra a proporcionar solucions avançades que permetin l'automatització eficient d'una àmplia gamma de processos industrials. [11]

Dedicada a impulsar l'automatització robòtica, OnRobot ofereix una varietat de productes dissenyats per millorar la versatilitat i el rendiment dels robots en entorns de fabricació. Des de pinces robòtiques fins a sensors i sistemes de visió, l'empresa s'ha posicionat com un referent en la indústria en proporcionar eines que optimitzen tasques com l'assemblea, l'embalatge i el maneig de materials.

Amb un enfocament en la robòtica col·laborativa i la flexibilitat en l'automatització, els productes de OnRobot permeten als fabricants augmentar l'eficiència i la productivitat de les seves operacions. La seva àmplia gamma de solucions ofereix als fabricants la capacitat d'adaptar-se ràpidament a les demandes del mercat i mantenir-se a l'avantguarda de la innovació en la indústria manufacturera.

2.3 TMflow

TMflow [12] és una plataforma de programació de robots desenvolupada per Techman Robot [13], un destacat fabricant de robots col·laboratius. Aquest software ofereix una interfície d'ús amigable i intuïtiva que permet als usuaris programar, simular i controlar els robots col·laboratius de Techman de manera eficient.

Les característiques del software inclouen una interfície gràfica basada en icones i arrossegament, que facilita la creació de programes sense necessitat de tenir experiència prèvia en programació de robots. A més, la plataforma ofereix eines de simulació que permeten als usuaris provar i validar els seus programes abans de desplegar-los en un entorn de producció real.

TMflow és utilitzat en una àmplia gamma d'aplicacions industrials, incloent-hi el muntatge, la manipulació de materials, la paletització i altres tasques de fabricació. Gràcies a les seves característiques avançades i a la seva facilitat d'ús, aquest software contribueix a millorar l'eficiència i la flexibilitat de les operacions robòtiques en diversos sectors industrials.

2.4 Normatives

La implementació del sensor HEX-E al robot TM5-900 requereix complir amb una sèrie de normatives que assegurin la seguretat, la compatibilitat i el rendiment del sistema. Aquestes normatives són fonamentals per garantir que els sistemes electrònics i robòtics operin de manera eficient i segura. A continuació, es descriuen algunes de les principals normatives aplicables a Europa i Espanya, i la seva rellevància en la implementació d'aquest sensor.

Directiva 2006/42/EC – Directiva de Màquines [14]

La Directiva de Màquines 2006/42/EC és una normativa fonamental de la Unió Europea que estableix els requisits essencials de seguretat i salut per al disseny i fabricació de maquinària, incloent-hi sistemes robòtics. Aquesta directiva assegura que el robot TM5-900 i el sensor HEX-E siguin segurs per als operadors i l'entorn, minimitzant riscos d'accidents i fallades operatives.

Norma UNE-EN ISO 10218-1:2011 – Robots i Dispositius Robòtics: Requisits de Seguretat per a Robots Industrials [15]

Aquesta norma especifica els requisits de seguretat per al disseny, fabricació i integració de robots industrials. És essencial per a la implementació del sensor HEX-E al robot TM5-900, assegurant que el sistema compleixi amb els estàndards de seguretat industrial, incloent-hi la prevenció de col·lisions i la protecció contra fallades mecàniques.

Directiva 2014/30/EU – Compatibilitat Electromagnètica (EMC) [16]

La Directiva 2014/30/EU de la Unió Europea estableix els requisits essencials per garantir que els equips electrònics i elèctrics no generin interferències electromagnètiques i siguin immunes a elles. Aquesta normativa és crucial per a la implementació del sensor HEX-E al robot TM5-900, assegurant que el sistema no interfereixi amb altres equips i operi de manera fiable en entorns amb múltiples dispositius electrònics.

3. Objectius i especificacions tècniques

En els següents apartats, es definiran els objectius del projecte i les especificacions tècniques dels components amb els quals es desenvoluparà el mateix.

3.1 Objectius

1. Estudi pràctic

El primer objectiu se centra en la recerca d'informació necessària per poder desenvolupar correctament el projecte, incloent-hi informació sobre el sensor HEX, el COBOT TM5900 i el software essencial per dissenyar el programa, acompanyat d'unes proves per aprendre sobre el funcionament del robot.

Amb aquestes dades, es crea un punt de partida que servirà per definir les aplicacions finals i quins elements es necessiten desenvolupar.

2. Desenvolupament aplicacions

Un cop definides les tasques que ha de realitzar el robot aprofitant les característiques del sensor, es desenvoluparà el codi, les metodologies i els elements necessaris per poder executar-les.

3. Posada en marxa

En tenir el codi preparat, es procedirà a la fase de posada en marxa amb el robot real, on es duran a terme diversos tests amb els programes desenvolupats per comprovar que compleixen amb el seu objectiu de dissenys.

3.2 Especificacions tècniques

En el següent apartat es recullen les especificacions tècniques dels diversos elements que componen el sistema del robot col·laboratiu.

3.2.1 TM5-900

Seguint el document de característiques tècniques proporcionat pel fabricant i informacions de diversos proveïdors, s'obtenen les següents taules, figures i informació.

Pes total	22,6	[kg]
Payload màxim	4	[kg]
Rang operació	900	[mm]
Vel. típica TCP	1,4	[m/s]
Vel. màxima TCP	4	[m/s]
Repetibilitat	±0,05	[mm]
Rang T° funcionament	0~50	[°C]
Grau IP	IP54	
Alimentació I/O	24V&1,5A	

Taula 3.1 Característiques principals braç [8]

Eix	Rang [°]	Vel. Màxima [°/s]
J1	±270	±180
J2	±180	±180
J3	±155	±180
J4	±180	±225
J5	±180	±225
J6	±270	±225

Taula 3.2 Característiques eixos [8]

Pes total	14,5	[kg]
Dimensions	410x210x432	[mm]
Alimentació I/O	24V&1,5A	
Alimentació	100-240VAC@50-60HZ	
Grau IP	IP32	

Taula 3.3 Característiques armari de control [8]

L'armari de control disposa de 16 sortides digitals, 16 entrades digitals, 2 sortides analògiques i 2 entrades analògiques.

La comunicació amb l'armari de control es pot fer a través de RS232, Ethernet (master), Modbus TCP/RTU (master&slave).

L'entorn de programació principal és el TMflow. [7]

El braç disposa de 4 sortides digitals, 4 entrades digitals i 1 entrada analògica.

Les següents dues figures mostren el rang de moviment [en mm] del robot, segons si pot disposar de 5 graus de llibertat (zona verda) o sí que té 6 graus de llibertat (zona blava).

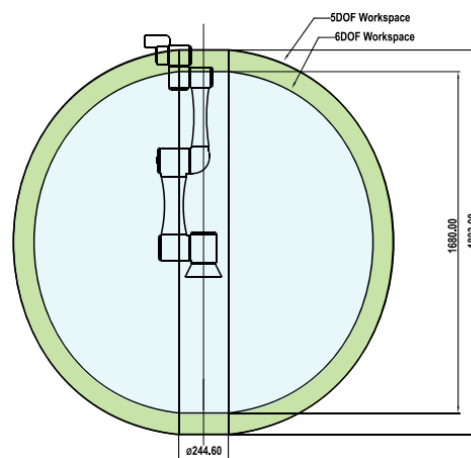


Figura 3.1 Diagrama rang de moviment segons DOF, vista lateral [8]

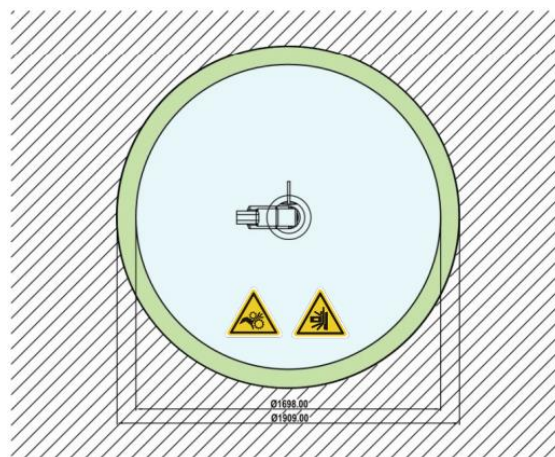


Figura 3.2 Diagrama rang de moviment segons DOF, vista aèria [8]

La figura 3.3 indica la relació entre la càrrega real en l'extrem del robot (*payload*) amb la qual pot treballar segons la distància a la qual es troba respecte al centre de gravetat del mateix robot.

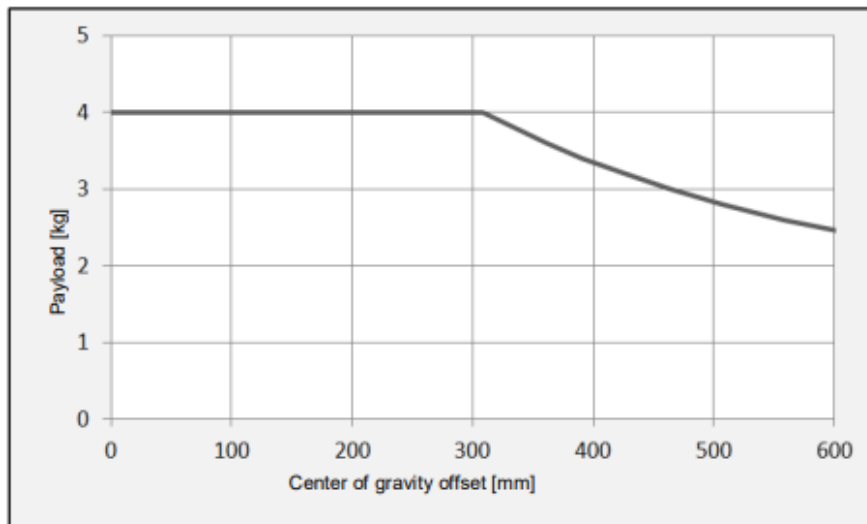


Figura 3.3 Relació entre el *payload* i la distància amb el centre de gravetat [8]

3.2.2 HEX-E V2

Seguint el document de característiques tècniques proporcionat pel fabricant, s'obtenen les següents taules, figures i informació.

Sensor Type	6-Axis Force/Torque Sensor			
Dimensions (Height x Diameter)	37.5 x 70 mm			
Weight (with built-in adapter plates)	245 g			
	Fxy	Fz	Txy	Tz
Nominal Capacity (N.C)	200 N	200 N	10 Nm	6.5 Nm
Single axis deformation at N.C (typical)	± 1.7 mm	± 0.3 mm	± 2.5 °	± 5 °
Single axis overload	500 %	500 %	500 %	500 %
Signal noise ² (typical)	0.035 N	0.15 N	0.002 Nm	0.001 Nm
Noise-free resolution (typical)	0.2 N	0.8 N	0.010 Nm	0.002 Nm
Full scale nonlinearity	< 2%	< 2%	< 2%	< 2%
Hysteresis (measured on Fz axis , typical)	< 2 %	< 2 %	< 2 %	< 2 %
Crosstalk (typical)	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Working temperature range	0 C° / +55 °C			
Power requirement	DC input range 7-24V		0.8 W	
Mounting screws	5 x M4 x 6 mm 1 x M4 x 12 mm (for the Cable Holder)			ISO14581

Taula 3.4 Característiques principals sensor [8]

Durant operacions de càrrega en què només actua un eix, el sensor pot operar fins a arribar a la seva capacitat nominal (N.C) de força o parell.

A partir d'aquest punt, les lectures són imprecises i invàlides. En cas d'operar càrregues en diversos eixos simultàniament, s'apliquen restriccions a la força o parell màxim que es poden utilitzar. Aquestes restriccions estan especificades a les figures 3.4 i 3.5, amb l'avís del fabricant que NO es pot treballar fora de l'àrea d'operació.

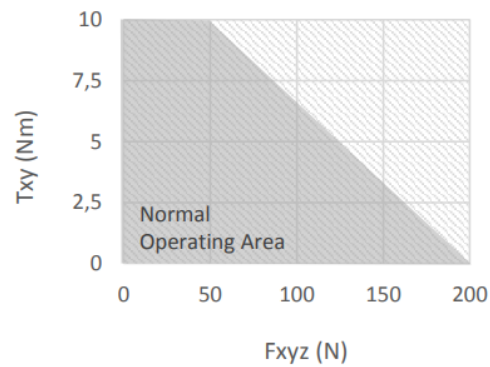


Figura 3.4 Relació força-parell en els eixos T_{xy} i F_{xyz} [9]

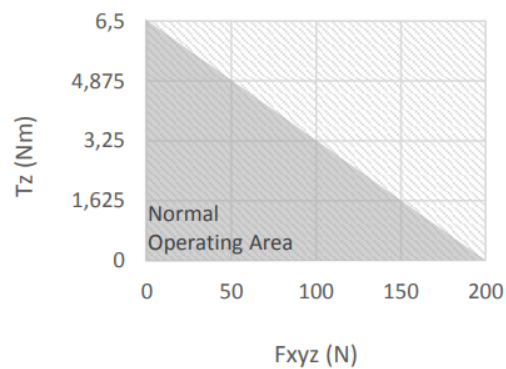


Figura 3.5 Relació força-parell en els eixos T_z i F_{xyz} [9]

3.2.3 RG2 FINGER GRIPPER

Seguint la documentació tècnica proporcionada per al fabricant, s'obtenen les següents taules, figures i informació.

Payload Force Fit	2	[kg]
Payload Form Fit	5	[kg]
Força de subjecció min	3	[N]
Força de subjecció max	40	[N]
Repetibilitat	0,2	[mm]
Rang T° funcionament	5~50	[°C]
Temps de vida (teòric)	30 000	[hores]
Alimentació I/O	24V&70mA	
Grau IP	IP54	

Taula 3.5 Característiques principals pinça [17]

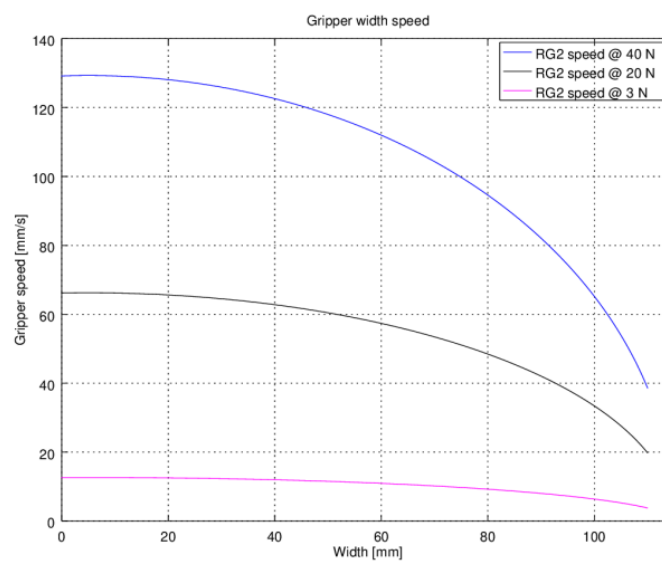


Figura 3.6 Gràfica velocitat pinça segons amplada i força aplicada [17]

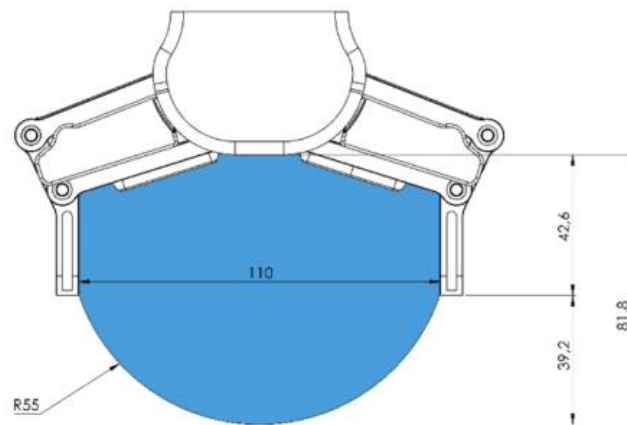


Figura 3.7 Rang actuació i dimensions pinça [17]

El disseny de l'extrem de la pinça permet la instal·lació de nous grips amb gran facilitat, promovent així el desenvolupament de solucions personalitzades segons el tipus de treball que s'ha de realitzar, tal com es pot apreciar en la següent figura.



Figura 3.8 Visualització muntatge grip original [17]

4. Estudi i preparació de l'entorn

En aquest apartat, es definiran les condicions d'entorn del projecte i s'examinaran les instruccions més importants per al projecte en el TMflow.

4.1 Condicions de contorn

En els següents subapartats es recullen les tasques necessàries per a la preparació de les condicions de contorn del projecte.

4.1.1 Muntatge del sensor

Per instal·lar el sensor en el braç robòtic, s'han de seguir els següents passos:

1r) L'assemblatge del sensor amb els adaptadors es realitza seguint les instruccions de la figura 4.1 Un cop finalitzat el muntatge, s'uneix a l'extrem del robot.

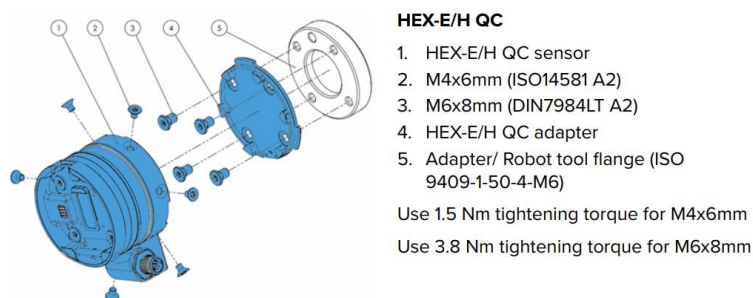


Figura 4.1 Unió sensor HEX-E amb els adaptadors [18]

2n) Es connecta el sensor amb el "Computer box" mitjançant el "Tool data cable". La connexió amb el sensor es realitza a partir del pin M12-12, com es pot veure a la figura 4.2, i la connexió amb la caixa es realitza a partir del port de connexió amb els dispositius, tal com es pot veure a la figura 4.3.

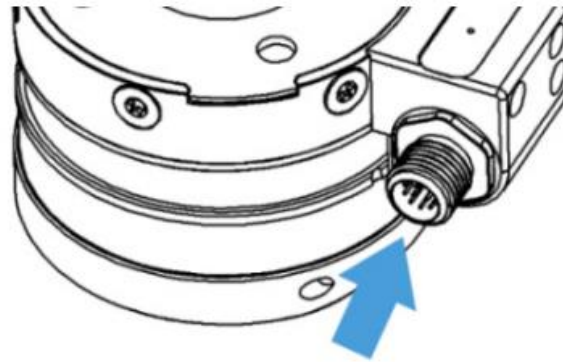


Figura 4.2 Indicació connexió pin M12-12 sensor [18]



Figura 4.3 Indicació port de connexió amb els dispositius [18]

3r) Cablejar els connectors al voltant del robot, deixant suficient cable per compensar el moviment del robot i procurant que els radis de flexió no siguin inferiors a 70 mm. A la figura 4.4 es presenta un model teòric per orientar-se a l'hora de cablejar.

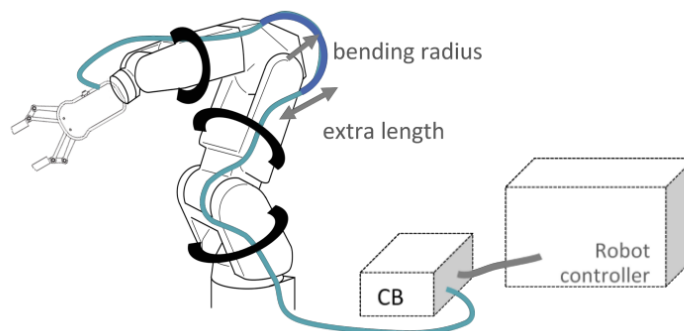


Figura 4.4 Sistema cablejat eina – control box [18]

4.1.2 Calibratge del sensor

Per calibrar el sensor, hi ha dos mètodes diferents: enviar el component al fabricant perquè efectui les operacions a les seves instal·lacions, o seguir la metodologia per realitzar un autocalibratge del sensor, tal com s'indica als capítols 6 i 7 del manual d'usuari. [18]

Els passos a seguir per dur a terme el procés d'auto-calibratge són els següents:

1r) Accedir al "Web Client" de OnRobot.

- Connectar el "Computer Box" a l'ordinador a través d'un cable UTP.
- Encendre el "Computer Box" i esperar un minut fins que el LED passi de blau a verd.
- Posar la IP del "Computer Box" al buscador i registrar-se amb les credencials.
- Des de la pestanya "Devices" accedir a la configuració del HEX-E/H QC, tal com es veu a la figura 4.5.

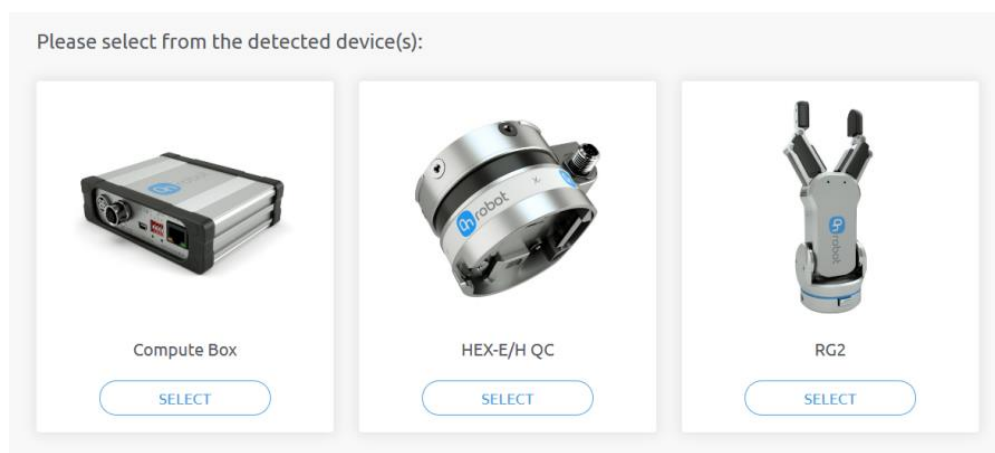


Figura 4.5 Menú "Divices" en el "Web Client" [18]

2n) Procés d'autocalibratge

- Revisar software del robot estigui en la versió 2.15 o superior.
- Retirar les eines connectades al sensor, en aquest cas la pinça RG2.
- Posicionar el sensor de manera que la part baixa quedi mirant cap amunt, tal com es pot veure en la figura 4.6, per obtenir millors resultats durant el calibratge.



Figura 4.6 Posició recomanada sensor durant l'autocalibratge [Font pròpia]

- Executar l'auto-calibratge.

Problemàtica amb el sensor

Durant les proves i el procés de calibratge, es detecta una fallada en l'eix Z del sensor, cosa que impedeix la lectura de qualsevol valor al llarg d'aquest eix.

Per aquest motiu, els programes per a aplicacions pràctiques que es desenvolupen en el següent apartat estan condicionats per aquest factor, ja que el sensor no va estar correctament calibrat de fàbrica fins al dia 30 de maig del 2024.

4.1.3 Disseny elements necessaris

Durant el transcurs de les proves, s'observa la falta d'estabilitat de les peces manipulades amb la pinça del robot, ja que aquestes rellisquen per manca d'adherència. Per aquest motiu, es dissenyaran uns nous extrems per a les pinces del robot.

Seguint les dimensions proporcionades en el document de característiques del fabricant [17], es desenvolupa el següent element mitjançant SOLIDWORKS, tal com es pot apreciar en la figura 4.7.

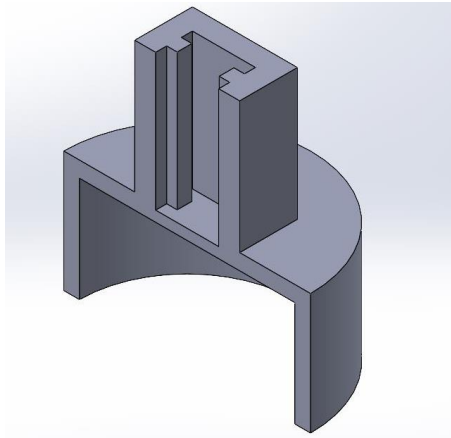


Figura 4.7 Primera versió grip [Font pròpia]

En la següent figura, es pot apreciar una recreació de com quedaria el sistema un cop instal·lats els nous grips.

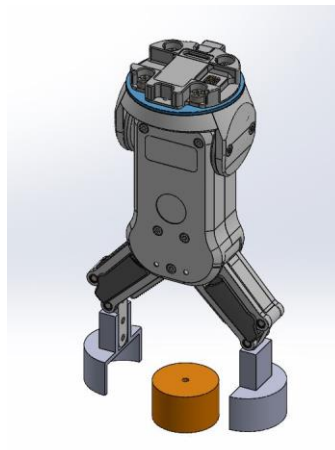


Figura 4.8 Modelatge sistema en SOLIDWORKS [Font pròpia]

El desenvolupament dels nous grips es realitzarà a través de la impressió 3D utilitzant com a material ABS. En les següents dues figures es pot veure el resultat final de la impressió 3D i com queden els grips un cop instal·lats en el RG2.

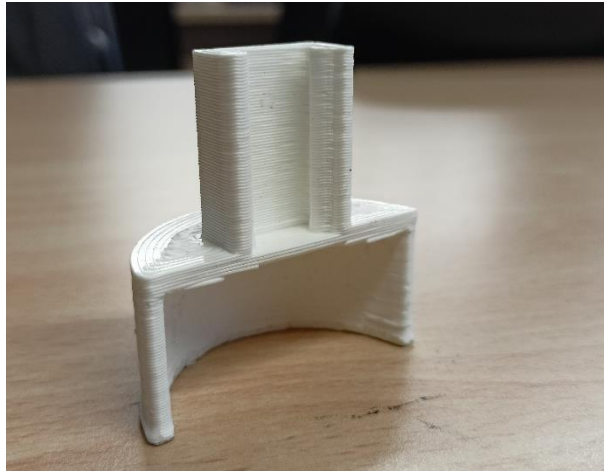


Figura 4.9 Resultat final grip [Font pròpia]



Figura 4.10 Nous grips instal·lats en el RG2 [Font pròpia]

4.2 Definició de les característiques del projecte

Després de les proves realitzades, es determina que les instruccions principals que interactuen amb el sensor de força són les següents:

- **Compliance node** (P.191 Software Manual TMflow [19])

Aquest és l'únic node relacionat amb la força que inclou el TMflow de sèrie. Aquesta instrucció serveix per limitar la força que el robot pot exercir durant el moviment en un únic eix. Aquesta configuració es pot utilitzar en diverses aplicacions de proves de col·lisió o assemblatge d'objectes.

La següent taula recull el valor en format INT dels diversos motius d'aturada amb els quals es pot programar el node:

Motiu aturada	Valor sortida
Not Working	0
Working	1
Timeout	2
Distance reached	3
Digital IO triggered	4
Resisted	5
Error	6

Taula 4.1 Valor segons motiu aturada [19]

- **Touch stop node** (P.199 Software Manual TMflow [19])

Aquest node compta amb tres tipus de funció diferents:

- Compliance: Capaç d'establir el límit de força quan el robot es mou en una sola direcció. Aquesta configuració es pot utilitzar en diverses aplicacions de cerca d'objectes, la creació d'una nova base o el registre del valor de la coordenada d'activació del node.

- Line: Aquesta funció està dissenyada per establir el moviment lineal del robot en un sol eix i treballar amb senyals externs per aturar el moviment del robot. Aquesta configuració es pot utilitzar perquè, mitjançant sensors externs, es pugui registrar la posició de l'eina.

- Force Sensor: Dels tres tipus de funció amb els quals compta el node, aquest és l'únic que fa ús directe de la informació rebuda a partir d'un sensor de força incorporat en el sistema.

Per evitar que el robot aturi el moviment en detectar força, s'ha de definir el node Touch Stop com a "mode de control" i fer que el robot faci servir el criteri definit per aturar-se.

Adicionalment, aquest node es pot utilitzar durant la programació, ja que mitjançant el mode test es poden fer proves de moviment/col·lisió per enregistrar punts en l'espai amb més precisió.

· **Smart insert node** (P.205 Software Manual TMflow [19])

Aquest node permet al robot executar tasques d'assemblatge/empenta. El disseny intel·ligent permet que les tasques d'assemblatge/empenta d'objectes complexos es completin mitjançant una configuració simple i ràpida. L'acció d'inserció del node es pot dividir en tres passos: Aproximació, Recerca i Inserció (Approaching, Searching, and Pushing).

- Aproximació: Abans d'utilitzar el node, s'ha de col·locar l'objecte d'inserció el més a prop possible de l'assemblatge. En aquest pas, el robot es mourà en la direcció de l'eix Z fins que el sensor de força detecti 5 Newtons. A la figura 4.11 es pot apreciar una representació d'aquesta acció.

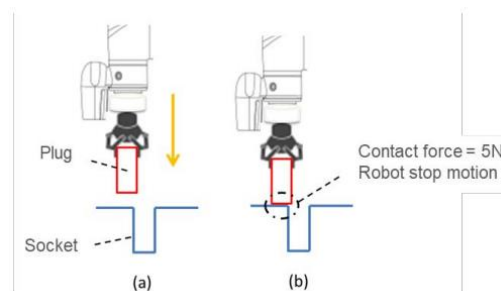


Figura 4.11 Representació funció "Approaching" [19]

Un cop detectats els 5 N, aquest apartat finalitza i continua amb el següent. És important comprovar que tant la base com l'objecte poden suportar la força aplicada.

- Recerca: Després de finalitzar l'Aproximació, el robot passa a la Recerca. Aquesta funció té dues metodologies diferents: espiral o lineal.

En el cas de la cerca en espiral, el robot seguirà el moviment vist a la figura 4.12 fins a trobar el punt d'inserció.

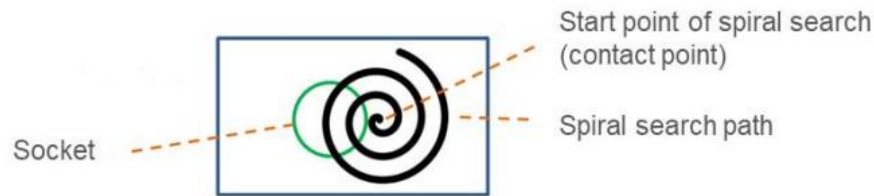


Figura 4.12 Representació de la funció "Searching" en espiral [19]

En el cas de la cerca lineal, el robot seguirà un camí en línia recta en l'eix prèviament indicat fins que es compleixin les condicions d'aturada, tal com es pot veure a la figura 4.13.

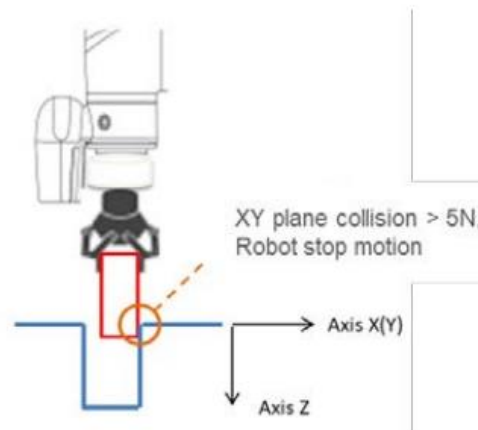


Figura 4.13 Representació de la funció "Searching" lineal [19]

Si no es pot detectar el punt d'inserció, sigui per temps excessiu de cerca o distància límit recorreguda, el robot executarà la instrucció donada. En cas de detectar el punt d'inserció, continuarà amb la següent fase del procés.

- Inserció: Un cop completats els passos anteriors, la peça es troba alineada amb el punt d'inserció i està llesta per a l'últim pas. El robot realitzarà un moviment en l'eix Z per introduir la peça, però en cas de detectar resistència en els eixos X, Y, RX, RY, o RZ, el mateix node realitzarà de forma automàtica un moviment suau per compensar aquestes forces i evitar interferències durant la tasca d'inserció.

· **Force control node** (P.211 Software Manual TMflow [19])

El Node de Control de Força ve amb tres coordenades de referència i dos modes de funcionament per a aplicacions com ara polit, esmolar o desbarbar. La trajectòria de l'aplicació es pot definir mitjançant tres mètodes diferents:

1. Acoblar les coordenades del sensor de força amb les coordenades del TCP:

Aquest mètode s'utilitza per mantenir la posició del sensor i l'eina alineada amb la superfície en la qual s'està treballant. En la següent figura es veu un exemple de com funcionaria.

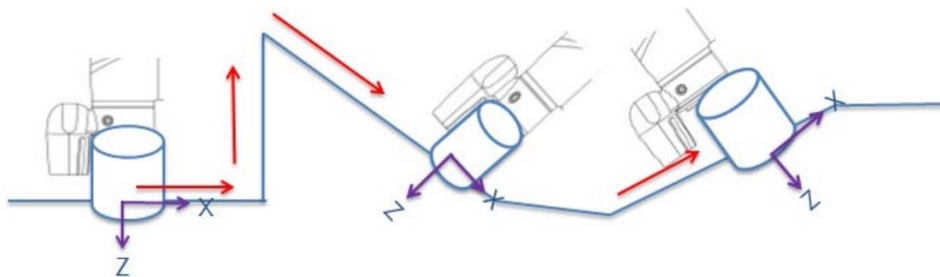


Figura 4.14 Force control node segons coordenades TCP [19]

2. Gravar la posició actual del TCP i aplicar la força mesurada construïda amb aquesta base:

En el sistema base, només cal moure el robot a la posició de mesura, registrar el punt de la posició i seleccionar el punt a "Importar des de punts existents" per definir el sistema de coordenades de força del sensor amb el punt de selecció. En la següent figura es pot apreciar un exemple del procés.

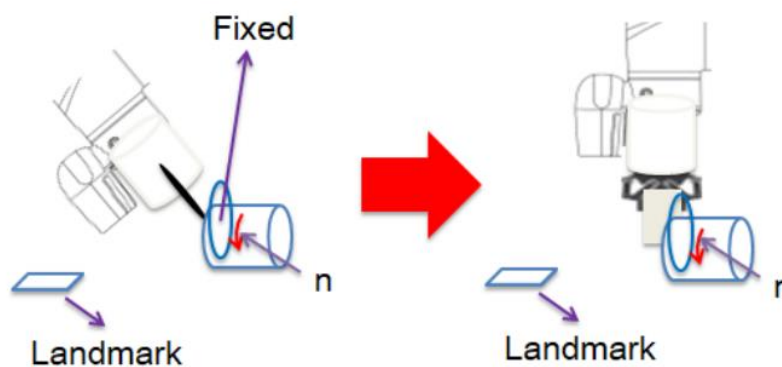


Figura 4.15 Force control node segons base [19]

3. Canvi de les coordenades del sensor de força al llarg de la trajectòria:

Aquest moviment no pot ser paral·lel a l'eix Z del TCP, factor que s'ha de tenir present durant el desenvolupament de les aplicacions. En la figura es pot apreciar un exemple.

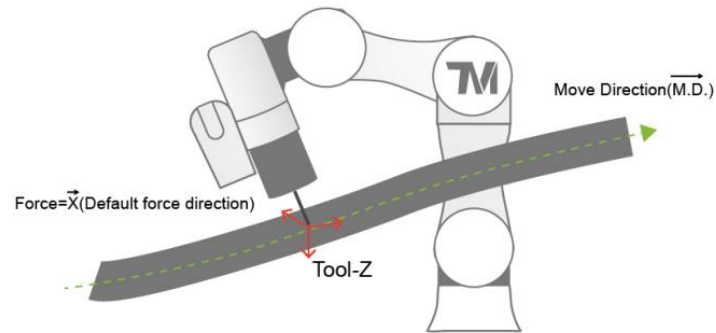


Figura 4.16 Force control node segons canvi coordenades [19]

5. Desenvolupament de les aplicacions

En aquest capítol es desenvoluparan les següents quatre aplicacions pràctiques aprofitant les característiques que ofereix el sensor HEX-E.

5.1 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball

L'objectiu principal d'aquest programa és ser capaç de detectar obstacles o objectes dins de la zona de treball mitjançant les característiques pròpies del sensor o del mateix robot. En aquest cas específic, la funció del programa serà detectar si la safata encarregada de transportar les peces està en la posició de treball.

Realitzant la detecció mitjançant aquest mètode, s'evita l'ús de sensors addicionals en la instal·lació. En la següent figura es pot apreciar una vista general del programa.

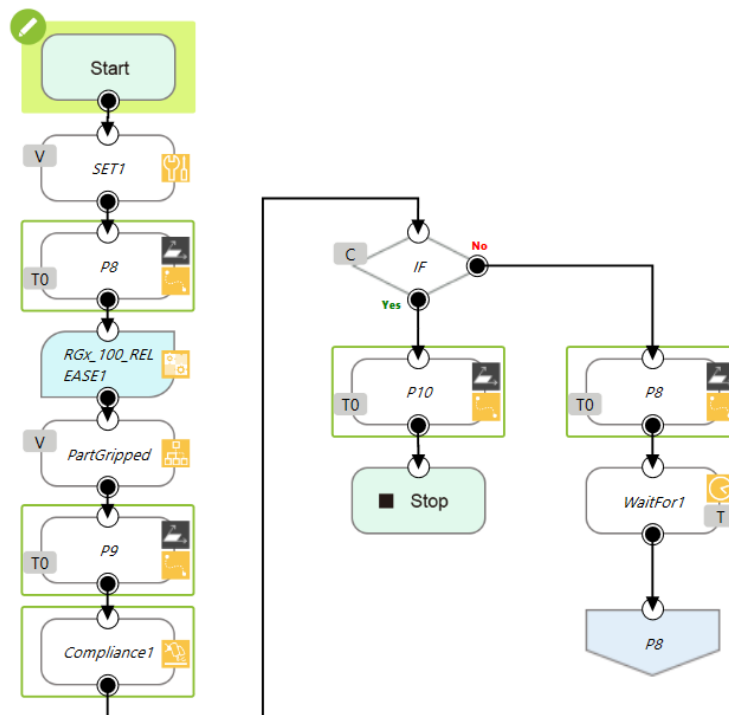


Figura 5.1 Vista general codi 1 [Font pròpia]

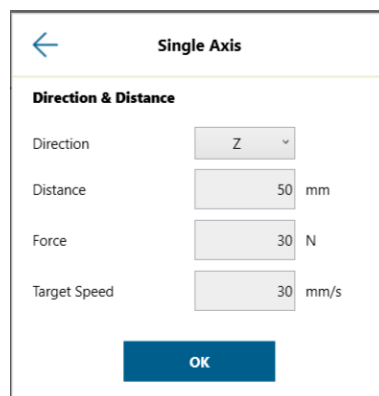
Primerament, es defineixen les variables necessàries per al desenvolupament del programa.

- Triggered [INT]: Dins d'aquesta variable s'emmagatzemarà la informació del motiu d'aturada del node "Compliance1"

El programa consta de tres branques principals:

Fase d'inicialització i execució node "Compliance"

- "SET 1": S'ajusten els valors del sensor de força a zero mitjançant la instrucció `FT["fts_SensorHEX"].zero = 1` per assegurar lectures correctes.
- "P8": Es posiciona el TCP sobre de la zona on s'ha de trobar la safata.
- "RGx_100_GRIP1": Es tanca la pinça del TCP primer, facilitant l'aproximació durant l'execució del node "Compliance1". Es passa a la següent instrucció un cop s'ha complert la condició de "PartGripped" (quan la pinça nota resistència al tancar).
- "P9": Es posiciona el TCP a prop de la zona on s'ha de trobar la safata.
- "Compliance1": Es programa el node en el mode de *single axis*, el qual desplaçarà el TCP 50 mm amb una força de 30 N i a una velocitat de 30 mm/s en l'eix Z, tal com es pot apreciar a la següent figura.



The image shows a software interface for configuring a 'Single Axis' movement. It features a title bar with a back arrow and the text 'Single Axis'. Below the title bar, there is a section titled 'Direction & Distance'. This section contains four input fields: 'Direction' with a dropdown menu set to 'Z', 'Distance' with a text input field containing '50' and the unit 'mm', 'Force' with a text input field containing '30' and the unit 'N', and 'Target Speed' with a text input field containing '30' and the unit 'mm/s'. At the bottom of the dialog, there is a blue 'OK' button.

Figura 5.2 Característiques moviment "Compliance1" [Font pròpia]

Un cop definit el moviment, s'ha de definir el criteri d'aturada. Els possibles motius d'aturada d'aquest sistema són excedir el temps d'aplicació (la safata no es troba dins de la zona de treball) o detectar resistència al moviment (la safata es troba a la zona de treball). El motiu

de parada s'enregistra dins de la variable Triggered. En la següent figura es pot veure la configuració del node dintre del programa.

Figura 5.3 Configuració criteri aturada “Compliance1” [Font pròpia]

Fase finalització de programa

Si durant l’execució del node “Compliance1” s’obté a la sortida Triggered=5 (el moviment s’ha aturat en detectar resistència), vol dir que s’ha detectat la safata i el programa ha complert amb el seu objectiu, avançant per la branca del YES.

- “P10”: S’ubica el TCP en un punt segur per indicar que s’ha detectat la safata.
- “STOP”: S’atura el programa, ja que s’ha complert l’objectiu.

Fase de repetició

Si durant l’execució del node “Compliance1” s’obté a la sortida Triggered!=5 (s’ha excedit el temps d’aplicació / no s’ha detectat la safata), avança per la branca del NO.

- “P8”: Es torna a la posició d’origen del programa.
- “WaitFor1”: S’espera 5 segons abans de tornar a executar la branca principal del programa fins en detectar la safata.

5.2 Separació de peces en una línia de producció

Aprofitant la capacitat del sensor de no només registrar la força aplicada, sinó també de detectar la força produïda per un pes subjectat en les pinces, es desenvolupa un programa capaç de mesurar i separar peces segons el seu pes. En aquest programa s'integra el codi desenvolupat en l'apartat anterior, el qual serà l'encarregat de confirmar que la plataforma amb les peces ha arribat a la zona de treball.

Primerament, es defineixen les variables necessàries per al desenvolupament del programa.

- Triggered [INT]: Dins d'aquesta variable s'emmagatzemarà la informació del motiu d'aturada del node "Compliance1"
- Numero_peces [INT]: Dins d'aquesta variable s'emmagatzemarà el nombre de peces processades per al programa.

El programa consta de 4 fases principals i dos SUBFLOWS que optimitzen el desenvolupament del programa.

Fase d'inicialització

El primer pas del programa en iniciar-se és executar el SUBFLOW "Inicialització" (figura 5.4), que consta de tres blocs:

- "P1": Es posiciona el TCP en un punt neutre de la zona de treball.
- "SetZero": S'ajusten els valors del sensor de força a zero mitjançant la instrucció `FT["fts_SensorHEX"].zero = 1` per assegurar lectures correctes. i reiniciar la variable Numero_peces a zero.
- "RGx_100_RELEASE1": S'assegura que la pinça està oberta. Surt del SUBFLOW un cop s'hagi complert la condició de "NoGrip" (la pinça està oberta).

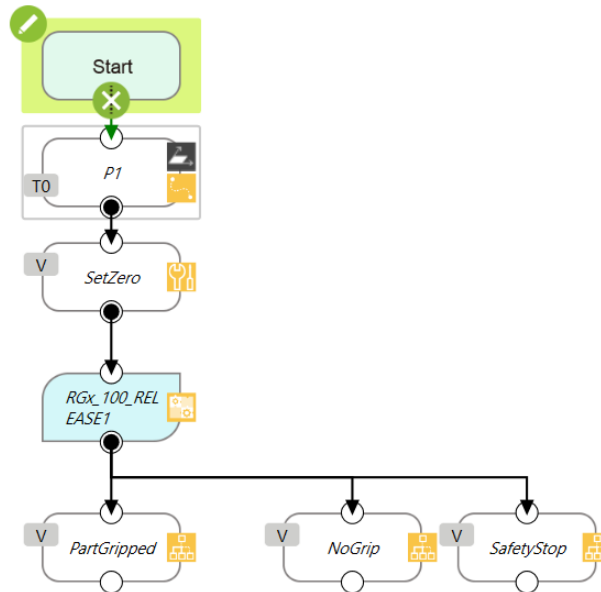


Figura 5.4 SUBFLOW “Inicialització” [Font pròpia]

Fase detecció safata

La següent fase del codi és un extracte del codi desenvolupat a l'apartat "6.1 *Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball*" adaptat a aquest programa. En aquesta fase, es posiciona el TCP en P3 (el TCP es troba sobre la safata) i s'executen els mateixos passos definits en el punt anterior.

En aquest programa, el temps d'espera dins del bloc "*WaitFor1*" és de 10 segons. Si la safata és detectada dins de la zona de treball, el programa passa a la següent fase. Aquest cicle es repetirà fins que la safata sigui detectada en una de les iteracions.

En la següent figura es pot apreciar una vista general del codi.

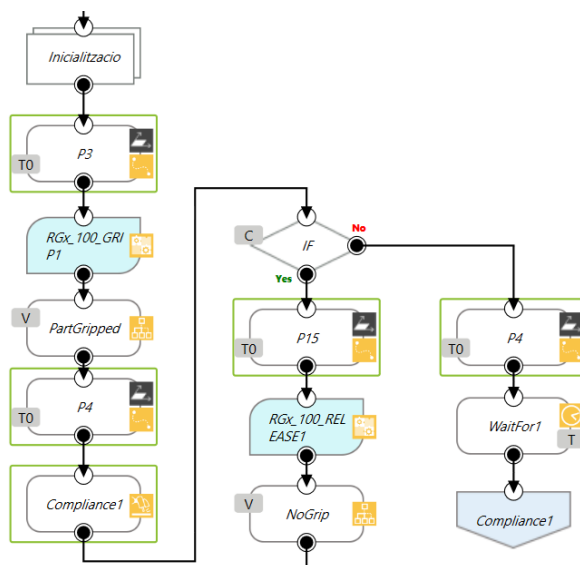


Figura 5.5 Fase detecció safata – codi 2 [Font pròpia]

Fase selecció peça

Un cop es comprova que la safata es troba en la zona de treball, s'executa el bloc IF, el qual depèn del valor de la variable Numero_peces seguint el següent criteri:

- Numero_peces=0 el programa avança per la branca del YES.
- Numero_peces=1 el programa avança per la branca del NO.

En la següent figura es pot veure una vista general d'aquesta fase del programa.

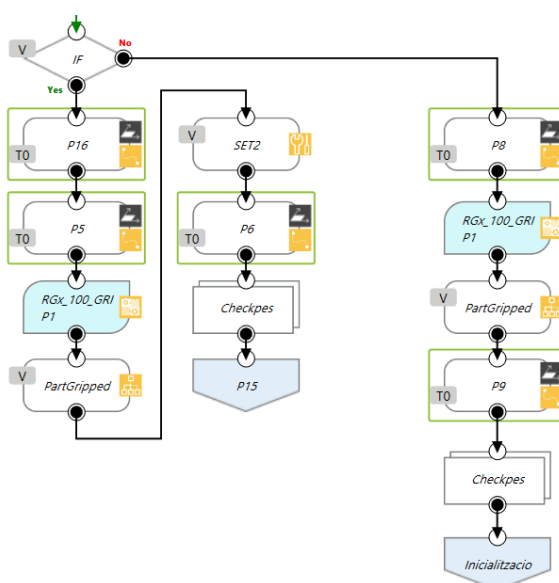


Figura 5.6 Fase selecció peça – codi 2 [Font pròpia]

· Branca del YES:

- "P16": Es posiciona el TCP just a sobre de la zona on es troba la primera peça.
- "P5": Es fa l'aproximació del TCP a la peça en direcció Z.
- "RGx_100_GRIP1": Es tanca la pinça per assegurar la peça. Es passa a la següent instrucció un cop es compleix la condició de "PartGripped" (la pinça nota resistència en tancar).
- "Set2": S'executa la fórmula " $Numero_peces += 1$ " per tal que en la següent iteració el TCP vagi a buscar la peça en la segona posició.
- "P6": Es desplaça el conjunt 60 mm en Z positiu per evitar interferències en executar el SUBFLOW.
- SUBFLOW "Checkpes": Aquest bloc executa el SUBFLOW encarregat de pesar les peces i separar-les segons el resultat obtingut.
- "GoTo P15": Es retorna al bloc "P15" i es continua executant el codi.

· Branca del NO:

- "P8": Es posiciona el TCP just a sobre de la ubicació de la segona peça.
- "RGx_100_GRIP1": Es tanca la pinça per assegurar la peça. Es passa a la següent instrucció un cop es compleix la condició de "PartGripped" (la pinça nota resistència en tancar).
- "P9": Es desplaça el conjunt 60 mm en Z positiu per evitar interferències en executar el SUBFLOW.
- SUBFLOW "Checkpes": S'executa el SUBFLOW encarregat de pesar les peces i separar-les segons el resultat obtingut.
- "GoTo P1": Es retorna al SUBFLOW "Inicialització" i es continua executant el codi.

Fase separació per pes

Dins del SUBFLOW “Checkpes” (Figura 5.7), aquesta etapa és responsable de mesurar el pes de les peces i separar-les segons els resultats.

A conseqüència de la necessitat d'una calibració de fàbrica i la impossibilitat de llegir valors en l'eix Z, aquest SUBFLOW s'ha desenvolupat per utilitzar la lectura de força en l'eix Y. Això significa que el valor que registra el sensor és el moment generat per la peça a l'extrem del TCP i no el pes real de l'objecte.

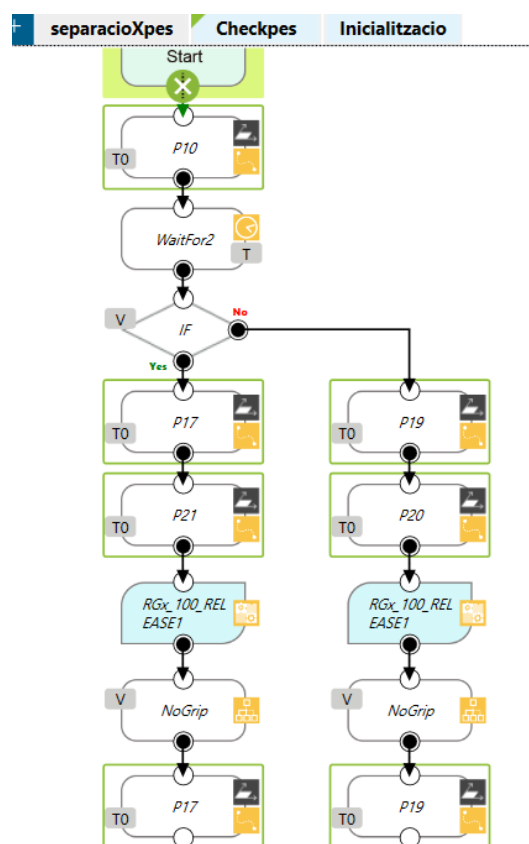


Figura 5.7 SUBFLOW “Checkpes” [Font Pròpia]

- “P10”: Es posiciona el TCP en posició on l'eix Z del TCP es troba en paral·lel amb l'eix x de la base per poder obtenir lectura total del moment en l'eix Y.
- “WaitFor2”: S'espera 2 segons en aquesta posició per obtenir lectures estables.
- “IF”: Aquest bloc recull la informació de la força detectada en l'eix Y i mitjançant el següent criteri determina el camí que ha de seguir el programa.

```
IF ["fts_SensorHEX"].Y >= 10 N THEN YES
```

```
IF ["fts_SensorHEX"].Y < 10 N THEN NO
```

· Branca del YES

- "P17": Es posiciona el TCP a l'esquerra del robot a 350 mm de la base.

- "P18": Es posiciona el TCP a l'esquerra del robot a 10 mm de la base.

- "RGx_100_RELEASE1": S'obre la pinça per alliberar la peça. El programa continua un cop s'hagi complert la condició de "*NoGrip*" (la pinça està oberta).

- "P17": Es posiciona el TCP a l'esquerra del robot a 350 mm de la base i surt del SUBFLOW.

· Branca del NO

- "P19": Es posiciona el TCP a la dreta del robot a 350 mm de la base.

- "P20": Es posiciona el TCP a la dreta del robot a 10 mm de la base.

- "RGx_100_RELEASE1": S'obre la pinça per alliberar la peça. Continua el programa un cop s'hagi complert la condició de "*NoGrip*" (la pinça està oberta).

- "P19": Es posiciona el TCP a la dreta del robot a 350 mm de la base i surt del SUBFLOW.

5.3 Assemblatge i/o inserció de components

Aquest programa té com a objectiu dur a terme una tasca d'inserció d'una peça des de la safata que la transporta fins a un altre punt. Aquest procés és àmpliament utilitzat en les línies de muntatge i, amb l'afegit de la flexibilitat que ofereix el node "Smart Insert", la tasca d'inserció es pot dur a terme amb més facilitat. A la figura 5.8 es pot veure una vista general del codi.

Primerament, es defineixen les variables necessàries per al desenvolupament del programa.

- Piezasok [INT]: Dins d'aquesta variable s'emmagatzemarà el nombre de peces processades amb èxit amb el node "Smart Insert"

- Piezasnok [INT]: Dins d'aquesta variable s'emmagatzemarà el nombre de peces que no s'han pogut processar amb èxit amb el node "Smart Insert".

El programa consta de les següents 4 fases principals.

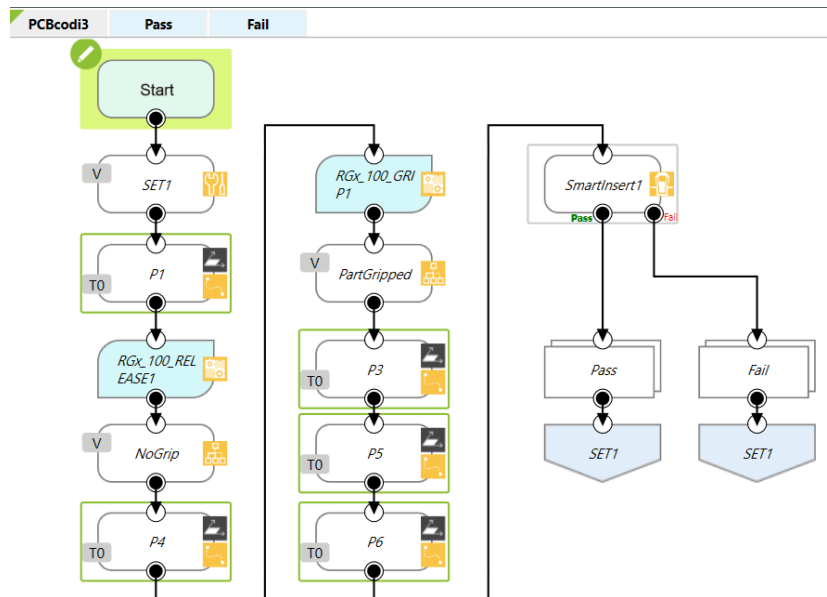


Figura 5.8 Vista general codi 3 [Font pròpia]

Inicialització

En iniciar el programa, s'executaran els següents 3 blocs per garantir el correcte funcionament de tot el sistema.

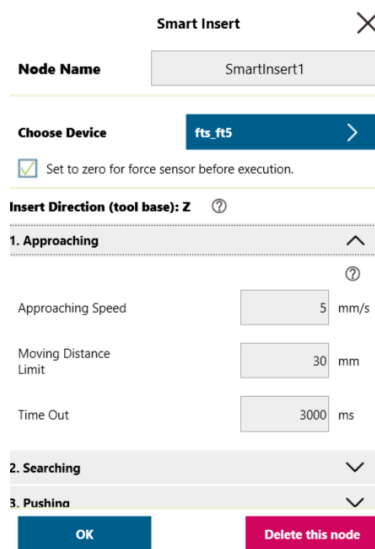
- "SetZero": S'ajusten els valors del sensor de força a zero mitjançant la instrucció `FT["fts_SensorHEX"].zero = 1` per assegurar lectures correctes.
- "P1": Es Posiciona el TCP en un punt neutre de la zona de treball.
- "RGx_100_RELEASE1": S'assegura que la pinça està oberta i preparada abans de començar el programa. Passa a la següent fase un cop s'hagi complert la condició de "NoGrip" (la pinça està oberta).

Adquisició peça i aproximació zona inserció

La següent fase del programa és responsabilitzar-se d'adquirir la peça i posicionar-la prop de la zona d'inserció seguint les instruccions següents.

- “P4”: Es posiciona el TCP just a sobre de la peça.
- “RGx_100_GRIP1”: Es tanca la pinça per assegurar la peça. Es passa a la següent instrucció un cop es compleix la condició de "PartGripped" (la pinça nota resistència en tancar).
- “P3”: Es mou el TCP 30 mm en direcció Z, això evita col·lisions durant les pròximes instruccions.
- “P5”: Es posiciona el TCP a 550 mm per sobre de la zona on s’iniciarà el node de “Smart Insert”.
- “P6”: Es posiciona el TCP a 30 mm per sobre de la zona on s’iniciarà el node de “Smart Insert”.
- Node “SmartInsert1”: Aquest node consta de tres subfases, cadascuna programada amb les següents característiques:

- Aproximació: En la figura 5.9 es pot observar les característiques d’aquesta fase.



The screenshot shows a configuration window titled "Smart Insert" with a close button (X) in the top right corner. The "Node Name" field contains "SmartInsert1". The "Choose Device" dropdown is set to "fts_ft5". A checkbox labeled "Set to zero for force sensor before execution." is checked. The "Insert Direction (tool base): Z" is indicated with a help icon. The "Approaching" phase is expanded, showing three parameters: "Approaching Speed" set to 5 mm/s, "Moving Distance Limit" set to 30 mm, and "Time Out" set to 3000 ms. Below the "Approaching" section are sections for "2. Searching" and "3. Pushing", both collapsed. At the bottom of the window are two buttons: "OK" and "Delete this node".

Figura 5.9 Característiques subfase aproximació [Font pròpia]

- Cerca: En la figura 5.10 es poden observar les característiques d’aquesta fase. El temps màxim d’operació es determina en 10.000 ms. El mètode de recerca és en format espiral, com es recomana per a insercions d’elements no rectangulars.

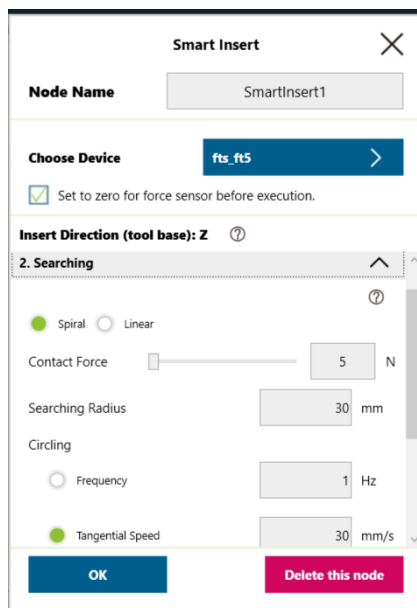


Figura 5.10 Característiques subfase cerca [Font pròpia]

- Inserció: En la figura 5.11 es pot observar les característiques d'aquesta fase.

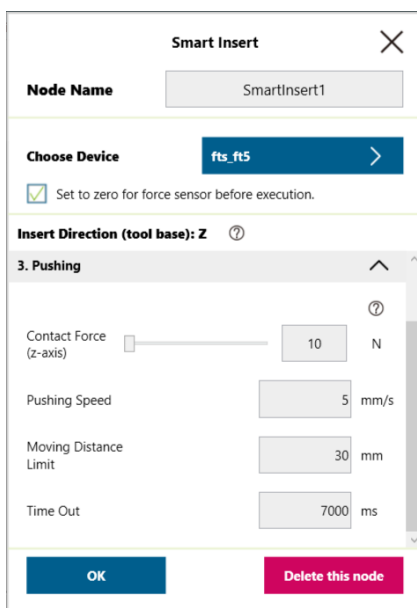


Figura 5.11 Característiques subfase inserció [Font pròpia]

SUBFLOW “Pass”

En cas que el robot pugui executar amb èxit el node “SmartInsert1” el programa seguirà per la branca del PASS, executant el SUBFLOW corresponent el qual consta de les següents instruccions.

- “RGx_100_RELEASE1”: S’obre la pinça per alliberar la peça. Passa a la següent instrucció un cop s'hagi complert la condició de "NoGrip" (la pinça està oberta).
- “P7”: Es desplaça el TCP 650 mm en direcció Z positiu.
- “Set2”: S'executa la fórmula "Piezasok+=1" per deixar registrades les peces que s'han pogut processar correctament.

En la figura 5.12 es pot apreciar una vista general del SUBFLOW “Pass”

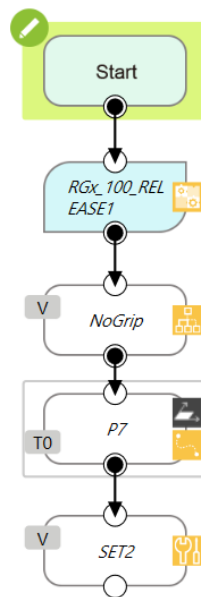


Figura 5.12 SUBFLOW “Pass” [Font pròpia]

SUBFLOW “Fail”

En cas que el robot no pugui executar amb èxit el node "SmartInsert1", el programa seguirà per la branca del FAIL, executant el SUBFLOW corresponent, el qual consta de les següents instruccions.

- “P7”: Es desplaça el TCP 650 mm en direcció Z positiu.
- “P8”: Es Posiciona el TCP a sobre d’una safata on s’emmagatzemaran les peces que no s’han pogut processar.
- “RGx_100_RELEASE1”: Obra la pinça per alliberar la peça. Passa a la següent instrucció un cop s'hagi complert la condició de "NoGrip" (la pinça està oberta).

- “Set3”: S'executa la fórmula " $Piezasnok+=1$ " per deixar enregistrat les peces que no s'han pogut processar correctament.

- “P9”: S'aproxima el TCP cap a la zona de treball.

En la figura 5.13 es pot apreciar una vista general del SUBFLOW “Fail”

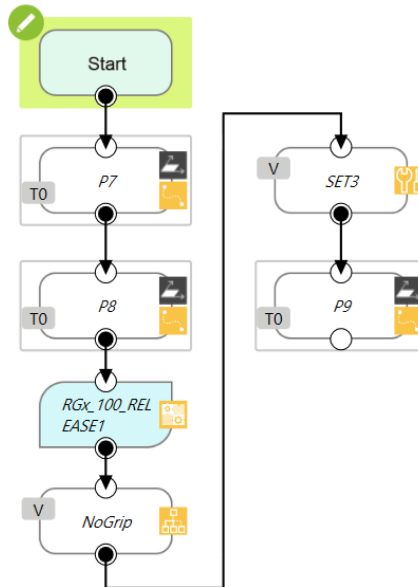


Figura 5.13 SUBFLOW “Fail” [Font pròpia]

6.4 Acabat de superfícies

Aquest programa té com a objectiu el seguiment d'una superfície amb un límit de força aplicada per tal de simular una operació de desbarbat o poliment. Per falta de recursos, a mode d'eina s'utilitzarà una peça metàl·lica i com a superfície la guia metàl·lica de la cinta transportadora, ja que és l'únic element pròxim al robot que està ben fixat.

Aquest codi consta de quatre fases principals i dos SUBFLOWS.

En la figura 5.14 es pot apreciar una vista general del programa.

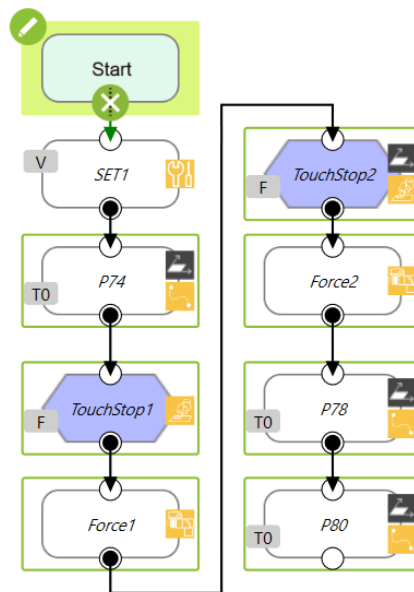


Figura 5.14 Vista general codi 4 [Font pròpia]

Inicialització

En iniciar el programa, s'executaran els següents 2 blocs per garantir el correcte funcionament de tot el sistema.

- “SET1”: S'ajusten els valors del sensor de força a zero mitjançant la instrucció $FT["fts_SensorHEX"].zero = 1$ per assegurar lectures correctes.
- “P74”: Es Posiciona el TCP en el punt d'inici del recorregut.

Execució seguiment tram 1

Aquesta fase del programa és l'encarregada d'apropar l'eina fins a la superfície de treball procurant no excedir els 15 N de força i executar la primera instrucció de seguiment.

- “TouchStop1”: Es programa el següent node per realitzar un recorregut de 30 mm en direcció Z negativa fins a detectar 15 N de força. En la següent figura es pot apreciar una vista interna del bloc, on la força està negativa a causa de la direcció on s'aplica.

Touch Stop ✕

Node Name TouchStop1

Function Type

Compliance Line **Force Sensor**

Set to zero for force sensor before execution.

Choose Base

Tool **Current Base**

Setting

Single Axis Teach

Advanced

Stop Criteria

Force Reached

Force -15 N ABS

Figura 5.15 Programació node “TouchStop1” – Codi 4 [Font pròpia]

Aquesta fase del programa és l’encarregada d’apropar l’eina fins a la superfície de treball procurant no excedir els 15 N de força i executar la primera instrucció de seguiment.

- “TouchStop1”: Es programa el següent node per realitzar un recorregut de 30 mm en direcció Z negativa fins a detectar 15 N de força. En la següent figura es pot apreciar una vista interna del bloc, on la força està negativa a causa de la direcció on s’aplica.

Force Control ✕

Node Name Force1

Choose Device fts_555 >

Set to zero for force sensor before execution.

Coordinate System

Tool Point **Trajectory**

F/T Operation Mode

Setpoint F/T **F/T Trajectory**

Stop Criteria

Allowable Position Tolerances [] mm **Var**

Variable **Variables(0)** >

Digital Input [] [] [L]

Figura 5.16 Programació node “Force1” – Codi 4 [Font pròpia]

Dintre de l'apartat "F/T Trajectory" es defineix quin SUBFLOW s'executarà juntament amb el node de Force control i el límit de força en els eixos seleccionats.

SUBFLOW "Tram 1"

Durant l'execució del node "Force1" s'executa simultàniament aquest SUBFLOW, el qual és l'encarregat de desplaçar el TCP durant el primer recorregut i deixar preparat el TCP abans de saltar a la pròxima instrucció. En la següent figura es pot apreciar una vista general del programa.

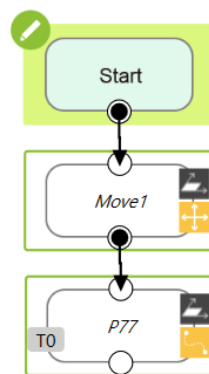


Figura 5.17 SUBFLOW "Tram 1" [Font pròpia]

- "Move1": Desplaça el TCP 110 mm en direcció X positiu segons les coordenades de la base del sistema, en la figura 5.18 es pot apreciar com està programat el bloc.
- "P77": Desplaça el TCP 15 mm en Z positiu, un cop finalitzat el programa surt del SUBFLOW.

Figura 5.18 Programació node “Move1” – Codi 4 [Font pròpia]

Execució seguiment tram 2&3

Aquesta fase del programa és l'encarregada de tornar a apropar l'eina fins a la superfície de treball procurant no excedir els 15 N de força i executar la segona instrucció de seguiment.

- “TouchStop2”: Es programa el següent node per realitzar un recorregut de 30 mm en direcció Z negativa fins a detectar 15 N de força. La programació interna és idèntica a la que es pot visualitzar en la figura 5.15.

- “Force2”: Es programa el node per limitar la força exercida en l'eix Z a 15 N per assegurar el correcte funcionament del sistema durant l'execució del SUBFLOW “Tram 2&3”, el qual és l'encarregat del moviment en el segon i tercer tram. La programació interna és idèntica a la que es pot visualitzar en la figura 5.16.

SUBFLOW “Tram 2&3”

Durant l'execució del node “Force2” s'executa simultàniament aquest SUBFLOW, el qual és l'encarregat de desplaçar el TCP durant el segon recorregut del sistema que fa corba i el tercer recorregut del sistema que és idèntic al primer tram. En la següent figura es pot apreciar una vista general del SUBFLOW.

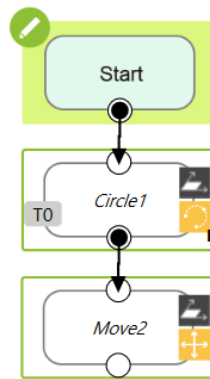


Figura 5.19 SUBFLOW “Tram 2&3” [Font pròpia]

- “Circle1”: Desplaça el TCP al llarg del semicercle, prèviament definit el punt mitjà i el punt final d'aquest. En la següent figura es pot apreciar com es programa aquest bloc.

La imatge mostra la interfície de configuració per al node 'Circle1'. A la part superior hi ha un títol 'Circle' amb un icona de tancar (X).

- Node Name**: Un camp de text amb el valor 'Circle1'.
- Recorded on RobotBase**: Un botó amb un icona de robot i el text 'TO'.
- Please teach 2 points to construct this circle**: Una secció amb dos botons: 'Get a Pass Point' i 'Get an End Point'.
- Speed Settings**: Un botó 'Speed'.
- Blending**: Dos botons: 'By Percentage' i 'No Blending'.
- Stop Criteria**: Dos botons: 'Reach End Point' i 'Target Central Angle'. A la dreta d'aquesta secció hi ha un icona de ajuda (?).

Figura 5.20 Programació node “Circle1” – Codi 4 [Font pròpia]

- “Move2”: Desplaça el TCP 110 mm en direcció Y negatiu i 2 mm en X positiu per compensar la desviació d'aquest tram, el programa surt del SUBFLOW un cop completat aquest node. En la figura 5.21 es pot apreciar com està programat el bloc.

Move [Close]

Node Name Move2

Recorded on RobotBase [Icon]

Motion Setting

PTP Line Joint

Choose Base

Tool Current Base

Blending

By Percentage By Radius No Blending

Move Settings

X	<input checked="" type="radio"/>	2.000	mm	<input type="radio"/>	Variable
Y	<input checked="" type="radio"/>	-110.000	mm	<input type="radio"/>	Variable
Z	<input checked="" type="radio"/>	0.000	mm	<input type="radio"/>	Variable

Figura 5.21 Programació node “Move2” – Codi 4 [Font pròpia]

Recuperació TCP

Un cop finalitzat el recorregut, el programa executa els següents dos nodes per posicionar el TCP en un punt neutre abans de finalitzar el programa.

- “P78”: Desplaça el TCP 55 mm en Z positiu.
- “P80”: Posiciona el TCP en un punt neutre i finalitzà el programa.

6. Posada en marxa

En aquest capítol, s'han recollit els resultats de la posada en marxa dels diversos programes i s'ha realitzat una comparativa respecte al temps i els recursos necessaris per dur a terme la mateixa tasca per un operari. A més, s'ha inclòs una reflexió sobre quina aplicació podria arribar a tenir cada una d'aquestes aplicacions a la indústria.

6.1 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball

En els següents subapartats, es recull la posada en marxa del primer programa i es fa una breu comparativa en cas que una persona fos l'encarregada de realitzar aquesta tasca.

6.1.1 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball – Robot

En la figura 6.1 es pot veure el robot ubicat a la posició P8 definida durant el desenvolupament del programa. Un cop el sistema hagi assegurat que la pinça està tancada, es procedirà a l'aproximació en direcció a la possible ubicació de la safata (P9) i s'executarà el node "Compliance1".

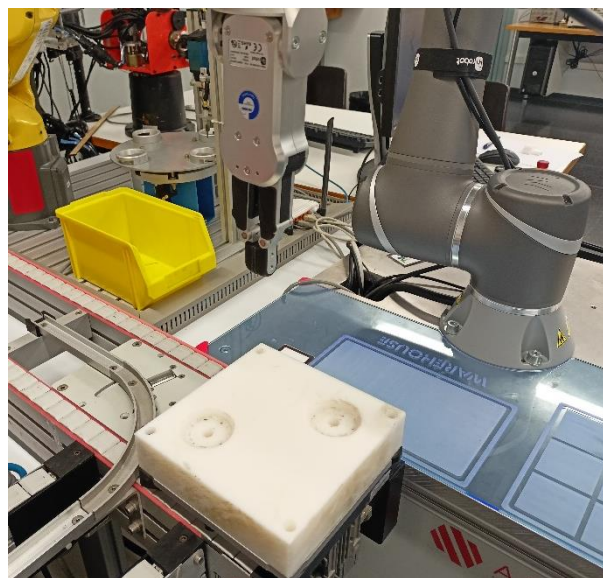


Figura 6.1 Posició P8 – codi 1 [Font pròpia]

En cas de detectar la safata en la primera iteració, el robot desplaçaria el TCP cap a la posició P10, com es veu a la figura 6.2, i finalitzaria el programa. Si no es detecta res, el programa continuarà repetint-se amb pauses de 5 segons fins a aconseguir el seu objectiu.

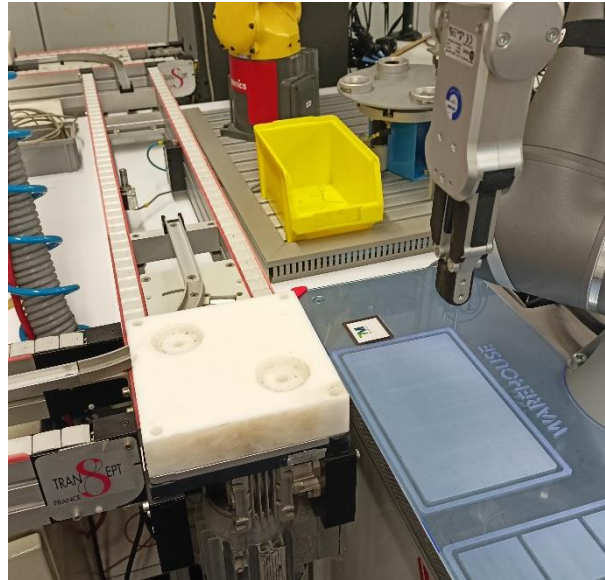


Figura 6.2 Posició P10 – codi 1 [Font pròpia]

El temps mitjà que tarda el robot a executar el programa des del moment en què es posiciona per primera vegada a P8 fins que detecta la safata i es mou cap a P10 és d'uns 25 segons.

6.1.2 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball - Persona

En el cas que aquesta tasca sigui realitzada per una persona, es requeriria una quantitat inferior de temps i recursos per detectar i informar sobre un obstacle o l'arribada de la cinta transportadora a la zona de treball.

El temps mitjà per dur a terme aquesta tasca és de 10 segons.

6.1.3 Detecció d'obstacles i/o elements en la zona de treball – Aplicació en la indústria

Per si sola, aquesta aplicació no tindria un ús pràctic estès, ja que si només es vol informar que la safata està en la seva posició, instal·lar un petit sensor o assignar un operari podrien realitzar la tasca de manera més eficient i amb menys recursos.

La clau seria implementar aquesta funcionalitat en un sistema més complex on es puguin aprofitar millor les seves característiques.

6.2 Separació de peces en una línia de producció

En aquest procés, tenim una etapa de separació de peces segons el seu pes.

6.2.1 Separació de peces en una línia de producció – Robot

Un cop inicialitzat el programa, el robot porta el TCP cap a la posició P3 i tanca la pinça, tal com es veu en la figura 6.3.

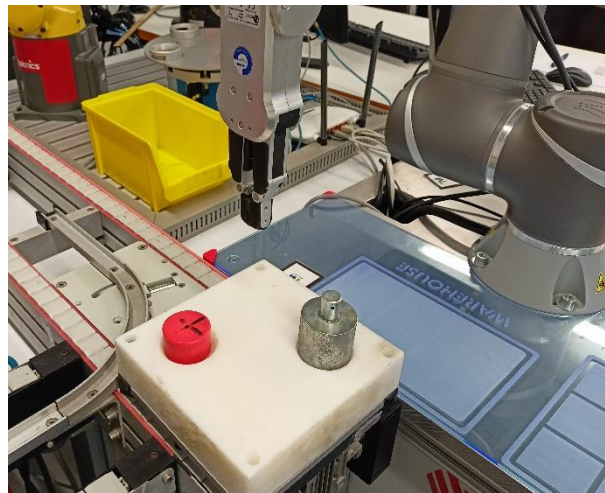


Figura 6.3 Posició P3 – codi 2 [Font pròpia]

En aquest cas, la safata ja es troba dins de la zona de treball, per la qual cosa el programa, durant l'execució del primer IF, continua per la branca del YES. En trobar-se en la primera iteració, el robot desplaça el TCP a la ubicació de la primera peça. En la següent figura es pot veure el TCP en la posició P16.

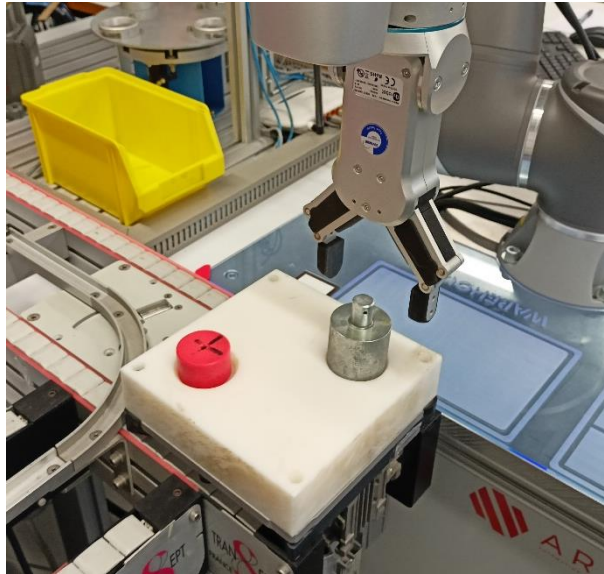


Figura 6.4 Posició P16 – codi 2 [Font pròpia]

En la figura 6.5 es pot veure el robot en la posició P10 en el moment de mesurar el pes de la primera peça, en aquest cas la peça metàl·lica.

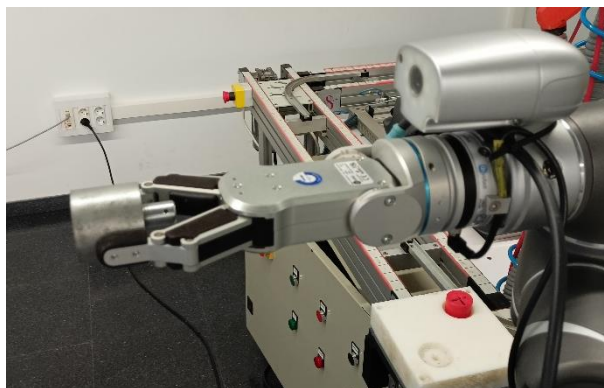


Figura 6.5 Posició P10 – Codi 2 [Font pròpia]

En estar manipulant la peça "pesada", el programa segueix per la branca del YES en el SUBFLOW "Checkpes", deixant la peça a l'esquerra del robot. En la figura 6.6 es pot veure el robot en la posició P17 just després de deixar la peça en la zona designada.



Figura 6.6 Posició P17 – Codi 2 [Font pròpia]

En aquest punt, el programa seguiria des del bloc "P15", processant la segona peça que porta la safata. En la següent figura es pot apreciar com el robot deixa la peça lleugera a la seva dreta, tot segons s'ha definit el programa.

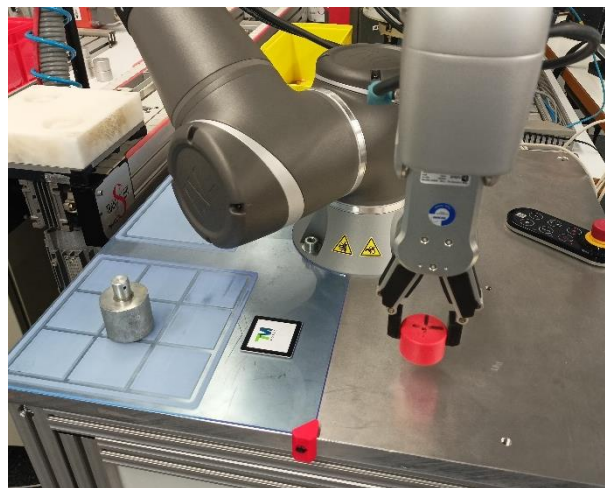


Figura 6.7 Posició P20 – codi 2 [Font pròpia]

El temps mitjà que tarda el robot a executar el programa i posicionar la peça segons el pes és d'uns 45 segons, temps que es podria reduir significativament en cas de poder obtenir lectures en l'eix Z.

6.2.2 Separació de peces en una línia de producció – Persona

En el cas que aquesta tasca sigui realitzada per una persona, es necessitaran més recursos en comparació amb l'ús d'un robot. La persona haurà de fer ús d'una balança per assegurar una separació precisa de les peces, cosa que augmentarà el temps necessari per completar l'acció.

El temps de cicle mitjà per aquesta tasca és d'1 minut i 30 segons. A més, caldrà formar el personal perquè pugui operar l'equip de manera eficient i segura, garantint alhora que es mantingui la precisió requerida en la separació de les peces.

6.2.3 Separació de peces en una línia de producció – Aplicació en la indústria

L'aplicació del sensor en les línies de producció pot comportar una sèrie d'avantatges significatius per a les operacions industrials. A més de la seva funció principal de separar peces segons el seu pes, aquests sensors poden ser utilitzats per detectar peces defectuoses durant el procés de manipulació. A continuació, es presenten dos exemples que il·lustren aquesta aplicació:

- En el camp de la fabricació amb CNC, una peça processada en una màquina CNC pot ser retirada pel robot, seguit d'una verificació del seu pes respecte al valor teòric. Si es detecta una discrepància significativa en el pes, la peça pot ser descartada com a defectuosa o el sistema pot generar una alerta per a una revisió més detallada.
- En la indústria metal·lúrgica, durant la manipulació de peces injectades amb tècniques de fosa a pressió, el robot pot determinar la qualitat de la producció comparant el pes real de la peça amb el pes esperat. En cas de detectar alguna irregularitat (com excés de rebava o la falta de alguna cavitat), el sistema pot aturar el procés i generar una alerta per a una inspecció immediata abans de continuar amb la producció.

Aquests exemples il·lustren com la capacitat del sensor de mesurar el pes pot ser utilitzada per millorar la qualitat i eficiència dels processos industrials, garantint una producció més fiable i reduint el risc de productes defectuosos.

6.3 Assemblatge i/o inserció de components

En aquest procés, tenim una etapa d'inserció de components en una línia de producció.

6.3.1 Assemblatge i/o inserció de components – Robot

Un cop inicialitzat el programa, el robot es desplaça fins al punt d'adquisició de la peça en el punt P4, tal com es pot apreciar a la següent figura.

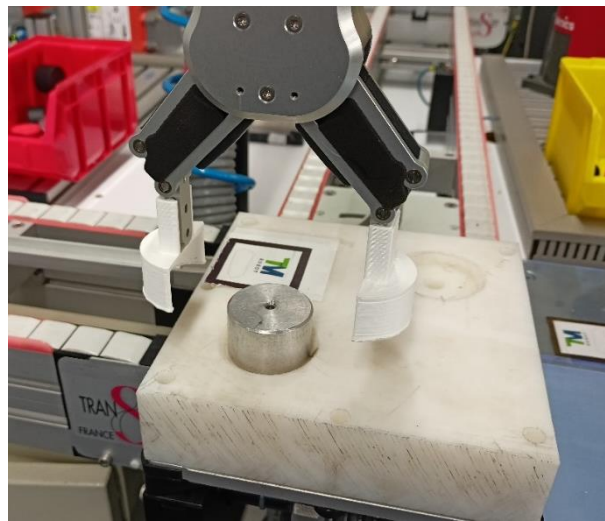


Figura 6.8 Posició P4 – Codi 3 [Font pròpia]

Un cop adquirida la peça, el sistema es desplaça fins al punt on s'iniciarà el node "SmartInsert1". En la figura 6.9 es pot veure el robot ubicat en la posició P6.

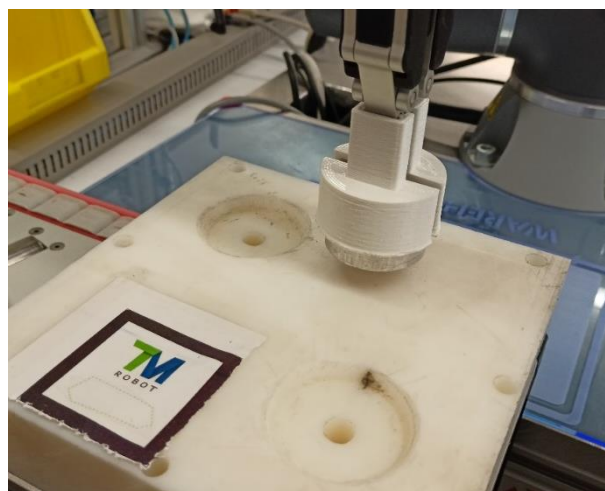


Figura 6.9 Posició P6 – Codi 3 [Font pròpia]

Si el node s'executa amb èxit, la peça queda correctament col·locada en la posició designada, tal com es pot veure a la figura 6.10.

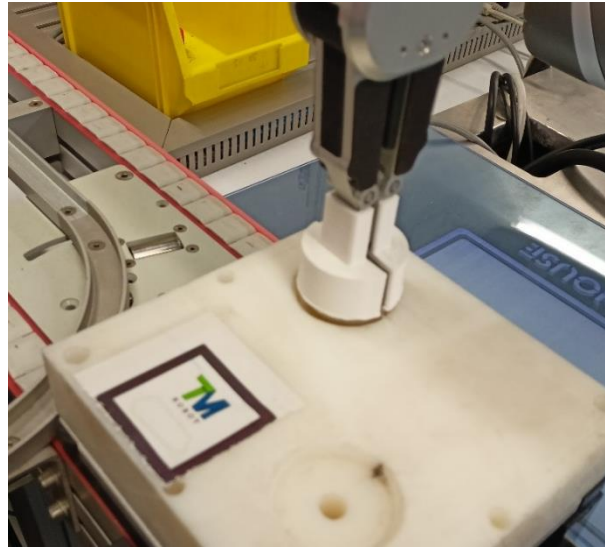


Figura 6.10 Posició TCP procés inserció OK [Font pròpia]

En cas de presentar-se algun inconvenient o problema durant el procés d'inserció, el programa seguirà per la branca del FAIL. En la següent figura es pot veure el TCP en la posició P8, just abans d'alliberar la peça.



Figura 6.11 Posició P8 – Codi 3 [Font pròpia]

El temps mitjà que tarda el robot a executar el programa i posicionar la peça en la ubicació designada és de 25 segons.

6.3.2 Assemblatge i/o inserció de components – Persona

En el cas que aquesta tasca sigui realitzada per una persona, es podria reduir significativament el temps necessari, amb un temps de cicle d'aproximadament 10 segons. Malgrat això, cal considerar que aquesta és una tasca extremadament repetitiva que no afegiria un valor substancial a la cadena de producció. En lloc de dedicar els recursos del treballador a aquesta tasca, seria més beneficiós reassignar-los a altres tasques que aportin un valor més significatiu al procés de producció.

6.3.3 Assemblatge i/o inserció de components – Aplicació en la indústria

La flexibilitat proporcionada pel node *Smart Insert* pot ser àmpliament utilitzada en aplicacions d'assemblatge i/o inserció, especialment en situacions en que la precisió de la línia de muntatge pot variar. Aquesta capacitat permet al robot col·laboratiu TM5-900 adaptar-se a les condicions variables i mantenir una eficiència operativa constant, independentment dels canvis en la configuració o les condicions del lloc de treball.

La transformació del TM5-900 en una eina d'agilització del treball per als operaris, en comptes d'una alternativa que els substitueixi completament, representa un enfocament pragmàtic cap a la col·laboració home-màquina. En aquest model, el robot complementa les habilitats dels operaris, permetent-los concentrar-se en tasques que requereixen habilitats humanes específiques, com ara presa de decisions, resolució de problemes i control de qualitat. Això millora l'eficiència general del procés i promou un entorn de treball més segur i col·laboratiu, on les màquines i els humans treballen en harmonia per aconseguir resultats òptims.

6.4 Acabat de superfícies

En aquest programa, tenim un procés d'acabat de superfície.

6.4.1 Acabat de superfícies – Robot

Un cop inicialitzat el programa, el robot es desplaça fins al punt d'inici del recorregut des d'on executarà el node "TouchStop1". En la següent figura es pot apreciar el TCP en la posició P74.

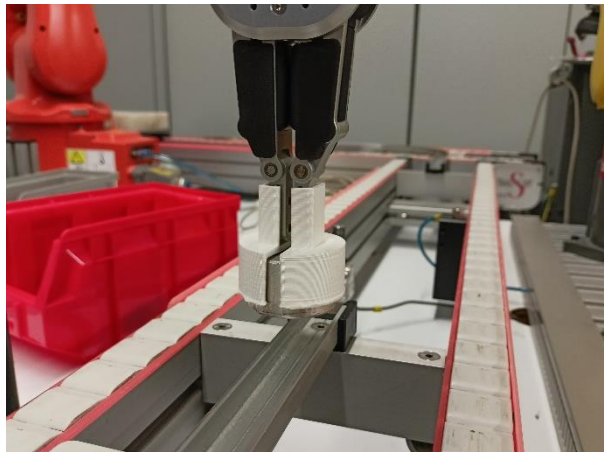


Figura 6.12 Posició P74 – Codi 4 [Font pròpia]

Un cop finalitzat el node "TouchStop1" el robot executa el node "Force1" per recórrer el primer tram limitant la força de contacte a 15 N. En la següent figura es pot visualitzar el TCP en el punt final del recorregut.

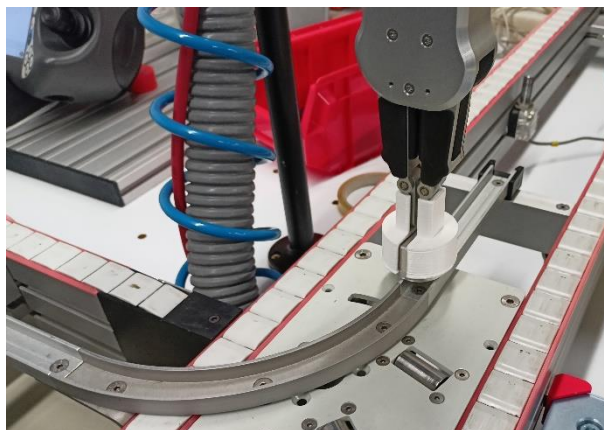


Figura 6.13 Posició P77 – Codi 4 [Font pròpia]

Des d'aquí s'executarà el node "TouchStop2" per tornar a fer contacte amb la superfície de treball. Un cop acabat aquest procés, s'executarà el node "Force2" per acabar de recórrer els dos trams restants mantenint sempre una força màxima de contacte de 15 N. En les figures

6.14 i 6.15 es pot visualitzar el TCP en el punt mitjà del semicercle i en el punt final del semicercle respectivament.

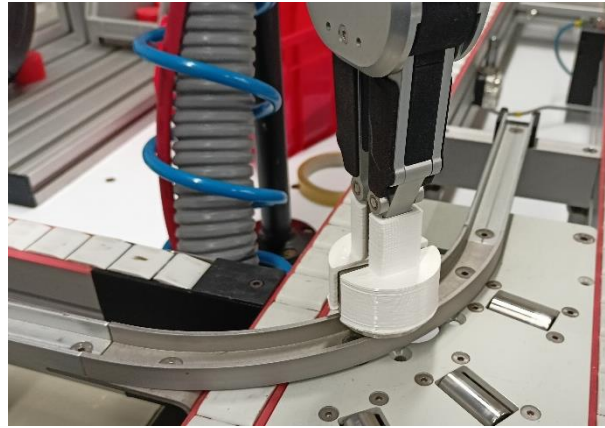


Figura 6.14 Punt mitjà semicercle – Codi 4 [Font pròpia]

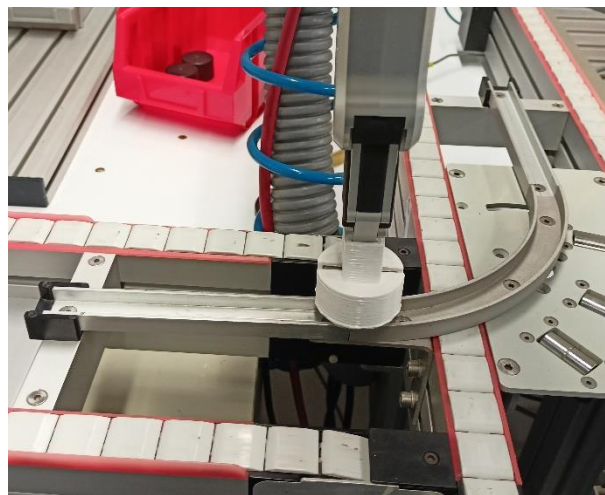


Figura 6.15 Punt final semicercle – Codi 4 [Font pròpia]

Un cop finalitzat el recorregut del segon tram, el SUBFLOW executarà el node “Move2” i un cop finalitzat, el robot desplaçarà el TCP cap a la posició P78 i després a la posició P80 per finalitzar el programa. En la figura 6.16 es pot apreciar el TCP en la posició P78.

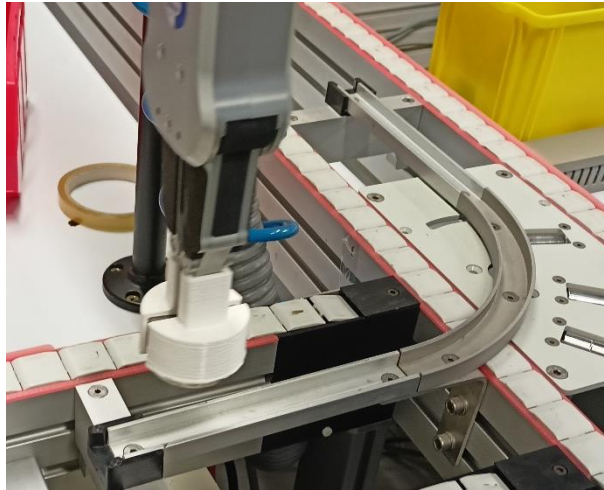


Figura 6.16 Posició P78 – Codi 4 [Font pròpia]

6.4.2 Acabat de superfícies – Persona

En el cas que aquesta tasca sigui realitzada per una persona, el procés requerirà una major atenció i habilitat manual per assegurar un acabat consistent i de qualitat. Això augmentarà el temps necessari per completar cada unitat, amb un temps de cicle mitjà de 2 minuts i 45 segons.

La persona haurà de fer ús d'eines específiques com paper de vidre, politges o raspalls, la qual cosa implicarà una major despesa en materials consumibles. A més, serà necessari formar adequadament el personal per garantir que se segueixin els estàndards de qualitat establerts.

6.4.3 Acabat de superfícies - Aplicació en la indústria

L'ús d'eines i processos d'acabat de superfícies té una gran importància en diverses indústries, ja que pot millorar significativament la qualitat del producte final i la seva acceptació en el mercat. A continuació, es descriuen dos exemples d'aplicació d'aquest procés en diferents contextos industrials on es podrien aplicar el model de robot – sensor del qual tracta aquest projecte:

- En la indústria de l'automoció, el poliment i desbarbat de superfícies són crucials per proporcionar vehicles amb una aparença estètica atractiva i per assegurar que les parts encaixin correctament. Això pot incloure processos com el poliment de la pintura per eliminar imperfeccions i obtenir un acabat brillant, així com el desbarbat de peces metàl·liques per garantir la seguretat i funcionalitat del vehicle.

- En la indústria de la fabricació de mobles, el poliment de superfícies de fusta és essencial per crear productes estèticament atractius i duradors. Els processos d'acabat són utilitzats per eliminar imperfeccions i donar una superfície suau i lleugera al tacte, millorant així la qualitat i l'aparença dels mobles fabricats.

7. Planificació

En aquest capítol, es recull la planificació original recollida en l'avantprojecte i una reflexió sobre les desviacions i data d'acabament final del projecte.

7.1 Planificació original

En la següent taula estan indicades les diverses tasques a realitzar, amb una estimació de la seva duració.

	Tasques	Duració	Anterior	Recurs
A	Redacció avantprojecte	15 dies		P
B	Redacció Antecedents	2 dies	A	P
C	Correcció avantprojecte	5 dies	A,B	P
D	Recerca informació	7 dies	C	P
E	Proves laboratorí	15 dies	D	P
F	Calibratge sensor	1 dia	D	P
G	Definició aplicacions	2 dies	E,F	P
K	Redacció memòria intermèdia	12 dies	E	P
I	Correcció memòria intermèdia	5 dies	K	P
J	Preparació elements necessaris	3 dies	K	P
K	Desenvolupament programes	20 dies	I	P
L	Posada en marxa	10 dies	J	P
M	Redacció documentació final	10 dies	J	P

Taula 7.1 Llistat de tasques [Font pròpia]

En les següents tres figures es pot visualitzar el diagrama de Gantt de la planificació original.

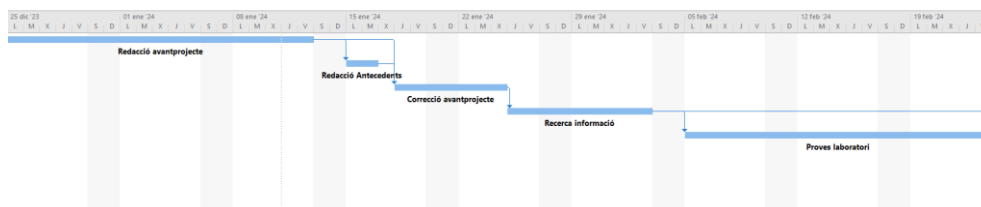


Figura 7.1 Diagrama de Gantt 25/12/2023 a 23/2/2024 [Font pròpia]

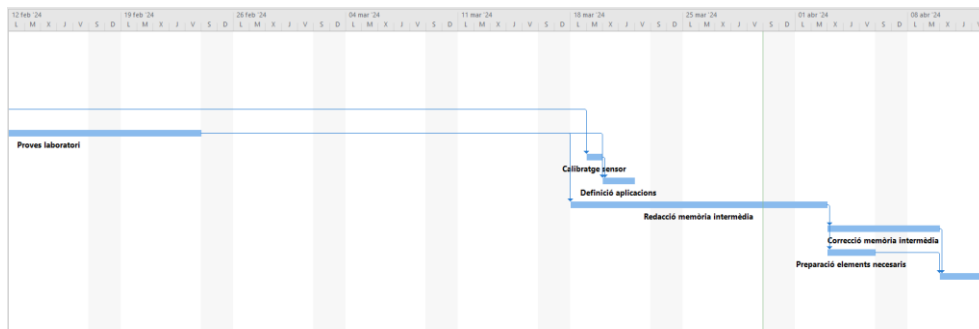


Figura 7.2 Diagrama de Gantt 12/2/2024 a 13/4/2024 [Font pròpia]

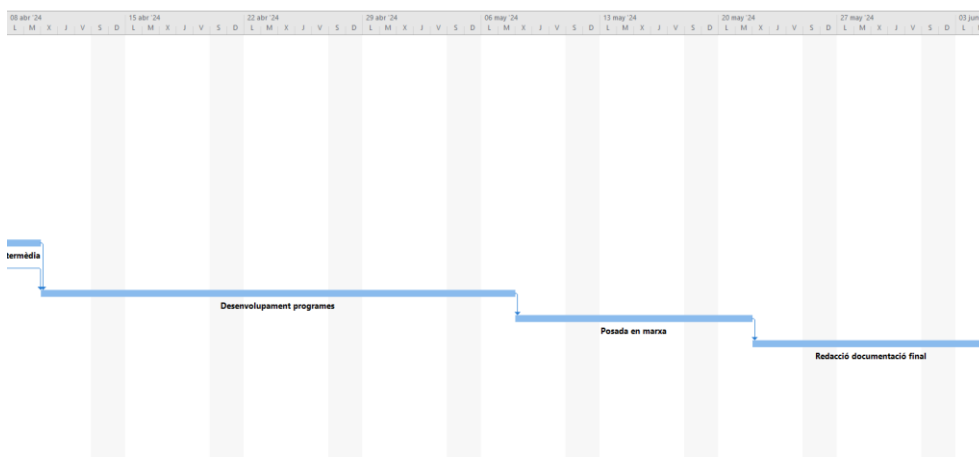


Figura 7.3 Diagrama de Gantt 8/4/2024 a 4/6/2024 [Font pròpia]

7.2 Desviacions

Durant el desenvolupament del projecte, degut a diverses problemàtiques i altres aspectes, la durada real del projecte ha variat respecte a la planificada originalment. Els punts que han canviat són els següents:

- La durada de l'activitat D "Proves al laboratori" en comptes d'una durada de 15 dies ha tingut una durada de 10 dies, degut a que s'ha invertit més temps del que s'esperava inicialment.
- La durada de la activitat K "Desenvolupament de programes" ha augmentat en 6 dies respecte la planificació original degut a problemes amb la calibració del sensor i al fet que el material del laboratori 4 no sempre esta disponible per les tardes degut a classes o al us d'aquest per altres companys.

- La durada de l'activitat L "Posada en marxa" ha disminuït en 4 dies ja que s'han pogut dur a terme les tasques necessàries amb un temps menor al esperat.
- La durada de l'activitat M "Redacció documentació final" ha disminuït la seva durada en dos dies, ja que a causa de la data d'entrega no s'ha pogut invertir el temps que s'havia planificat originalment.

En la següent taula es recull la llista de tasques realitzades i la durada final d'aquestes.

	Tasques	Duració	Anterior	Recurs
A	Redacció avantprojecte	15 dies		P
B	Redacció Antecedents	2 dies	A	P
C	Correcció avantprojecte	5 dies	A,B	P
D	Recerca informació	7 dies	C	P
E	Proves laboratoris	20 dies	D	P
F	Calibratge sensor	1 dia	D	P
G	Definició aplicacions	2 dies	E,F	P
K	Redacció memòria intermèdia	12 dies	E	P
I	Correcció memòria intermèdia	5 dies	K	P
J	Preparació elements necessaris	3 dies	K	P
K	Desenvolupament programes	26 dies	I	P
L	Posada en marxa	6 dies	J	P
M	Redacció documentació final	8 dies	J	P

Taula 7.2 Llistat de tasques – Desviacions [Font pròpia]

En les següents tres figures es pot visualitzar el diagrama de Gantt corresponent a la durada final del projecte i com s'han repartit les tasques al llarg del temps.

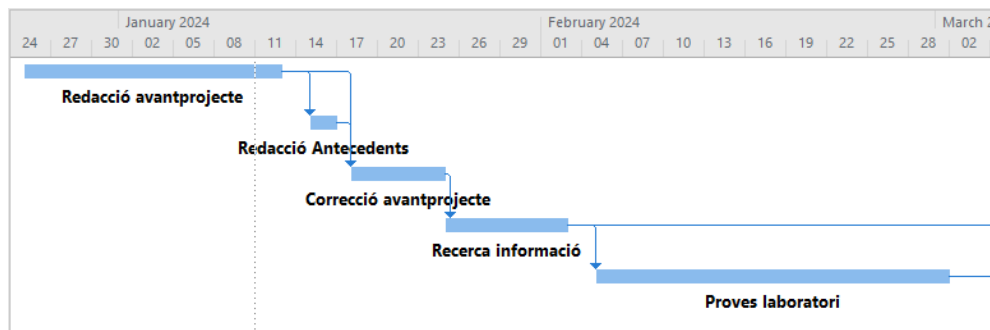


Figura 7.4 Diagrama de Gantt desviacions del 25/2024 a 4/6/2024 [Font pròpia]

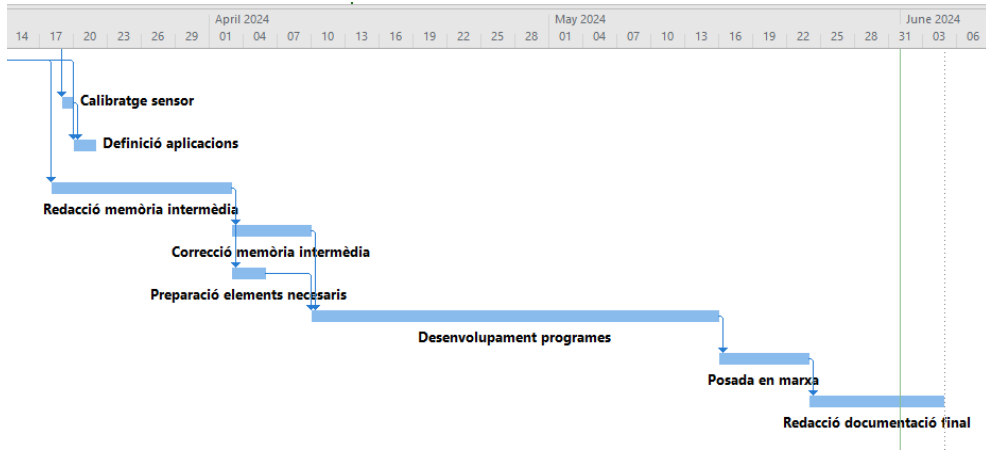


Figura 7.5 Diagrama de Gantt desviacions del 15/3/2024 a 4/6/2024 [Font pròpia]

8. Anàlisi de viabilitat

En el següent capítol, es duran a terme els diversos estudis de viabilitat necessaris durant el desenvolupament del projecte.

8.1 Viabilitat econòmica

El pressupost del projecte desenvolupat durant l'estudi econòmic del projecte (Volum II) presenta el següent quadre de preus, amb un total de costos de projecte de vint mil sis-cents tres euros amb trenta cèntims.

Total Capítol I	10.106,25 €
Total Capítol II	63,25 €
Total Capítol III	6.858,00 €
<hr/>	
TOTAL	17.027,50 €
IVA 21 %	3.575,80 €
<hr/>	
TOTAL PRESSUPOST	20.603,30 €

Per comprovar la viabilitat econòmica del projecte, es planteja el següent cas d'estudi:

- Una empresa dedicada a la mecanització de peces metàl·liques mitjançant CNC decideix implementar el projecte en una de les seves seccions de producció. Això implica la reducció de la necessitat de tres operaris a només un, amb l'afegit d'un augment de la producció equivalent a 15.000 euros més de benefici a l'any.

Amb aquest cas, es desenvolupa l'anàlisi de viabilitat, el qual ofereix els següents resultats obtinguts durant el desenvolupament de l'estudi econòmic (Volum II).

Concepte	2024	2025	2026	2027	2028
Ingressos	36400	36400	36400	36400	36400
Costos de producció i despeses material	26258,7	26258,7	26258,7	26258,7	26258,7
Amortització	10458,70	10458,70	10458,70	10458,70	10458,70
Benefici abans d'impostos (BAI)	15141,3	15141,3	15141,3	15141,3	15141,3
Benefici net (BN)	4682,60	4682,60	4682,60	4682,60	4682,60
Cash-Flow	15141,30	15141,30	15141,30	15141,30	15141,30

Taula 8.1 Fluxos de caixa nets anuals [Font pròpia]

De les dades de la taula 8.1 s'obté un VAN de 5 416,5€, del qual, mitjançant (8.1), s'obindrà l'ICB.

$$ICB = \frac{VAN}{C_0} = \frac{5\,416,5}{52\,929,3} \cdot 100 = 10,2 \% \quad (8.1)$$

Amb les diverses dades obtingudes durant l'estudi econòmic del projecte, es pot determinar que, pel cas plantejat, el projecte és viable des del punt de vista econòmic.

4.2 Viabilitat tècnica

Actualment, moltes empreses de diferents sectors utilitzen la tecnologia esmentada per a múltiples aplicacions, per tant, es considera que el projecte és tècnicament viable. Per aprofundir una mica més, es valoraran diversos aspectes que influeixen en el projecte.

· Ús de l'entorn de programació TMflow: Tot i que no s'ha treballat amb aquest entorn de programació durant l'etapa acadèmica, amb els coneixements actuals de programació es pot desenvolupar la solució.

· Connexions eina / robot: Mitjançant les especificacions tècniques, es pot dur a terme la tasca sense complicacions.

· Disseny d'utilitatges: Mitjançant el programari SOLIDWORKS, es poden desenvolupar elements en cas de ser necessaris per a l'aplicació final.

· Confecció d'utilitatges: Per confeccionar els utilitatges, en cas de necessitat, es podrien realitzar mitjançant impressió 3D.

8.3 Viabilitat mediambiental

En considerar-se un projecte que es basa principalment a desenvolupar una solució mitjançant programació, no ha de generar residus significatius ni perjudicials per al medi ambient. En cas de necessitar desenvolupar un utilatge mitjançant impressió 3D, es procuraria utilitzar materials reciclats i gestionar adequadament els residus. En el cas de fer alguna compra, l'envàs del producte seria reciclat de manera adequada.

En les següents taules, es valora i es tenen en compte els possibles perjudicis que el projecte pot generar sobre el medi ambient i altres entorns.

Accions impactats		Observacions
Fase construcció / execució	Desenvolupant programa	Sense efecte significatiu
	Desplaçament	En realitzar la major part del projecte a la universitat, els desplaçaments en cotxe podrien generar residus.
	Desenvolupament utillatges	Ús de material reciclat i gestió adequada dels residus.
Fase funcionament / explotació	Consum elèctric	Es consumirà energia en operar el robot, però amb un ús adequat es pot optimitzar el consum.
Fase d'ús	Consum elèctric	Es consumirà energia en operar el robot, però amb un ús adequat es pot optimitzar el consum.

Taula 8.2 Accions impactats durant les diverses fases [Font pròpia]

Factor ambiental		Impacte sobre...
Medi natural	Atmosfera	Mínim
	Sòl	Sense efecte significatiu
	Aigua	Sense efecte significatiu
	Flora	Sense efecte significatiu
	Fauna	Sense efecte significatiu
	Medi perceptual	Sense efecte significatiu
Medi socioeconòmic	Ús territori	Sense efecte significatiu
	Cultural	Sense efecte significatiu
	Infraestructura	Ús de material propietat del TecnoCampus
	Persones	Efecte significatiu en cas d'implementació real

Taula 8.3 Avaluació efecte sobre factors ambientals [Font pròpia]

9. Perspectiva de gènere

La perspectiva de gènere en l'àmbit de l'enginyeria és essencial per al desenvolupament sostenible i la igualtat social. En els darrers anys, s'ha destacat la importància de promoure la igualtat en tots els sectors, incloent-hi la indústria. Els projectes d'enginyeria tenen un paper fonamental en aquest procés, oferint oportunitats equitatives per a homes i dones, proporcionant eines i tecnologies que permetin la participació activa de tots els gèneres i col·lectius en el món laboral.

Els robots industrials col·laboratius, com el TM5-900 de Techman Robot, representen una innovació significativa que pot millorar la qualitat de vida de les dones en l'entorn laboral. Ja que aquests robots faciliten una col·laboració segura i eficient entre humans i màquines, permetent dur a terme tasques industrials amb major seguretat i eficàcia. A més, la plataforma de programació intuïtiva TMflow és accessible per a persones amb diferents nivells d'experiència tècnica, eliminant barreres per a la incorporació i l'avanç de les dones i altres col·lectius en l'àmbit de l'automatització industrial.

L'ús de robots col·laboratius en projectes industrials no només augmenta l'eficiència i la productivitat, sinó que també contribueix a crear entorns laborals més inclusius i equitatius. Proporcionar les eines i oportunitats necessàries perquè les persones puguin participar plenament en la indústria genera una major diversitat d'idees i perspectives, afavorint la innovació i el creixement econòmic.

10. Conclusions

Aquest projecte d'enginyeria ha contemplat la implementació del sensor de força HEX-E en el robot col·laboratiu TM5-900, amb l'objectiu de desenvolupar diversos programes que poguessin aprofitar les dades enregistrades pel sensor i les característiques pròpies que ofereix el software TMflow.

Els programes s'han pogut desenvolupar amb èxit malgrat les dificultats trobades durant el transcurs del projecte. El problema més significatiu ha estat l'error de lectura que presentava el sensor en l'eix Z, cosa que ha necessitat de una calibració de fàbrica per part del proveïdor per tal de solucionar la situació. Aquest factor ha influït en alguns dels programes, fet que ha requerit buscar alternatives per poder registrar les dades correctament. Per exemple, en el cas del codi desenvolupat en el apartat “5.2 Separació de peces en una línia de producció”, on per poder fer la lectura del pes de les peces abans de separar-les, s'ha utilitzat el valor obtingut en l'eix Y.

Finalment, cal mencionar que desenvolupar aquest projecte ha ofert la possibilitat d'iniciar-se en el món de l'automatització de processos, donant un punt de vista més ampli sobre aquests aspectes respecte al que s'ha vist durant les diverses assignatures que tractaven aquest tema en l'etapa universitària.

10.1 Passos Futurs

Els passos futurs del projecte serien aprofitar les característiques desenvolupades per realitzar una implementació real en el sector industrial, automatitzant o oferint millores de rendiment als processos de fabricació.

11. Referencias

En aquest últim capítol, es recullen les referències bibliogràfiques i webgrafia utilitzades durant el transcurs del projecte.

- [1] Cobots, C. (2019, febrer 13). ¿Qué es un cobot? CADE Cobots. <https://cadecobots.com/que-es-un-cobot/>
- [2] IRB 14000. SmartLinks. Recuperat el 12 de gener de 2024, de <https://new.abb.com/products/es/3HAC050778-001/irb-14000>
- [3] LBR iiwa. (2018, gener 25). KUKA AG. <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/lbr-iiwa>
- [4] KUKA LBR iiwa 14 R820. Robotsdoneright.com. Recuperat el 12 de gener de 2024, de <https://robotsdoneright.com/inventory/kuka-robots/kuka-lbr-iiwa-14-r820-981828.html>
- [5] Robots colaborativos. Omron.es. Recuperat el 12 de gener de 2024, de <https://industrial.omron.es/es/products/collaborative-robots>
- [6] Techman robot. (2022, octubre 27). Techman Robot. <https://www.techman-robot.com/en/tm5-900/>
- [7] Software de robot colaborativo Omron TMFlow. (s. f.). Omron.com. Recuperat el 12 de gener de 2024, de <https://automation.omron.com/es/us/products/family/Omron%20TM%20Software>
- [8] Omron TM5-900. Unchained Robotics. Recuperat el 12 de gener de 2024, de <https://unchainedrobotics.de/en/products/robot/cobot/omron-tm5-900>
- [9] Datasheet HEX-E SENSOR V2 v1.3
- [10] Hex 6 axis force torque sensor. OnRobot. Recuperat 26 de març de 2024, de <https://onrobot.com/en/products/hex-6-axis-force-torque-sensor>

- [11] SOBRE ONROBOT. OnRobot. RecuperaT 28 de març de 2024, de <https://onrobot.com/es/sobre-onrobot>
- [12] Software de robot col·laboratiu Omron TMFlow. Omron.com. Recuperat 28 de març de 2024, de <https://automation.omron.com/es/mx/products/family/Omron%20TM%20Software>
- [13] The cobot company for manufacturing. (2022, octubre 24). Techman Robot. <https://www.tm-robot.com/en/>
- [14] Machinery. (s. f.). Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Recuperado 28 de maig de 2024, de https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/mechanical-engineering/machinery_en
- [15] (S. f.). Aenor.com. Recuperado 31 de maig de 2024, de <https://www.aenor.com/>
- [16] Electromagnetic compatibility (EMC) directive. (s. f.). Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Recuperado 31 de maig de 2024, de https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/electrical-and-electronic-engineering-industries-eei/electromagnetic-compatibility-emc-directive_en
- [17] RG2 Datasheet. Onrobot.com. Recuperat 1 de abril de 2024, de https://onrobot.com/sites/default/files/documents/Datasheet_RG2_EN.pdf
- [18] USER MANUAL FOR TECHMAN ROBOTS v6.1.0
- [19] Software Manual TMflow. Omron.com. Recuperat 1 de abril de 2024, de https://assets.omron.com/m/6e6283b9dbb1640d/original/19888-400_RevK_Software-Manual-TMflow_SW1-84.pdf