

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automatització

**PROGRAMACIÓ D'UN ROBOT DE 5 EIXOS.
CONTROL DE MOVIMENT I ESTUDI DE DINÀMIQUES
“Scorbot Studio”**

Memòria

EUDALD BOIXADERAS MANZANEDA

PONENT: JORDI AYZA

TARDOR 2016



**TecnoCampus
Mataró-Maresme**

Dedicatòria

A tots aquells que han dedicat un moment a ensenyar-me.

Agraïments

A en Jordi, la Carolina i en Roger per ser-hi sempre.

A en Jordi Ayza per guiar-me en aquest projecte.

A en Ferran Iglesias i tot l'equip de CSM de Rockwell Automation per ensenyar-me.

A en Sergi Lopez per les intenses converses de Motion.

A en Robert Safont per introduir-me en el fascinant món dels PLC.

A en Julián Horrillo, perquè una bona idea sempre necessita una planificació al darrere.

A en Gerard Grau per la seva disponibilitat com a becari de la universitat.

A la Lidia Martinez-Seara i el seu bon gust.

A tots ells, moltes gràcies.

Resum

Aquest projecte sorgeix de la iniciativa d'aprofitar una mecànica amb controladora que hi ha al laboratori de Robòtica del Tecnocampus , a la vegada que millorar la qualitat docent de les pràctiques en l'assignatura "Robòtica" impartida a l'EUPMT. L'objectiu és dotar al robot d' un control de moviment manual, on es pugui moure cada eix individualment; i un moviment automàtic, on l'usuari pugui programar una seqüència de punts i veure els resultats físicament a un foli i en un estudi gràfic. Així doncs l'alumne disposarà d'una aplicació per verificar els programes que realitzi, i una interfície per poder enviar aquests programes a la controladora des de la xarxa del laboratori, podent observar físicament els moviments i accions del robot.

Resumen

Este proyecto surge de la iniciativa de aprovechar una mecánica con controladora que hay en el laboratorio de Robótica del Tecnocampus, a la vez que mejorar la calidad docente de las prácticas en la asignatura " Robótica " impartida en la EUPMT. El objetivo es dotar al robot de un control de movimiento manual, donde se pueda mover cada eje individualmente; y un movimiento automático, donde el usuario pueda programar una secuencia de puntos y ver los resultados físicamente y en un estudio gráfico. Así pues, el alumno dispondrá de una aplicación para verificar los programas que realice, y una interfaz para poder enviar estos programas a la controladora desde la red del laboratorio, pudiendo observar físicamente los movimientos y acciones del robot.

Abstract

This project arises from the initiative to leverage a controller mechanics there in the laboratory of Robotics Tecnocampus, while teaching quality practices in the subject "Robotics " given in the EUPMT is improved. The aim is to give the robot a manual movement control where each axis can be moved individually; and an automatic movement, where the user can program a sequence of points and see the results physically and a graphic studio. Thus the student will have to verify application programs that perform, and an interface to send these programs to the network controller from the laboratory can physically observe the movements and actions of the robot.

Índex

Índex de figures.....	V
Índex de Taules.....	IX
Glossari de termes.....	XI
1. Objectius	13
1.1. Propòsit.....	13
1.2. Finalitat.....	13
1.3. Objecte.....	13
1.4. Abast.....	14
2. Especificacions de requeriments d'usuari.....	17
2.1. Introducció i objectius.....	17
2.2. Dades del sistema existent a la ESUPT.....	17
2.3. Gestió de les seqüències de control.....	18
2.4. Disciplines de control.....	19
2.4.1. Descripció general de l'autòmat.....	19
2.4.2. CPU.....	19
2.5. HMI – Descripció del sistema.....	21
2.6. Funcionalitats i necessitats.....	22
2.6.1. Especificacions de seguretat.....	23
2.6.2. Especificacions de l'eina per a la aplicació desitjada.....	25
3. Especificacions del disseny funcional.....	27
3.1. Enginyeria d'especificació.....	27

3.2.	Entorn de treball per a l'aplicació proposada	28
3.3.	Proves d'acceptació	29
3.4.	Posta en servei.....	30
3.5.	Llistat d'elements.....	30
3.5.1.	Grups funcionals.....	30
3.5.2.	Quadre del controlador	31
3.5.3.	Quadre d'entrades i sortides	31
3.5.4.	Quadre de potència	32
3.5.5.	Llistat de dispositius	32
3.5.6.	Components IT	34
3.5.7.	Arquitectura Hardware IT.....	34
3.5.8.	Recomanacions del hardware de l'arquitectura del PC	34
3.5.9.	Softwares de Rockwell Automation	35
3.5.10.	Plànols i esquemes elèctrics.....	36
4.	Especificacions del disseny del software de l'autòmat	37
4.1.	Estructuració de la programació Ladder	37
4.2.	Valor afegit a les especificacions del disseny del software	39
4.3.	Diagnòs de l'estat del hardware	40
5.	Configuració d'un grup de moviment.....	45
5.1.	Afegir i configurar un grup de moviment	45
5.2.	Afegir i configurar un eix	48
5.3.	Afegir i configurar un eix virtual.....	49
5.4.	Afegir i configurar un sistema coordinat	51

5.5.	Afegir i configurar paràmetres de seguretat.....	54
6.	Disseny de la interfície home màquina (HMI).....	57
6.1.	Implementació del sistema HMI FactoryTalk View ME.....	57
6.2.	Configuració de la comunicació	58
	Disseny de l'aplicació	58
6.2.1.	Estructuració de les pantalles de l'aplicació	58
6.2.2.	Descripció de les pantalles de control	60
6.2.3.	Presentació i gestió d'alarmes	67
7.	Manual d'usuari de Scorbot Studio.....	71
7.1.	Posada en marxa	71
7.2.	Ús de la interfície gràfica de Scorbot Studio	72
7.3.	Interacció amb Microsoft Excel.....	74
8.	Planificació.....	79
9.	Pressupost.....	85
9.1.	Amidaments	85
9.2.	Quadre de preus	86
9.3.	Pressupost Parcial	87
9.4.	Pressupost Global.....	89
10.	Impacte mediambiental.....	91
11.	Conclusions i futures línies de treball.....	93
11.1.	Desviacions de pressupost	93
11.2.	Desviacions de la planificació	94

11.3.	Conclusions.....	95
11.4.	Futures línies de treball.....	96
12.	Referències i bibliografia.....	97

Índex de figures

Fig. 2.1. Esquema cicle treball d'un PAC. Font : Rockwell Automation.....	21
Fig. 2.2. Útil de l'eina. Font : Elaboració pròpia	25
Fig. 3.1 Localització de les reductores. Font : Elaboració pròpia.....	33
Fig. 3.2 Arquitectura Hardware IT. Font : Elaboració pròpia	34
Fig. 4.1 Estructuració programa Ladder. Font: Elaboració pròpia.	37
Fig. 4.2 . Codis hexadecimals d'estat dels mòduls de control. Font : Elaboració pròpia	41
Fig. 4.3 Bit d'OK dels mòduls locals del bastidor CompactLogix. Font : Elaboració pròpia	43
Fig. 4.4 Sistema de diagnòs completat. Font : Elaboració pròpia.....	43
Fig. 4.5 Habilitació dels eixos. Font : Elaboració pròpia.....	44
Fig. 5.1 Exemple temps d'escaneig. Font : Elaboració pròpia	45
Fig. 5.2 New Motion Group. Font : Elaboració pròpia.....	46
Fig. 5.3 Propietats grup de moviment. Font : Elaboració pròpia.....	47
Fig. 5.4 Atributs del grup de moviment. Font : Elaboració pròpia.....	47
Fig. 5.5 Afegir un nou eix. Font : Elaboració pròpia	48
Fig. 5.6 Propietats d'un eix. Font : Elaboració pròpia	49
Fig. 5.7 Afegir eix virtual. Font : Elaboració pròpia	50
Fig. 5.8 Relació d'eixos. Font : Elaboració pròpia	50

Fig. 5.9 Nou sistema coordinat. Font : Elaboració pròpia	51
Fig. 5.10 Propietats del sistema coordinat. Font : Elaboració pròpia	52
Fig. 5.11 Geometria del robot cartesià. Font : Elaboració pròpia.....	52
Fig. 5.12 Geometria del robot angular. Font : Elaboració pròpia	53
Fig. 5.13 Monitorització de nous paràmetres. Font : Elaboració pròpia.....	54
Fig. 5.14 Ajust del parell. Font : Elaboració pròpia.....	55
Fig. 5.15 Configuració del Soft Travel Limits. Font : Elaboració pròpia.....	56
Fig. 6.1 Obrir projecte View Machine Edition. Font : Elaboració pròpia	58
Fig. 6.2 Mapa mental de la aplicació. Font : Elaboració pròpia	60
Fig. 6.3 Pantalla principal de la aplicació. Font : Elaboració pròpia	60
Fig. 6.4 Pantalla de selecció. Font : Elaboració pròpia.....	61
Fig. 6.5 Pantalla moviment manual. Font : Elaboració pròpia	62
Fig. 6.6 Pantalla moviment automàtic. Font : Elaboració pròpia	63
Fig. 6.7 Pantalla del gràfic. . Font : Elaboració pròpia	64
Fig. 6.8 Pantalla quadre de control. Font : Elaboració pròpia	65
Fig. 6.9 Pantalla de visualització de alarmes. Font : Elaboració pròpia	66
Fig. 6.10 Pantalla de preapagat i home. Font : Elaboració pròpia	66
Fig. 6.11 Pantalla de configuració. Font : Elaboració pròpia	67
Fig. 6.12 Alarmes programades. Font : Elaboració pròpia.....	68
Fig. 6.13 Editar descripció de alarmes. Font : Elaboració pròpia.....	69

Fig. 7.1 Finestra Factory Talk System Directory. Font : Elaboració pròpia.....	73
Fig. 7.2 Pantalla comunicació RsLinx. Font: Elaboració pròpia.	74
Fig. 7.3 Configuració del Topic. Font: Elaboració pròpia.....	75
Fig. 7.4 Missatge per habilitar el contingut. Font: Elaboració pròpia.	75
Fig. 7.5 Missatge d'avís. Font: Elaboració pròpia.	76
Fig. 7.6 Advertència d'escriptura. Font: Elaboració pròpia.....	76
Fig. 7.7 Tags Moviment lineal. Font: Elaboració pròpia.....	77
Fig. 7.8 Tags Moviment lineal. Font: Elaboració pròpia.....	77
Fig. 8.1 Planificació del projecte	81
Fig. 8.2 Execució del projecte.....	82

Índex de Taules

Taula 3.1 Especificacions de la mecànica del robot. Font : Elaboració pròpia	28
Taula 3.2 Especificacions del controlador. Font : Rockwell Automation	31
Taula 3.3 Especificacions del quadre d'entrades i sortides. Font : Rockwell Automation	31
Taula 3.4 Especificacions del Quadre de potència. Font : Rockwell Automation	32
Taula 3.5 Llistat de dispositius. Font : Rockwell Automation	32
Taula 3.6 Especificacions de les reductores. Font : Elaboració pròpia	33
Taula 3.7 Especificacions de la unitat de programació. Font : Elaboració pròpia.....	35
Taula 8.1 Tasques de la Planificació. Font : Elaboració pròpia.....	79
Taula 9.1 Hores destinades al capítol I. Font: Elaboració pròpia	85
Taula 9.2 Amidaments del capítol II (Material). Font: Elaboració pròpia	86
Taula 9.3 Preus unitaris del capítol I. Elaboració pròpia.....	86
Taula 9.4 Preus unitaris del material del Capítol II. Font: Elaboració pròpia.	87
Taula 9.5 Costos del capítol I. Font: Elaboració pròpia.	87
Taula 9.6 Costos del capítol II. Font: Elaboració pròpia	88
Taula 9.7 Costos Capítol III. Font : Elaboració pròpia.....	88

Glossari de termes

EUPMT : Escola Universitària Politècnica de Mataró

ESUPT : Escola Superior Politècnica del Tecnocampus

FDS: Functional Design Specification

ISO: Organització internacional de normalització

PLC: Programmable Logic Controller

PAC: Programmable Automation Controller

PID: Proportional Integral Derivate

SDS: Especificacions del Disseny del Software

SLOT: Espai del bus per introduir mòduls

SCARA : Selective Appliance Arm Robot For Assembly

UPC : Universitat politècnica de Catalunya

URS: Especificacions dels Requeriments d'Usuari.

1. Objectius

1.1. Propòsit

El propòsit d'aquest TFG és millorar i implementar funcionalitats al robot Scrobot-III amb adaptació de Allen-Bradley situat als Laboratoris de l'Escola Superior Politècnica del Tecnocampus per tal de facilitar-ne l'ús i els futurs aprenentatges.

Això implica millorar la interfície d'usuari amb la màxima capacitat de programació de moviments des de la mateixa interfície: canvi de velocitat, moviment entre dos punts passant per un tercer sense aturar-se... entre d'altres paràmetres que puguin ser introduïts directament des de l'interfície de l'usuari o de forma externa i siguin útils per l'estudi d'aspectes bàsics de la robòtica, cinemàtica i disseny de trajectòries.

1.2. Finalitat

La finalitat d'aquest projecte és apropar un equip que té la universitat als estudiants. Programar el robot per a que tingui un entorn més fàcil d'entendre per a usuaris no tant experts, els quals puguin donar un seguit d'ordres i amb la màxima senzillesa possible tinguin una visió pràctica de com es comporta el robot seguint les seves comandes. Normalitzar la interfície d'usuari buscant un nivell estandarditzat en la indústria actual.

Servirà per a fer estudis de dinàmiques de moviment, practicar ordres de posicionament, cinemàtica, disseny de trajectòries i veure com la teoria explicada a assignatures com Robòtica o Automatització no és sempre ideal i quins problemes o diferències hi ha al aplicar la teoria a un cas real. Es pretén fer de l'equip un robot educacional dotat d'una eina per avaluar la programació de trajectòries múltiples en un pla.

1.3. Objecte

L'objecte de la proposta inclou el desenvolupament d'una aplicació que permeti el control de trajectòries lineals i circulars amb moviments sincronitzats. Per implementar aquests conceptes d'una forma més gràfica per als usuaris finals, el propòsit de l'aplicació serà dibuixar una forma geomètrica en un pla. Això ajudarà a veure les trajectòries descrites per el robot al fer-lo passar

per diferents punts i la influència de paràmetres com la velocitat o el tipus de moviment. Per això caldrà dissenyar i construir un útil de suport per a un retolador, adaptable a la pinça actual i una taula d'escriptura per facilitar la feina al robot.

Com a valor afegit es proposa fer un entorn parametrizable segons el tipus d'usuari, que pretén dotar al equip de mecanismes, molt interessants en un entorn de docència i aprenentatge, que proporcionin seguretat per a la integritat del robot. La controladora s'encarregarà de fer el control dels moviments a més d'implementar una rutina de vigilància que comprovarà prèviament la posició dels eixos, la seva velocitat i altres paràmetres que s'estableixin com a convenients per tal d'evitar mals usos o accidents que els usuaris poc formats puguin provocar.

Les normes de seguretat s'aproximaran al màxim a un robot de treball industrial, ja que les normatives vigents contenen amb protocols de seguretat que protegeixen l'usuari que treballaria com operari sense total coneixement de la programació del sistema.

L'entorn que es vol facilitar l'usuari ha de ser el més intuïtiu possible perquè pugui treballar a un nivell lògic més simple.

1.4. Abast

Com ja es va definir en l'avantprojecte, el projecte està limitat tant per recursos com per temps. A continuació es detallarà el abast d'aquest projecte.

Increment de les funcionalitats:

L'objectiu principal d'aquest projecte és aconseguir dibuixar en un pla certes figures geomètriques les quals són definides per unes coordenades cartesianes i introduïdes a través de Microsoft Excel en comunicació amb el controlador.

Apart d'aquest augment considerable en quan a la funcionalitat i servei que donarà el robot també s'han incrementat els paràmetres de seguretat del robot, ja que en un inici el robot no tenia cap paràmetre de seguretat. Ni per al operari ni per a la pròpia mecànica del robot. Les funcions que es vol que proporcioni el autòmat per aconseguir aquest abast seran les següents:

- Capacitat de fer moviments manuals sobre cada motor de forma independent.
- Capacitat de fer moviments coordinats, prèviament programats.

- Establir paràmetres de velocitat per als moviments coordinats i manuals.
- Capacitat de definir diferents trajectòries en els moviments coordinats, que podran ser de tipus lineal o de tipus circular.
- Configuració de seguretat: Verificació de la programació del usuari abans de executar les ordres. Definició de l'espai de treball. Estudi per a la possible detecció de col·lisió es a dir, estudi de parell de treball del robot.
- Interfície d'usuari: Programació de un entorn comprensible per a l'usuari final. Facilitat per al mètode de entrada de dades (Excel).
- Disseny i implementació de un útil per a l'eina del robot i un suport de escriptura per facilitar el treball del Robot.

El que es pretén amb aquests punts es dotar al robot de la capacitat de traçar trajectòries en un pla, per tal que l'usuari final pugui fer un estudi en els diferents àmbits que mostren assignatures com Robòtica o Control i Simulació. Apropant la teoria a una experiència física i real.

2. Especificacions de requeriments d'usuari

Aquest capítol estableix “Especificacions de Requeriments d’Usuari” pel projecte “Scorbot Studio”, per a la seva implantació al laboratori de robòtica de l’ESUPT.

2.1. Introducció i objectius

Els objectius d’aquest capítol son:

- Analitzar els sistemes de control actuals, resultat del projecte anterior “KinematicLab” desenvolupat per Alejandro Muñoz.
- Plantejar les necessitats d’informació i gestió tractables.
- Desenvolupar els resultats, en base a:
 - Definir els procediments operatius del robot
 - Determinar la gestió de la informació que comporta
 - Especificar les necessitats de sistemes de control

A partir de les dades anteriors, Eudald Boixaderas Manzaneda ha elaborat aquest document, estructurat a partir d’una introducció general de necessitats i funcionalitats, seguint amb les disciplines de sistemes de control i interfície.

2.2. Dades del sistema existent a la ESUPT

Aquest robot ja ha sigut tema de projectes anteriors els quals fan que aquest sistema ja tingui una història pròpia. En l’últim projecte “KinematicLab” desenvolupat per Alejandro Muñoz [1] es va aconseguir un ajust dels eixos, de la qual partirà aquest projecte. També es va desenvolupar una aplicació on va aconseguir coordinar els tres eixos principals i moure’ls. Es va elaborar una primera interfície d’usuari molt interessant en la que es pretenia acostar la programació del equip al usuari final amb caire didàctic. En el mateix projecte s’aprecia la complexitat que comporta configurar tot el sistema i es remarca el temps d’ajust dels servomotors.

Abans del projecte en qüestió hi ha una anterior “Monitorització i control d’un braç mecànic articulad de 5 eixos” en el que s’inicia la història del equip actual. Aquest projecte [2] consistia en la migració d’una controladora obsoleta a una d’actual, basada en un autòmat programable, per tal de deixar operativa una mecànica d’un robot no industrial Scorbot-III, amb una interfície d’usuari molt primitiva i ineficaç i amb un software de programació i control obsolet. Aquesta migració contemplava l’aprofitament de la mecànica del robot i desenvolupament de la controladora. El repte principal consistia en adaptar la motorització escollida (servomotors Allen Bradley) a la mecànica del robot, amb les consegüents modificacions del xassís del propi robot i de les reductores. A més, es va cablejar i programar un autòmat del tipus CompactLogix i un drive Kinetix 350 [3] amb comunicacions Ethernet [4], per tal de comandar els servomotors implantats al robot.

Després d’aquesta breu introducció cal remarcar que l’equip i configuració de la qual es parteix en aquest projecte és molt bàsica. S’han de millorar i refer moltes de les rutines actuals ja que, al fer l’estudi durant l’avantprojecte, s’ha detectat que alguns procediments son erronis i d’altres comprometen la seguretat del operari i de la pròpia mecànica del robot.

2.3. Gestió de les seqüències de control

Les seqüències de control es realitzaran implementant les següents característiques:

- La flexibilitat d’ús dels equips controlats pel controlador.
- La facilitat de crear les seqüències.
- La facilitat d’interactuar i comandar les seqüències.
- La facilitat de dissenyar procediments que tradueixen les seqüències.

Això suposa l’ús d’un gestor de control del tipus Studio 5000 o similar. Aquest gestor correrà sobre un controlador del tipus CompactLogix o similar. La comunicació entre el controlador i la interfície de programació es fa a través de la xarxa Ethernet del tipus Ethernet/IP o similar.

El gestor d’interfície de programació implementa:

- “Streaming” entre unitats.

- Comunicació CIP o similar.
- Seguretat en els mòduls de configuració.
- Registre d'incidències i successos.

2.4. Disciplines de control

En aquests apartats es descriurà les característiques principals que haurà de tenir el sistema de control del equip.

2.4.1. Descripció general de l'autòmat

La CPU tindrà capacitat suficient per emmagatzemar el programa específic, les dades entremigs i els registres històrics del PLC, i realitzarà funcions de diagnòstic del maquinari i dels elements als quals està connectada. L'execució del programa i el refresc dels registres d'entrades i sortides es realitzen a través de tasques asíncrones aquestes s'actualitzen cada 6 ms.

El programa de la CPU s'ha d'organitzar en una tasca principal contínua i tasques temporals. La programació de la CPU es realitzarà per mitjà del programari de programació del fabricant del PLC. Aquest programari de programació permetrà simular el funcionament dels programes. Els programes dels PLC seran modulars i estructurats , i estaran compostos per un programa principal , d'execució cíclica i per subprogrames o subrutines amb entitat pròpia, d'execució condicional. Els subprogrames es podran provar amb independència de la resta de programes.

En la programació s'haurà optimitzar l'ús de la memòria, conservant el major nombre de registres possible per modificacions posteriors dels programes. La comunicació entre CPU i els dispositius de control es farà a través d'una xarxa Ethernet/IP. Tant la CPU com els “drives” són compatibles amb aquest tipus de comunicació industrial, la qual és la més efectiva i estàndard a nivell industrial actualment. Permet un control en temps real de la informació i funciona mitjançant el protocol TCP/IP estàndard .

2.4.2. CPU

La Unitat Central de Processos és el cervell del sistema. S'encarrega de rebre les ordres de l'operador i de gestionar i controlar la informació dels mòduls d'entrades/sortides que governa.

Posteriorment les processa per enviar respostes al mòdul d'entrades / sortides. A la CPU es realitzen les tasques de control, vigilància del funcionament correcte de l'equip i intercanvi continu d'informació amb el nivell 1 i el Nivell 0. Per a això disposa de diverses zones de memòria, registres, i instruccions de programa, addicionalment. Les targetes d'entrades i sortides es donaran d'alta a la CPU a través del programari de programació.

Es generarà de forma automàtica la tasca que permet accedir a la targeta d'entrades i sortides. El "microprogramari" tindrà totes les instruccions i les funcions específiques de tipus PID, temporitzador, etc.

El processador (CPU), de l'autòmat serà de tipus "PAC" (" Programmable Automation Controller") i haurà de realitzar les següents funcions mínimes:

- Supervisar i controlar que el temps d'execució del programa del PLC no excedeix el temps d'escombrat , que com s'ha comentat anteriorment és de 6ms. A aquesta funció se li sol denominar Watchdog (gos guardià).El temps d'escaneig 'scan-time' el determina el lapse de temps que hi ha entre l'execució per part del PLC del pas A, anar fins al pas C i després arribar fins a A, és a dir un cicle complet. Com més petit sigui el temps d'escombrat major serà la velocitat de resposta del PLC.
- Gestió dels buffer de comunicació així mateix com de les connexions.
- Conversió del nom mnemotècnic de les dades i dels registres d'entrades i sortides en direcció física de memòria.
- Executar el programa.
- En una tasca executada per la CPU en paral·lel amb el programa, per crear una imatge de les entrades, a través de missatges de prioritat màxima de comunicació amb els mòduls de sortides.
- En una tasca executada per la CPU en paral·lel amb el programa , renovar l'estat de les sortides, a través de missatges de prioritat màxima de comunicació amb els mòduls de sortides.
- Revisió del sistema.
- Operacions lògiques i matemàtiques entre les dades.

- Comparació, transferència i memorització de dades.

En la figura que es mostra a continuació apareix un esquema del cicle de treball d'un PAC:

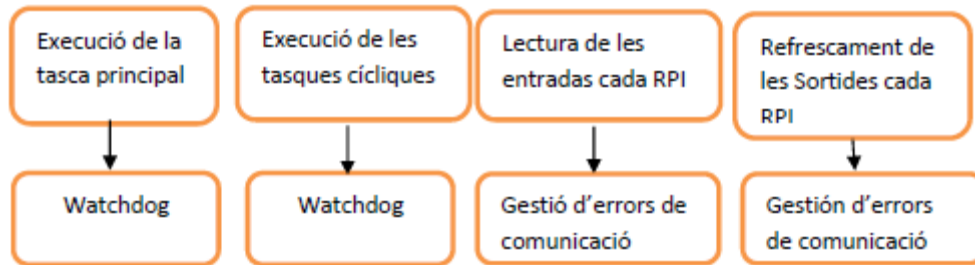


Fig. 2.1. Esquema cicle treball d'un PAC. Font : Rockwell Automation

2.5. HMI – Descripció del sistema

El software d'interfície d'operador, en endavant descrit com HMI, ha de ser un paquet integrat pel desenvolupament i execució d'aplicacions d'automatització del tipus FactoryTalk View o similar.

- L' HMI ha d'estar dissenyat per ser utilitzat en un entorn Microsoft Windows, ja que és un sistema compatible amb la versió de Studio 5000.
- Es basarà en els estàndards d'interfície d'usuari de Microsoft
 - Emmagatzematge en bases de dades locals/remotes
 - Suport de scripts VBA per a la integració amb altres productes Microsoft
 - Client OPC per a intercanvi de dades amb un ampli rang de dispositius de procés.
- El sistema HMI ha de permetre interoperabilitat i fàcil integració amb altres productes del mateix fabricant, per poder d'aquesta manera compartir " tags" sense necessitat de duplicar bases de dades i altres funcionalitats .
- L' HMI haurà de proveir una aplicació d'exploració, per a l'organització i el desenvolupament dels projectes :

- Aquesta aplicació haurà de suportar l'edició remota des de diferents ordinadors (separant d'aquesta manera el programari de configuració i el d'execució).
- Tots els projectes es podran veure i editar des de qualsevol estació enginyeria, en l'arbre d'aplicacions.
- L'editor HMI haurà de proveir la possibilitat de dissenyar gràfics d'alt nivell per aplicacions complexes utilitzant bé el seu propi editor de gràfics, o bé pot importar arxius d'altres paquets de dibuix.
- L' HMI ha d'integrar "Microsoft Visual Basic for Applications" (VBA com llenguatge de programació embegut, per poder personalitzar i ampliar les aplicacions .
 - Haurà d'adoptar i implementar la tecnologia "Microsoft's Component ObjectModel" (COM) amb l'objectiu de proporcionar una interfície a aplicacions externes, com ara VBA.
- L'HMI ha de permetre la total interacció amb l'aplicació software, a la vegada que farà possibles les següents accions:
 - "Homing"
 - Moviment manual lineal
 - Seqüenciador de moviment automàtic
 - Mostrar les alarmes previstes per software a Studio 5000

2.6. Funcionalitats i necessitats

A partir de tot el estudi de antecedents, majorment de la historia que té el robot, en aquest apartat es presenta un estudi de les mancances i necessitats que marcaran les especificacions a tenir en compte per dur a terme aquest projecte.

Per començar, després d'avaluar el estat actual del robot s'ha observat que:

- Hi ha errades de programació, la més rellevant es troba en la rutina de Home on el robot pot arribar a col·lisionar amb ell mateix degut a les errades trobades en la rutina.

- No hi ha possibilitat de moure el canell en cap dels seus dos graus de llibertat.
- Per acabar amb els comentaris de la revisió del antic projecte es destaca la poca seguretat establerta per software, ja que dins els moviments manuals no hi ha cap tipus de restricció de moviment, el que fa que un usuari poc expert pugui danyar l'equip si fa mal ús d'aquesta pantalla en concret, inclús causar lesions als usuaris que estiguin fent servir l'equip.

Fins aquí les mancances que actualment té l'equip. Ara s'explicaran les diferents necessitats que s'han observat a l'avantprojecte per dur a terme el projecte.

- Com a principal necessitat s'haurà de fer una revisió i correcció del actual programa per tal de resoldre les errades que hi ha actualment al equip.
- Després d'aquest pas el projecte necessitarà implementar noves rutines per a les noves funcionalitats de dibuixar sobre un pla. Per poder dur a terme aquestes subrutines de forma còmode es necessitarà fabricar un útil perquè l'eina pugui subjectar el retolador amb el que escriurà. Per facilitar el treball al robot també és necessita de la fabricació de un suport d'escriptura, per tal d'alçar l'espai de treball a una posició més còmode per al robot.
- Totes les funcions del equip hauran de ser accessibles mitjançant una interfície de programació més senzilla i visual, la qual haurà de ser induïble i fàcil de usar-se.
- S'haurà de millorar la seguretat del usuari, ja que com s'ha mencionat anteriorment, actualment la seguretat del equip és nul·la.
- La introducció dels punts per a la funció de dibuixar sobre un pla es farà mitjançant Microsoft Excel. Ja que és una eina fàcil d'utilitzar i l'usuari final està acostumat a treballar amb ella. A més atorga a l'usuari una eina per treballar en la seqüència de punts sense necessitat de tenir el software de Rockwell i gairebé des de qualsevol ordinador, fet que és molt interesant.

2.6.1. Especificacions de seguretat

Com s'ha observat amb anterioritat el projecte actual parteix d'una seguretat casi nul·la del robot. Actualment el robot només es deté si la mecànica impedeix al motor seguir avançant. Aquest fet es desastrós per als motors i reductores que es veuen directament afectats en cas de col·lisió.

El que pretén aquest apartat és esmentar els diferents punts de seguretat a aplicar per dotar al robot de una seguretat més apte per al funcionament dins d'un laboratori.

- Primerament, la seqüència de home s'haurà de refer. La actual seqüència de home està mal definida i té un alt risc de col·lisió, el propi robot al fer la seqüència pot col·lisionar amb ell mateix fent malbé les reductores del colze i de l'espatlla. A més a més l'únic input que té aquesta seqüència és un fi de cursa que en cas de fallar deixaria totalment inservible tota la mecànica. S'implementarà un control de par perquè els motors mai facin una força que pugui fer malbé la mecànica del robot.
- Un cop la seqüència de home sigui segura s'haurà de acotar els moviments tant manuals com coordinats. Els moviments coordinats es poden limitar acotant el espai de treball del robot per coordenades. Es pot limitar els moviments coordinats de forma que el robot mai superi una coordenada límit del eix de coordenades que interressi.
- Els moviments manuals en canvi son més difícils de calcular i per això s'utilitzarà una eina del software Studio 5000 anomenada Soft Travel Limit. Aquesta eina permet acotar uns límits polars per als motors de l'equip un cop aquests han estat referencials.
- Cal remarcar que la parada física de emergència hauria de situar-se més a prop del operari ja que actualment queda molt lluny i calen dos operaris molt sincronitzats entre si per fer proves d'alt risc.

Totes les especificacions de seguretat d'aquest sistema s'han inspirat majoritàriament en les normes ISO 10218-1 i 10218-2. Les quals tracten dels requisits de seguretat per a robots industrials. Al no ser un equip industrial pròpiament s'ha fet una adaptació d'aquestes per tal de poder adaptar la seguretat a un entorn didàctic.

També hi ha diferents aspectes trets d'altres normatives [5] com que la parada d'emergència sempre ha de anar cablejada directament al equip de control. La normativa EN 418 i EN 954 és molt clara amb aquest aspecte. Així que l'aplicació haurà de funcionar sobre un sistema que tingui connexió directe (per cable) a l'equip i mai per una via sense cable, ja sigui Wi-Fi o Bluetooth.

En quan a l'interfície d'usuari haurà de tenir en compte les normes EN 981 i EN 842 per tal que les senyals de alarmes, tant visuals com auditives estiguin correctament configurades.

2.6.2. Especificacions de l'eina per a la aplicació desitjada

Per tal de tenir una millor subjecció del retolador en aquest projecte es durà a terme la fabricació d'un útil que permetrà augmentar l'adherència que té actualment la pinça del robot. L'eina estarà fabricada de plàstic amb ajuda de la impressora 3D que hi ha al laboratori de Mecànica del Tecnocampus. A continuació es mostra el disseny que s'ha elaborat amb el software SolidWorks.

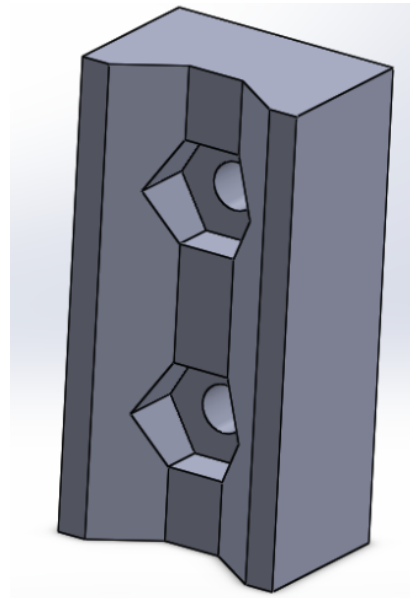


Fig. 2.2. Útil de l'eina. Font : Elaboració pròpia

3. Especificacions del disseny funcional

L'objectiu de desenvolupar l'especificació del disseny funcional és definir la funcionalitat del sistema de manera que permeti confirmar que s'entenen els requeriments de manera correcta. Per tant, la FDS s'utilitza com a base per a tot el desenvolupament posterior i la implementació del projecte.

Aquest document descriu al detall els elements que componen la instal·lació, els modes de funcionament, els diferents estats de màquina, la interfície d'operador, així com els criteris a emprar per a la configuració de l'aplicació de supervisió (xarxa de comunicació, classes de scan, estructuració de la base de tags, comptes d'usuari, registres d'activitat, format de pantalles gràfiques, etc...).

En absència d'un estàndard específic de disseny funcional per part de L'ESUPT, en el projecte s'han seguit les especificacions que es detallen en el present capítol. L'objectiu del projecte és implantar la solució per a les necessitats d'increment de funcionalitats per al control del robot SCORBOT ER-III. Els anomenats objectius estan definits al capítol 2.6 de la present memòria i a les especificacions tècniques al capítol 3.5 de la present memòria.

3.1. Enginyeria d'especificació

Com a part del projecte, s'han realitzat els següents serveis d'enginyeria d'especificació:

- Desenvolupament, conjuntament amb el ponent del present projecte, de les especificacions dels requeriments d'usuari (URS). Les quals es troben en el capítol 2 de la present memòria.
- Desenvolupament de les especificacions funcionals d'automatització (FDS). Les quals es troben el capítol 3 de la present memòria.
- Disseny del software: desenvolupament de les especificacions del disseny del software (SDS). Les quals es troben el capítol 4 de la present memòria.

3.2. Entorn de treball per a l'aplicació proposada

Paràmetre:	Especificació:
Pes braç robòtic	11 Kg
Càrrega màxima de treball	1Kg
Radi màxim de treball	610 mm (24.4'')
Obertura de la pinça	75 mm (3'') sense pads de goma 65 mm (2.56'') amb pads de goma
Actuadors	6 servomotors rotatius de CA
Retroalimentació	Encoders incrementals de 2000 línies / revolució
Transmissió	Engranatges, corretges de distribució i cargol d'avanç
Repetibilitat	$\pm 0.5\text{mm}$ ($\pm 0.02''$)
Límits de treball:	
Eix 1: Rotació de la base	310°
Eix 2: Rotació de l'espatlla	+130°/-35°
Eix 3: Rotació del colze	$\pm 130^\circ$
Eix 4: Inclinació del canell	$\pm 130^\circ$
Eix 5: Gir del canell	Sense restricció de angle

Taula 3.1 Especificacions de la mecànica del robot. Font : Elaboració pròpia

També incloure els elements físics de seguretat, que són el botó d'aturada de emergència, situat a l'armari de control i tres fi de cursa [6]. El primer fi de cursa està situat a la base del robot, el segon està situat en l'eix de l'espatlla i l'últim a l'eix del colze. És de vital importància per el equip que aquests tres fi de cursa funcionin correctament per fer bé la seqüència de home del robot.

3.3. Proves d'acceptació

Les proves consisteixen en la comprovació de materials i serveis d'enginyeria. De manera resumida, els punts a comprovar són els següents:

- Verificacions genèriques en cada una de les arquitectures (pantalles de diagnòstic de dispositius/xarxa, estat i tipus d'arrencada dels serveis del PC, privilegis d'usuari, etc.). Generalment aquesta prova s'ha de dur a terme cada cop que es vulgui fer servir el equip. Consisteix en revisar que l'equip té la tensió pertinent, tot el sistema comunica degudament, el programa del controlador és l'adient... Tots els requisits de posada en marxa que es mencionaran en l'apartat 7 d'aquesta present memòria.
- Protocol de proves d'estrès per a comprovar la robustesa del sistema (connexió/desconnexió alimentació controlador i pc's, rearmament seqüències a meitat de cicle, recuperació del sistema des de backups, etc.). Per tal de veure que l'equip està preparat per aquestes falles i com es comporta en aquests casos.
- Proves en laboratori per a comprovar la correcta solució segons l'especificat en la FDS
 - Emulació del procés per a provar el correcte funcionament dels procediments. Es comprova que el cicle automàtic és capaç de fer fins a 300 punts. Fet que amplia notablement els punts de treball respecte l'antiga aplicació que tenia 10 punts. Dins d'aquesta prova també s'avalua el correcte funcionament de la sincronització de dades amb Excel.
 - Prova de la seqüència de Home per tal de assegurar una seqüència de Home segura ja que l'anterior projectista va fer una seqüència amb possibles col·lisions. S'habiliten els moviments manuals per tal de poder dur el robot a una zona segura abans de fer la seqüència de Home, fet que atorga una major seguretat en aquesta part del programa.
 - Prova de moviment manual per tal de constatar que els moviments manuals funcionen correctament. S'ha fet un ajust de la velocitat de moviment manual. S'ha limitat el par de cada motor per tal d'atorgar seguretat quan es treballa en aquests moviments.
 - Prova de moviment automàtic per tal de constatar que el cicle de moviment automàtic emulat amb anterioritat funciona correctament. S'ha fet un ajust de la velocitat de

moviment automàtic. S'ha limitat el par de cada motor per tal d'atorgar seguretat quan es treballa en aquests moviments. A més s'ha afegit una limitació extra gràcies a l'eina Soft Travel Limit.

- Format, contingut i correcta funcionalitat dels sinòtics de diagnòstic, formularis i interfícies d'operació. La interfície d'usuari respon a totes les necessitats del usuari.

3.4. Posta en servei

La posta en servei del sistema Scorbot Studio s'ha fet en les instal·lacions de L'ESUPT en el termini especificat en el document de planificació de l'avantprojecte.

S'han realitzat una sèrie de proves sobre el sistema, amb l'objectiu de realitzar una validació interna del sistema desenvolupat, i comprovar amb el màxim abast possible, que compleix amb tot aquell especificat en el present document.

3.5. Llistat d'elements

En aquesta secció es defineixen els distints grups funcionals de la instal·lació elèctrica, i es proporciona una llista dels equips a utilitzar en el sistema de control (controlador, mòduls especials, drives, etc.)

3.5.1. Grups funcionals

L'agrupació de senyals es realitza mitjançant els següents quadres:

- Quadre del controlador
- Quadre d'E/S
- Quadre de potència

3.5.2. Quadre del controlador

Controlador	CompactLogix 1769-L33ERM
Tags de Controlador: <ul style="list-style-type: none"> • Continuous • Periodic • Event 	32; 100 programs/task
Tasca de tipus Event	All event triggers
Memoria de programa	2 MB
Ports de comunicació	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Ethernet/IP • 1 USB
Comunicacions opcionals	<ul style="list-style-type: none"> • Port dual d'Ethernet/IP • DeviceNet
Connexions de controlador	256
Connexions de xarxa	Ethernet/IP; 120 TCP
Nodes Ethernet/IP màxims en un projecte de Logix Designer	32
Redundància de Controlador	Backup via DeviceNet
Moviment Integrat (Integrated Motion)	Moviment Integrat compatible amb xarxa Ethernet/IP
Llenguatges de programació	<ul style="list-style-type: none"> • Relay ladder • Structured Text • Function Block • SFC

Taula 3.2 Especificacions del controlador. Font : Rockwell Automation

3.5.3. Quadre d'entrades i sortides

Catalog Number	17969-IQ16 (Mòdul DC d'Entrades Digitals)	1769-OB16 (Mòdul DC de Sortides Digitals)
Entrades/Sortides	16 entrades	16 sortides
Voltatge	24V DC	24V DC
Rang de Voltatge Operatiu	10...30V DC a 30° C 10...26,4V DC a 60° C	20,4...26,4V DC
Corrent del xasís	115mA a 5,1V	200mA a 5,1V
Distància màxima a la font d'alimentació	8 mòduls	8 mòduls

Taula 3.3 Especificacions del quadre d'entrades i sortides. Font : Rockwell Automation

3.5.4. Quadre de potència

Mòduls	Descripció
Drives	<ul style="list-style-type: none"> • 2097-V32PR0-LM (ServoDrive Kinetix 350 240V AC) • 2A • Amb filtre integrat) • Potència de 0.4KW • 1 eix

Taula 3.4 Especificacions del Quadre de potència. Font : Rockwell Automation

3.5.5. Llistat de dispositius

Quadre	Unit.	Referència	Descripció
Controlador i Entrades/Sortides	1	1796-L33ERM	Processador Logix
	1	1769-PA2	Font d'alimentació
	1	1769-IQ16	Mòdul DC Entrades Dig.
	1	1769-OB16	Mòdul DC Sortides Dig.
	1	1769-ECR	Caputxó de terminació xasis
Potència	6	2097-V32PR0-LM	ServoDrive Kinetix 350
	6	2097-TB1	Mòdul D'E/S adaptador braç
	6	2090-CFBM6DF-CBAA02	Cable retroalimentació encoder servomotor
	6	2090-CPWM6DF-16AA02	Cable alimentació elèctrica servomotor
Robot	6	TLY-A110T-HJ62AA	Servomotor rotatiu amb encoder incremental

Taula 3.5 Llistat de dispositius. Font : Rockwell Automation

També s'afegirà en aquest apartat informació sobre les reduïdores dels motors ja que encara que no siguin dispositius elèctrics influeixen directament sobre els comportaments del motor i s'han de tenir en compte. A continuació es mostra la relació de cada reduïdora:

MOTOR	Tensió	Reducció
1	12 Vdc	127,7:1
2	12 Vdc	127,7:1
3	12 Vdc	127,7:1
4	12 Vdc	65,1:1
5	12 Vdc	65,1:1
6	12 Vdc	19,5:1

Taula 3.6 Especificacions de les reductores. Font : Elaboració

La disposició de les reductores i els seus corresponents motors és la següent

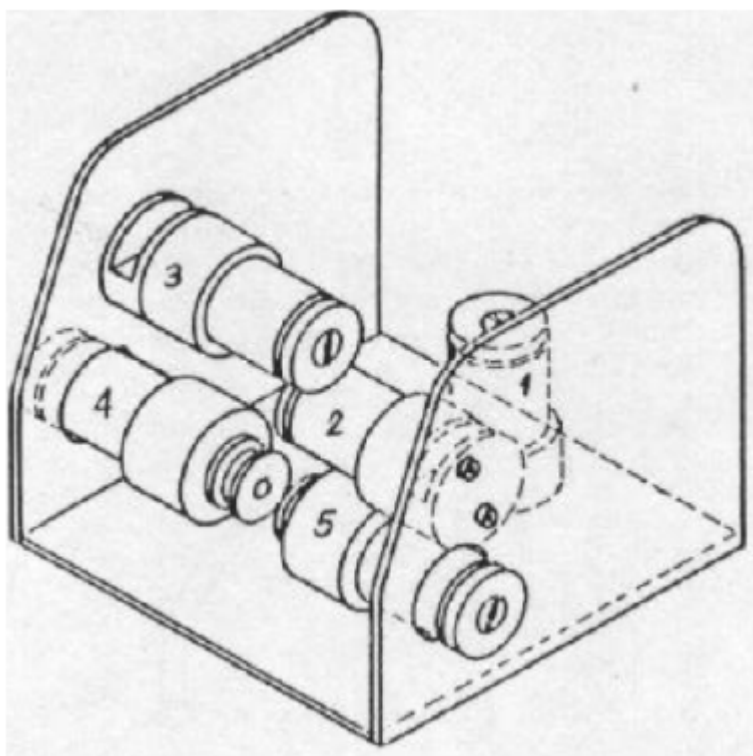


Fig. 3.1 Localització de les reductores. Font : Elaboració pròpia

3.5.6. Components IT

Per al present projecte, s'ha realitzat una distinció entre components IT "Intel·ligents" (p.e.: estacions de treball, xarxes de comunicacions, xarxes de camp) i la instrumentació, aquesta última descrita a l'apartat anterior.

Aquest capítol defineix el treball a desenvolupar durant la fase de construcció de hardware IT del projecte.

En absència d'un estàndard específic de disseny de hardware IT per part de l'ESUPT, tan per a la definició de l'arquitectura del hardware IT, com per a la seva posterior configuració, s'ha seguit un protocol estàndard en el món industrial per a la configuració d'una estació de treball.

3.5.7. Arquitectura Hardware IT



Fig. 3.2 Arquitectura Hardware IT. Font : Elaboració pròpia

3.5.8. Recomanacions del hardware de l'arquitectura del PC

A continuació es detallen les característiques que es recomanen per als dispositius IT necessaris per a la implementació de l'arquitectura anteriorment definida.

PROGRAM UNIT	
Sistema Operatiu	Microsoft Windows 7
Tipus	Workstation Computer
Base	1.86GHz dual core processor
Memoria	2GB
Unitat de disc dur	4GB o més
Tarjetes de xarxa	1 adaptador Ethernet 10/100/100 Mbps
Unitat òptica	Combo CDRW/DVD 40x
Disquetera/Unitats externes	No Floppy Disk Drive required

Taula 3.7 Especificacions de la unitat de programació. Font : Elaboració pròpia

3.5.9. Softwares de Rockwell Automation

A continuació s'exposa el Software de la empresa Rockwell Automation que requereix aquest projecte:

Actualment el Tecnocampus té un paquet de software contractat anomenat Educational Toolkit contractat per 1 any amb un total de 5 activacions. El preu normal de tot el conjunt del Software si no fos Educational seria de 6.270 euros però en institucions i projectes educacionals Rockwell Automation aplica un 87% descompte per tant el que paga la EUPMT per aquestes 5 activacions és un total de 790 euros.

En l'avantprojecte no es contemplava el preu del Software perquè es donava per fet que el prestava la EUPMT per al projecte, però en la present memòria s'ha considerat que aquest projecte també ha de contemplar el que costa el Software. Així que s'ha fet un estudi de llistat de preus per al Software que específicament necessita el projecte.

Per a dur a terme aquest projecte es necessiten els següents softwares: Studio 5000, FTView Studio SE i FTView Studio ME. Els preus de Studio 5000 varien respecte quin controlador es fa servir, com en aquest projecte s'utilitza un CompactLogix, amb versió de Studio 5000 Mini ja es podria programar el actual controlador. El Studio5000 Mini per a CompactLogix té un cost de 561 euros que surt més rentable que comprar el Studio 5000 Standard que costa uns 2.340 euros.

En quant al Software de edició i visualització de pantalles, el preu de FTView Studio Enterprise es de 1.820 euros i el preu de FTView Studio Machine Edition és de 583 euros.

Així doncs si es calcula el total de la compra del Studio 5000 Mini, el FTVS Enterprise i el FTVS Machine Edition ens surt un total de 2964 euros que amb un 87% de descompte per ser un projecte Educacional es quedaria en 385 euros el cost total del software.

Les conclusions del cost final d'aquest apartat consten en el pressupost del projecte i s'explicaran degudament a l'apartat de desviacions de pressupost.

3.5.10. Plànols i esquemes elèctrics

En aquest apartat es comentaran els esquemes elèctrics i mecànics presentats en l'annex. Els esquemes elèctrics van ser elaborats per Marc Figueras, en el treball de Monitorització i Control d'un braç mecànic articulat de cinc eixos. Aquest treball va ser el que va iniciar la vida útil del actual equip amb el que es treballa i en la actual memòria es considera oportú contemplar tota aquesta informació sobre el quadre de control i altres components del sistema. El plànol amb les acotacions de l'útil de l'eina ha estat elaborat per el present projectista.

En el primer esquema elèctric, el del circuit de control, és pot observar la alimentació que tenen cada un dels servodrives i les 16 sortides del PLC.

En el següent esquema, el home, es detalla l'alimentació que utilitza cada fi de cursa i a quin pin va cablejat dels servodrives. També es mostra els colors del cablejat de cada fi de cursa.

En l'esquema del circuit de potència és pot observar com estan alimentats tots els elements del quadre elèctric i es pot identificar el magnetotèrmic que encén tot el sistema.

En aquests esquemes també hi figura quines sortides del PLC estan utilitzades i amb quina finalitat. Si s'observa el esquema de Sortides del PLC es pot veure com la sortida 1 i la sortida 3 son els pilots 3 i 2 respectivament.

Per acabar amb els esquemes elèctrics també es mostra el par d'emergència i com interactua amb la resta del sistema.

4. Especificacions del disseny del software de l'autòmat

En aquest apartat es plantegen i justifiquen les especificacions que s'han establert per a la programació de l'autòmat ja que, a més de les especificacions de requeriments de l'usuari vistes a l'apartat 2 , cal incloure un conjunts d'especificacions relatives a seguretat i a procediments normalitzats de treball que ajuden a millorar la qualitat del projecte resultant.

4.1. Estructuració de la programació Ladder

Existeixen diferents tipus de llenguatge de programació d'un PLC, potser el més comú sigui la programació tipus escala o Ladder. Se li anomena diagrama "escala" perquè s'assembla a una escala, amb dos rails verticals (d'alimentació) i "esglaons" (línies horitzontals), en les que hi ha circuits de control que defineixen la lògica a través de funcions. Les principals característiques del llenguatge Ladder són:

- Instruccions d'entrada s'introdueixen a l'esquerra.
- Instruccions de sortida es situen a la dreta .
- El controlador CompactLogix L33ERM permet més d'una sortida per cada línia (Rung) i explora esglaons de l'escala de dalt a baix i d'esquerra a dreta .

Main Task (Periòdica)	T2_General (Periòdica)
<ul style="list-style-type: none"> • <u>MainProgram</u> <ul style="list-style-type: none"> .-R00_Habilitació .-R01_Home .-R02_Transformades .-R03_Mov_Manual .-R04_Cicle .-R05_Alarmes 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>EstatHardware</u> <ul style="list-style-type: none"> .- T2_MainRoutine .- R00_Inicialitzacio .- R01_Capturar_Estat_Moduls .- R02_Fallos_CMP .- R03_General

Fig. 4.1 Estructuració programa Ladder. Font: Elaboració pròpia.

A continuació s'explicaran les funcions de cada rutina i subrutina:

- **Main Routine:** Conté programats els salts a les subrutines de control de la tasca principal. És un seqüenciador de tasques.
- **R00_Habilitacio:** Conté l'habilitació i deshabilitació dels eixos del robot. Mitjançant la lògica programada a aquesta subrutina, els servomotors els posem a on/off depenent de les necessitats.
- **R01_Home:** Conté la lògica de control per tal de que el robot es posicioni a la posició redefinida com a "home", es a dir, la seva posició de repòs i de referència. Aquesta posició serà necessària assolir-la en cas de finalització de seqüència o en el "power-on" del sistema. Un cop es realitza aquesta seqüència s'habilita la següent subrutina.
- **R02_Transformades:** En aquesta part del programa es realitzen els càlculs cinemàtics necessaris per poder moure el robot en les 3 dimensions angulars.
- **R03_Mov_Man:** Conté la lògica necessària per realitzar els moviments coordinats lineals en el pla XYZ. Aquests moviments manuals es poden executar abans de posicionar el robot a la posició de repòs o Home, per portar el robot a una zona segura abans d'executar el Home.
- **R04_Cicle:** Aquesta subrutina s'encarrega de gestionar la seqüenciació de moviment automàtic del robot. Està programada en forma de bucle o cicle de manera que hi ha un índex que es va incrementant i relaciona cada valor d'aquest índex amb un pas de la seqüència a executar.
- **R05_Alarmes:** Subrutina encarregada d'administrar les alarmes previstes i programades en el sistema.
- **T2_MainRoutine:** Conté la seqüenciació necessària per realitzar els test dels mòduls de control. A més hi ha programats els salts a les subrutines de la tasca periòdica.
- **R00_Inicialitzacio:** Conté una instrucció del tipus FLL, que omple l'array de captura d'estat dels mòduls amb l'estat actual en la inicialització de l'equip.
- **R01_Capturar_Estat_Moduls:** Aquesta subrutina rep la informació d'OK dels mòduls de control i les emmagatzema en un array.

- R02_Errors_CMP: Conté una mascara binaria per tal d'escollir quins mòduls del sistema es volen testejar. Disposa d'una lògica que permet fer salts entre els diferents mòduls, en cas de que algun es quedi sense tensió o en fallo per qualsevol motiu.
- R03_General: Aquesta subrutina mostra un resum dels diferents bits que s'han programat com a necessaris per tal de poder donar la ordre d'inicialització del sistema o rearmament.

4.2. Valor afegit a les especificacions del disseny del software

En aquest apartat és vol fer èmfasi en els canvis realitzats i no explícits en l'avantprojecte. En l'estudi previ realitzat en l'avantprojecte es contemplava canviar les subrutines de moviment manual i de moviment automàtic bé perquè s'hi havien detectat errades o bé perquè l'aplicació que es volia desenvolupar ho requeria.

Així dons s'ha implementat canvis en la subrutina de moviment manual per tal de dotar al robot de la possibilitat de moure la pinça, que anteriorment només es podia obrir i tancar. Actualment la pinça pot rotar en dos direccions i anar endavant i endarrere. També s'ha definit una velocitat per als moviments manuals independents sobre cada motor i una velocitat per els moviments manuals en els eixos XYZ. La subrutina de moviment automàtic s'ha refet sencera ja que l'anterior rutina només contemplava la possibilitat de fer 10 passos. La nova subrutina de moviment automàtic està dissenyada en forma de cicle o bucle, de forma que pot fer tants passos com definim a la matriu de posicions. Actualment la matriu de posicions contempla 300 passos. També s'ha definit una velocitat pels moviments automàtics i s'ha acotat l'espai de treball per que l'usuari no pugui enviar una comanda de posicionament a un punt fora de l'espai de treball.

Fins ara s'ha explicat el que es contemplava fer en l'avantprojecte, però durant la programació de les subrutines anteriors s'han observat diferents aspectes a millorar en el funcionament del robot, aquests aspectes son el que donen un valor afegit a aquesta programació. Seguidament s'explicarà aquests aspectes detalladament.

La seqüència de home que tenia el robot no era correcte i en alguns casos conduïa a una col·lisió entre les pròpies parts del robot. S'ha refet la seqüència de Home i s'ha habilitat la possibilitat d'executar moviments manuals abans de dur a terme la seqüència de Home, d'aquesta manera l'usuari pot dur al robot a una posició segura (posició que no hagi arrabassat els fi de cursa de cada eix) abans de referenciar el robot.

S'ha observat que no existia ningun tipus de limitació o seguretat en quan a possibles col·lisions o sobreesforços del robot. Així doncs s'ha procedit a limitar el parell de cada motor, com s'explicarà posteriorment al apartat 5.5 d'aquest document, per tal que en una possible col·lisió o sobreesforç els motors no actuïn de manera no desitjada posant en risc la integritat del equip i la seguretat de l'usuari.

A part de la limitació per par a cada motor s'ha volgut aportar més seguretat al robot, limitant el seu moviment i assegurant que en tot moment el robot està dins del seu espai de treball. Per això s'ha introduït individualment a cada motor el seu recorregut màxim. Cada motor té configurat el seu marge de graus, tant en positiu com en negatiu, per tal de que ningun motor vagi fins una posició no desitjada o fora del marge de treball del equip. Aquesta seguretat s'ha pogut dur a terme gràcies a l'eina Soft Travel Limit de Rockwell Automation.

4.3. Diagnòs de l'estat del hardware

Diagnosticar l'estat del hardware és una de les part més important en l'estructuració de la programació d'un autòmat. Si no es disposa d'un bon diagnòstic de qualsevol falla o aturada del sistema pot dificultar de forma molt elevada la tasca de resolució de problemes. En canvi, amb una acurada seqüència on es recull l'estat de cada un dels mòduls de control, es pot determinar immediatament quin dels elements de l'equip es troba en falla, ha perdut comunicació o senzillament ha perdut alimentació elèctrica.

A la subrutina R01_Captura_Estats_Moduls, es realitza la comprovació de l'estat tant dels mòduls locals com dels remots. Mitjançant la instrucció GSV (Get System Value) es pot capturar l'estat intern del mòdul i guardar-ho a una variable del tipus "REAL". Aquesta variable es mou a un array de [n] elements, la qual cada posició correspon a un mòdul. Si per exemple els mòduls que s'estan diagnosticant es troben als slots 1 i 2 del xassís de l'autòmat, es mou la captura del seu estat a la posició 1 i 2 de l'array. Seguidament s'hauria de comparar el valor actual de l'estat, amb el valor d'estat que hauríem de tenir en funcionament correcte. Tal i com mostra la (Fig 4.2) aquest valor correspon a 16#4000 en hexadecimal o a 16384 en decimal.

Attribute	Data Type	Instruction	Description																		
EntryStatus	INT	GSV	Specifies the current state of the specified map entry. The lower 12 bits should be masked when performing a comparison operation. Only bits 12...15 are valid.																		
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Value</th> <th>Meaning</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16#0000</td> <td>Standby: the controller is powering up.</td> </tr> <tr> <td>16#1000</td> <td>Faulted: any of the MODULE object's connections to the associated module fail. This value should not be used to determine if the module failed because the MODULE object leaves this state periodically when trying to reconnect to the module. Instead, test for Running state (16#4000). Check for FaultCode not equal to 0 to determine if a module is faulted. When Faulted, the FaultCode and FaultInfo attributes are valid until the fault condition is corrected.</td> </tr> <tr> <td>16#2000</td> <td>Validating: the MODULE object is verifying MODULE object integrity prior to establishing connections to the module.</td> </tr> <tr> <td>16#3000</td> <td>Connecting: the MODULE object is initiating connections to the module.</td> </tr> <tr> <td>16#4000</td> <td>Running: all connections to the module are established and data is successfully transferring.</td> </tr> <tr> <td>16#5000</td> <td>Shutting down: the MODULE object is in the process of shutting down all connections to the module.</td> </tr> <tr> <td>16#6000</td> <td>Inhibited: the MODULE object is inhibited (the inhibit bit in the Mode attribute is set).</td> </tr> <tr> <td>16#7000</td> <td>Waiting: the parent MODULE object upon which this MODULE object depends is not running</td> </tr> </tbody> </table>	Value	Meaning	16#0000	Standby: the controller is powering up.	16#1000	Faulted: any of the MODULE object's connections to the associated module fail. This value should not be used to determine if the module failed because the MODULE object leaves this state periodically when trying to reconnect to the module. Instead, test for Running state (16#4000). Check for FaultCode not equal to 0 to determine if a module is faulted. When Faulted, the FaultCode and FaultInfo attributes are valid until the fault condition is corrected.	16#2000	Validating: the MODULE object is verifying MODULE object integrity prior to establishing connections to the module.	16#3000	Connecting: the MODULE object is initiating connections to the module.	16#4000	Running: all connections to the module are established and data is successfully transferring.	16#5000	Shutting down: the MODULE object is in the process of shutting down all connections to the module.	16#6000	Inhibited: the MODULE object is inhibited (the inhibit bit in the Mode attribute is set).	16#7000	Waiting: the parent MODULE object upon which this MODULE object depends is not running
Value	Meaning																				
16#0000	Standby: the controller is powering up.																				
16#1000	Faulted: any of the MODULE object's connections to the associated module fail. This value should not be used to determine if the module failed because the MODULE object leaves this state periodically when trying to reconnect to the module. Instead, test for Running state (16#4000). Check for FaultCode not equal to 0 to determine if a module is faulted. When Faulted, the FaultCode and FaultInfo attributes are valid until the fault condition is corrected.																				
16#2000	Validating: the MODULE object is verifying MODULE object integrity prior to establishing connections to the module.																				
16#3000	Connecting: the MODULE object is initiating connections to the module.																				
16#4000	Running: all connections to the module are established and data is successfully transferring.																				
16#5000	Shutting down: the MODULE object is in the process of shutting down all connections to the module.																				
16#6000	Inhibited: the MODULE object is inhibited (the inhibit bit in the Mode attribute is set).																				
16#7000	Waiting: the parent MODULE object upon which this MODULE object depends is not running																				

Fig. 4.2 . Codis hexadecimals d'estat dels mòduls de control. Font : Elaboració pròpia

D'aquesta manera si l'estat que captura la instrucció GSV correspon al número en hexadecimal 16#4000 (Running), com que la màscara MEQ (Mask Equal) detectarà que el codi a comparar és el correcte, s'activarà la sortida gComms_Locals_OK[n]. Amb aquesta lògica s'ha dissenyat per diagnosticar l'estat dels mòduls locals del xassís de l'autòmat, hi ha un bit d'OK que es pot utilitzar allà a on sigui per condicionar una línia de programa segons l'estat de l'equip.

De la mateixa manera es pot diagnosticar l'estat dels mòduls remots que pengen de la xarxa de comunicació Ethernet, que en aquest cas correspon als servodrives Kinetix350. Programant la

mateixa lògica que la descrita anteriorment, es generen bits d'estat OK dels mòduls remots. En aquest cas els tags s'anomenen gComms_Remots_ETH_OK[n]. Si es segueix el protocol de fer correspondre la posició de l'array amb el número d'eix real, s'aconsegueix un mapejat real de l'estat dels servodrives.

Per altra banda, a la subrutina R02_Errors_CMP (corresponent a la tasca T2) és a on es realitza el test en sèrie de tots els mòduls de control locals del xassís de la controladora CompactLogix L33ERM.

Mitjançant una màscara genèrica, es posa els bits a 1 de la màscara els corresponents als mòduls de control que tenim en l'equip. S'ha programat un test genèric de fins a 16 slots, en cas de que en un futur es pretengui ampliar les capacitats de la controladora amb la inclusió de més mòduls. En aquest cas, s'ha posat a 1 els bits 1 i 2 que són els slots corresponents als mòduls d'entrades i sortides digitals instal·lats al bastidor de l'armari de control. Amb l'habilitació d'aquests bits s'està desactivant el contacte tancat col·locat en paral·lel amb les instruccions EQU (Equal), les quals estan fent el test dels mòduls amb el codi que s'ha emmagatzemat anteriorment en l'array Entry_Status[n]. Amb la desactivació d'aquests bits s'està forçant al sistema a testejar els mòduls, que en cas de que sigui satisfactori passarà al següent mòdul. Com que en aquesta aplicació només hi ha 2 mòduls d'E/S, la resta dels bits de la màscara es deixen a 0, d'aquesta manera quan el sistema vulgui testejar el mòdul 0 (p.e.) es trobarà amb el contacte tancat i no obligarà al sistema a passar per la instrucció EQU, la qual fa el test de que el codi d'estat sigui el correcte.

Una vegada s'han realitzat les comprovacions de tants mòduls com hi hagin al bastidor de control, si el resultat es satisfactori, s'activarà la sortida "CMP_OK". Aquesta sortida és un bit que s'ha generat per poder utilitzar a qualsevol part del programa de control, el qual indica que els mòduls corresponents als slots locals del bastidor del sistema CompactLogix es troben en correcte funcionament (Fig. 4.3).

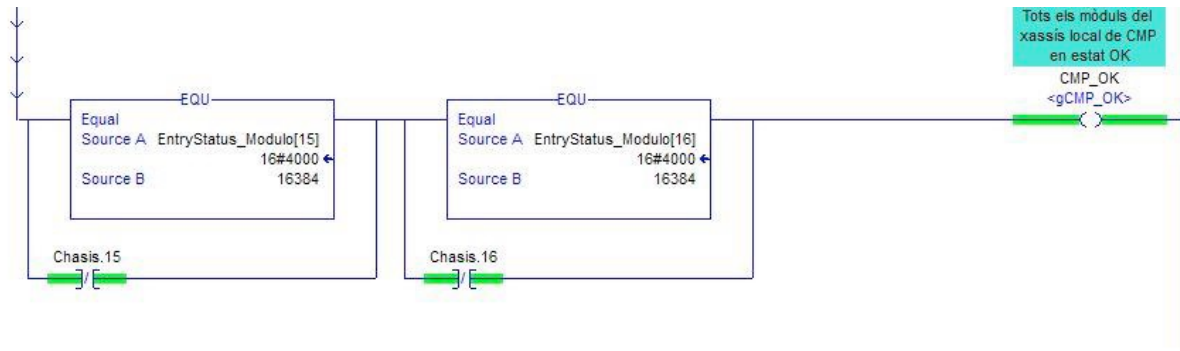


Fig. 4.3 Bit d'OK dels mòduls locals del bastidor CompactLogix. Font : Elaboració pròpia

Una vegada el bit que indica que tots els mòduls del bastidor de la controladora es troba OK, comença a actuar la subrutina R03_General. Dins d'aquesta subrutina es gestiona la diagnosi dels mòduls remots amb el bit gCMP_OK quan la subrutina "R02_Fallos_CMP" diagnostica que tots els mòduls del sistema CompactLogix es troben en correcte funcionament i habilitats. En aquest cas, si a més hi hi l'OK dels mòduls remots (servodrives), es donarà en paral·lel la senyal d'OK de tots els dispositius remots amb el tag Sistema_OK .

Per tant, si s'obté el bit de CMP_Ok (mòduls del bastidor OK) i a més el feedback de que tots els mòduls remots de la xarxa Ethernet també ho estan, es generarà el bit "gSystem_Ok". Aquesta senyal indica que el procediment de diagnosi ha estat completat i que tots els mòduls de control del sistema estan treballant correctament (Fig.6.7).

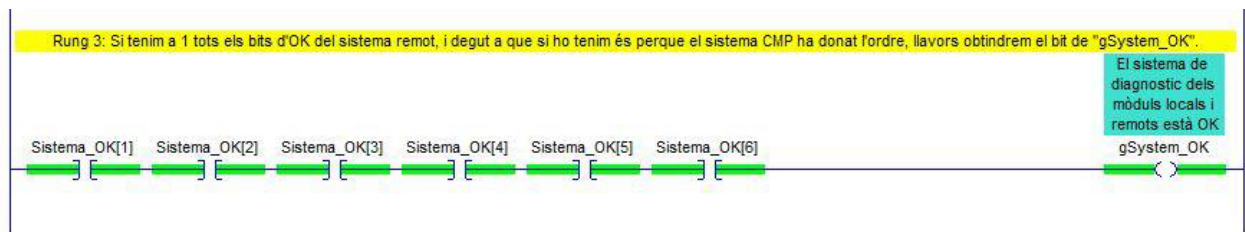


Fig. 4.4 Sistema de diagnòstic completat. Font : Elaboració pròpia

A la rutina principal de la tasca de diagnòstic es gestiona el bit indicant-nos que el sistema es troba OK. A la Fig. 4.5 es pot comprovar com amb la inclusió d'aquest bit s'habiliten o deshabiliten l'ordre de posar en marxa els eixos. D'aquesta manera s'està seguint la filosofia d'estructuració del programa orientat a objectes, ja que aquest bit "gHabilitar_Eixos" s'utilitza a la subrutina R00_Habilitacio (Tasca Principal de Control) per habilitar els servomotors.

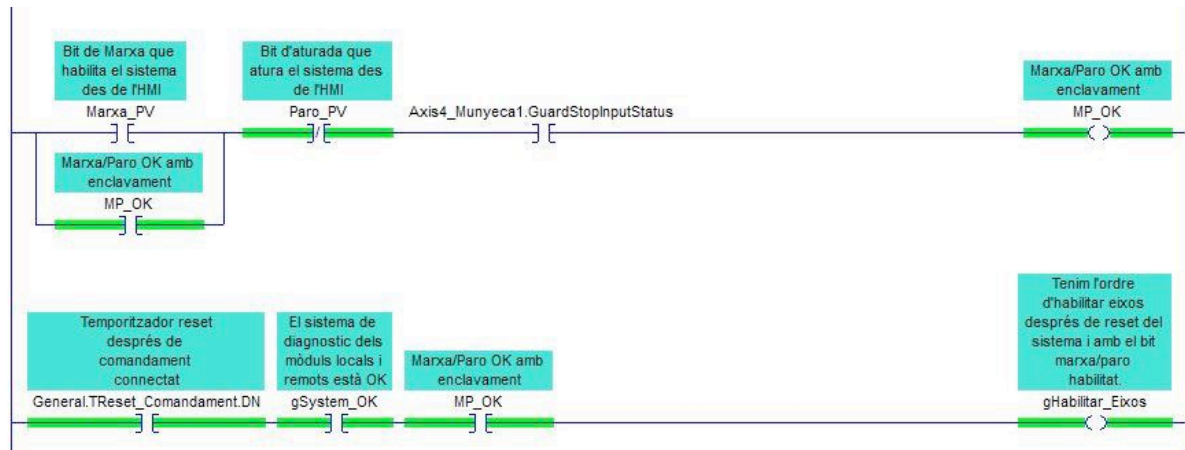


Fig. 4.5 Habilitació dels eixos. Font : Elaboració pròpia

Per tant, amb una estructuració en escala de la diagnosi dels equips, a on esglaió a esglaió es van complint les condicions que finalment es tradueixen en un bit a 1 que indica que tot el sistema es troba treballant en correcte funcionament, s'ha aconseguit obtenir l'estat dels mòduls de l'equip agrupat en una sortida. Aquesta sortida es fa servir en una rutina de control independent de la tasca de diagnosi, permetent una programació estructurada.

Aquesta forma de treballar permet programar bloc a bloc les diferents etapes de treball d'un autòmat, permetent una fàcil lectura del disseny del programa i una eficient resolució de problemes en cas de falla.

Si per exemple es caigués la comunicació d'un dels mòduls servodrive, únicament analitzant la línia de control que testeja l'estat dels mòduls remots (Fig. 4.4) es pot saber immediatament quins dels eixos ha perdut la comunicació. Tanmateix, com que la falla contempla el no funcionament del drive, s'agrupen en un sol bit qualsevol error que es pugui ocasionar en el drive. D'aquesta manera si perd comunicació com si perd l'alimentació elèctrica o entra en falla per qualsevol motiu extern, el bit que es trobi a 0 de l'anomenada línia de control, indicarà quin dels 6 servodrive de control es troba fora de línia.

5. Configuració d'un grup de moviment

En aquest capítol es presenta un resum dels passos que s'han de fer inicialment abans de procedir a la programació dels moviments coordinats. Amb això es vol donar a conèixer el funcionament lògic del software de programació a l'hora de procedir amb una programació tan avançada, com la que suposen moviments coordinats.

Aquest grup de passos inclou:

- Afegir i configurar un grup de moviment
- Afegir i configurar un eix
- Afegir i configurar un eix virtual
- Afegir i configurar un sistema coordinat

5.1. Afegir i configurar un grup de moviment

S'ha d'afegir un grup de moviment per poder configurar el planificador de moviment. El planificador de moviment no és més que una part del controlador que s'encarrega de la informació de posició i velocitat dels eixos. Cada vegada que corri el planificador de moviment, aquest interromp qualsevol altre assumpte sense importar la prioritat d'aquest. En aquest exemple, cada 10 ms el controlador deixa d'escanejar el codi i qualsevol altra tasca que s'estigui realitzant, i corre el planificador de moviment.

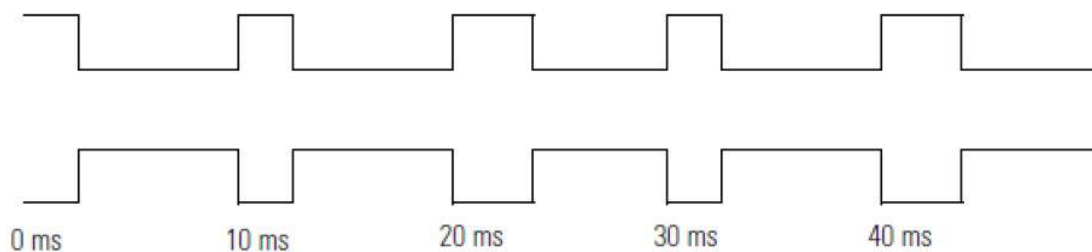


Fig. 5.1 Exemple temps d'escaneig. Font : Elaboració pròpia

Per a poder afegir el grup de moviment i d'aquesta manera configurar el planificador de moviment, s'han de seguir els següents passos:

- Primer s'ha de seleccionar el període d'actuació, això no és més que l'interval entre l'actualització de les dades de posició dels eixos de moviment i l'escaneig del codi.
- Cal donar un temps d'actuació que sigui múltiple del temps de cicle del mòdul de moviment, per tal de que existeixi una correcta harmonia de sincronització entre els dos temps de cicle.
- En aquest cas s'utilitza un període d'actuació de 6 ms, ja que és recomanable utilitzar un interval de almenys la meitat del temps emprat pel controlador per escanejar el codi.
- A l'organitzador de control, donar clic dret en grup de moviment i escollir nou grup de moviment.

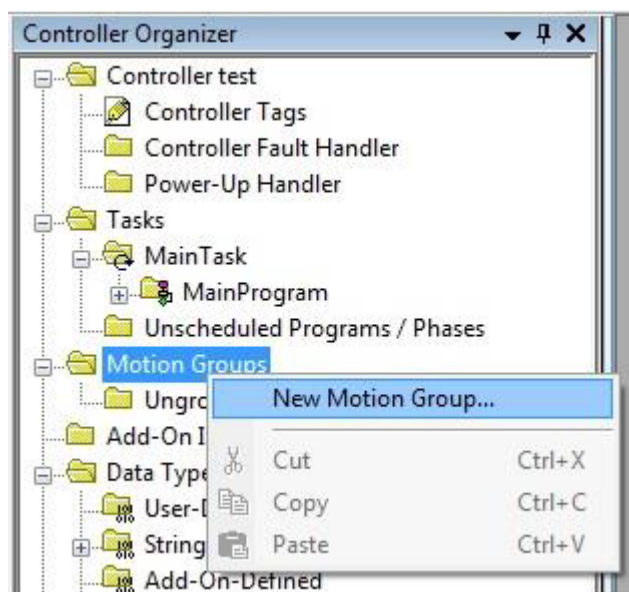


Fig. 5.2 New Motion Group. Font : Elaboració pròpia

Apareix una nova finestra de diàleg que s'ha de omplir amb el nom "Moviment". També s'ha de seleccionar el tipus de grup de moviment, el camp d'acció i abast que se li vol donar a aquest nou grup. En aquest cas s'ha d'especificar que és un grup de moviment i a l'abast que és part de la configuració del mòdul de moviment d'interfície Ethernet del controlador CompactLogix. Per últim s'ha d'indicar que l'accés extern, que és la forma de com es podrà accedir a l'anomenat grup, és de tipus lectura/escriptura tal i com indica la Figura 5.3

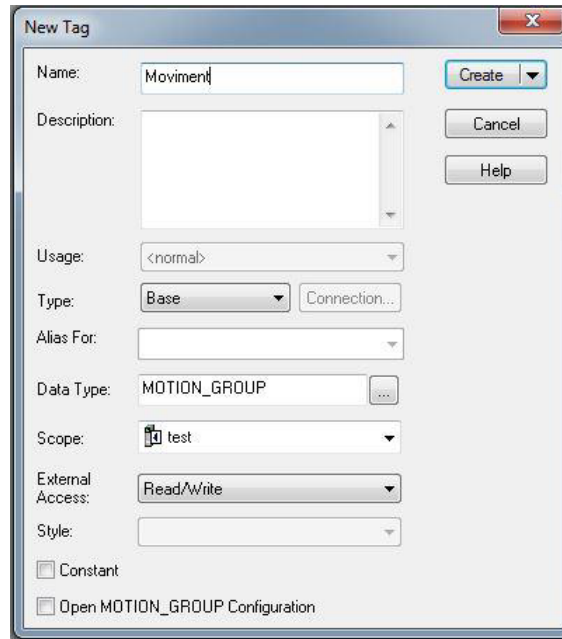


Fig. 5.3 Propietats grup de moviment. Font : Elaboració pròpia

A continuació s'ha de configurar els atributs, es fa clic dret a sobre del grup de moviment creat i es fa clic a les propietats del mateix. Dins del menú propietat es troba una pestanya anomenada Attribute. En aquesta finestra es configura el temps d'escaneig del sistema, per d'aquesta forma poder córrer el planificador de moviment esmentat anteriorment. També s'especifica la informació del nou tag pertanyent al grup creat tal i com indica la figura 5.4.

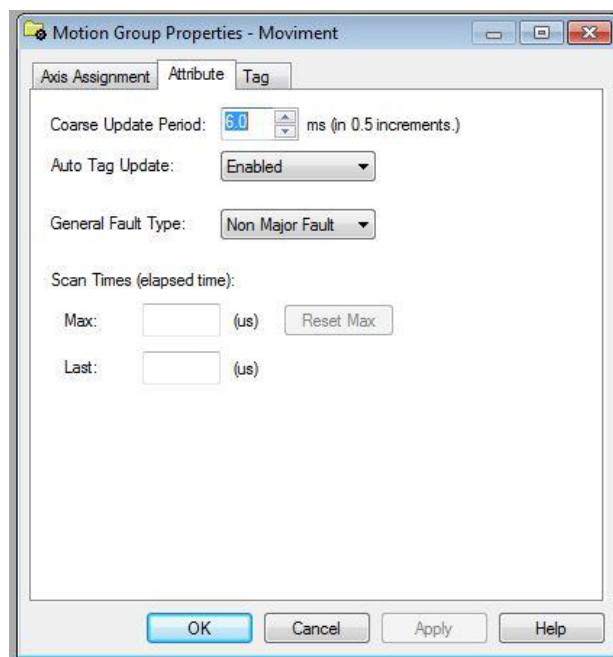


Fig. 5.4 Atributs del grup de moviment. Font : Elaboració pròpia

- Tipus de dada, segons hem especificat anteriorment.

Una vegada creat el nou eix, s'han de configurar tots els paràmetres que faran que el sistema reconegui quin tipus d'eix es mourà. A continuació es mostra la finestra de propietats d'eix amb tots els anomenats paràmetres a ajustar.

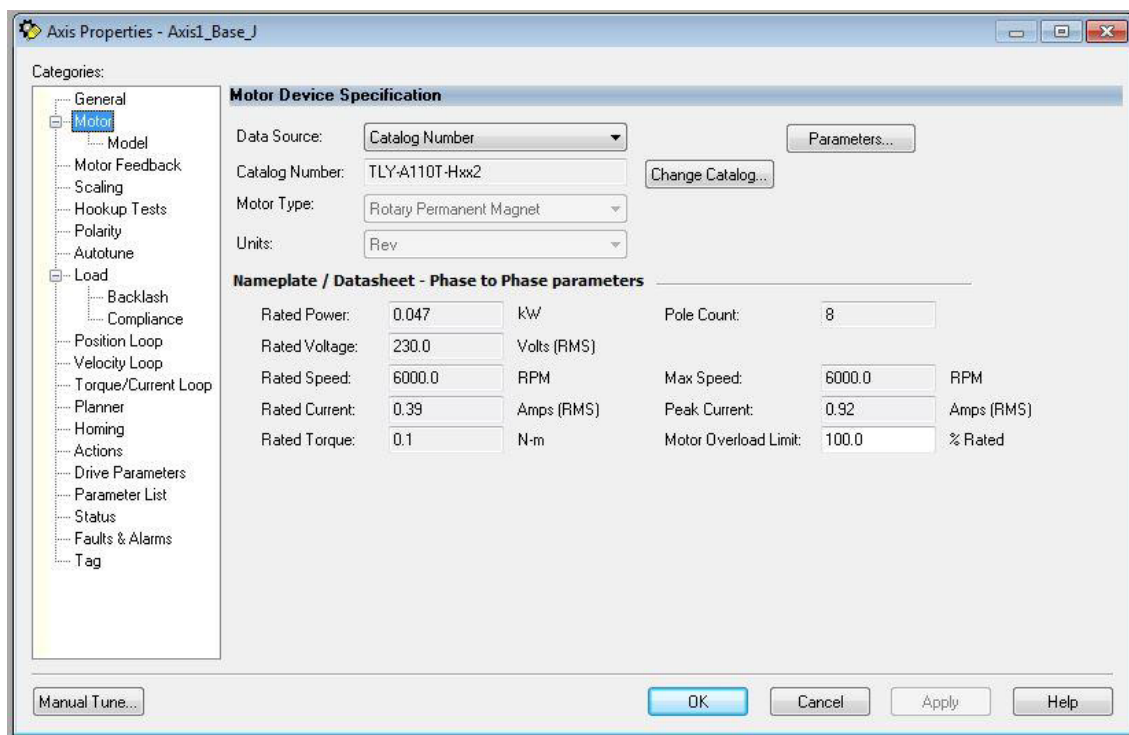


Fig. 5.6 Propietats d'un eix. Font : Elaboració pròpia

Tots els passos anteriorment descrits, s'han de repetir per tants eixos com es vulguin incloure en el grup de moviment. Els eixos que es configuren d'aquesta manera correspondran als eixos reals del sistema, és per aquest motiu que s'ha d'indicar el tipus de motor, guanys, parells de treball, etc.

5.3. Afegir i configurar un eix virtual

El propòsit d'aquest projecte és aconseguir realitzar moviments sincronitzats. Aquest tipus de moviment, tal com es veu a l'assignatura de robòtica, el problema és que tenim especificacions en coordenades cartesianes però les ordres als actuadors s'han de donar utilitzant les coordenades articulars i és aquest el motiu de les anomenades transformacions cinemàtiques més d'una vegada nombrades en la present memòria.

S'han d'afegir tants eixos virtuals com eixos reals es pretenen moure sincronitzadament, és a dir, "l'Eix Virtual1" que serà del tipus cartesià, amb les degudes transformacions cinemàtiques farà moure "l'Eix Real1" en coordenades articulars.

A continuació es mostra gràficament el procediment que s'ha de fer per tal d'anar afegint els eixos virtuals corresponents. Cal dir, que el nombre màxim d'eixos coordinats que es poden moure són 3. Aquesta limitació la posa el fabricant Allen Bradley.

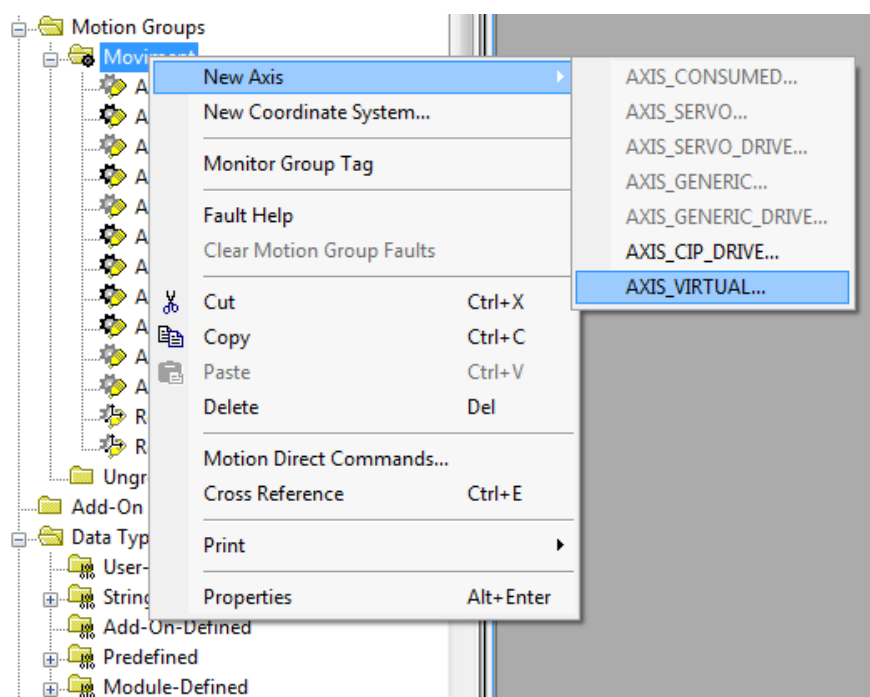


Fig. 5.7 Afegir eix virtual. Font : Elaboració pròpia

Axis1_Base_J			AXIS_CIP_DRIVE
Axis2_Espatlla_J			AXIS_CIP_DRIVE
Axis3_Colze_J			AXIS_CIP_DRIVE
Eix_X			AXIS_VIRTUAL
Eix_Y			AXIS_VIRTUAL
Eix_Z			AXIS_VIRTUAL

Fig. 5.8 Relació d'eixos. Font : Elaboració pròpia

A la Fig.5.8 es mostra la relació d'eixos que s'han afegit al grup de moviment. Els eixos reals corresponen als de tipus (AXIS_CIP_DRIVE) i els virtuals als del tipus (AXIS_VIRTUAL).

Per exemple, si es vol moure el robot linealment segons "l'Axis_X", amb les degudes transformacions cinemàtiques que es faran mitjançant el software de programació farà moure

els eixos “J” necessaris per descriure el moviment amb les coordenades que es demanden. L'eix de tipus cartesià (virtual) treballarà amb les coordenades que Studio5000 sap interpretar en l'espai tridimensional, i l'espai angular (real) treballarà amb les coordenades angulars necessàries per posicionar el robot allà on es vol.

Cal esmentar, que no només es treballarà amb els 3 eixos que es mencionen en aquest capítol. En la primera versió de KinematicLab es van moure fins a 6 eixos reals, els quals el controlador és capaç de moure'ls, però no de manera sincronitzada. S'ha de distingir la realització de moviments independents i lliures amb la realització de moviments sincronitzats i degudament guiats. És per aquest motiu que de manera sincronitzada es mouran els 3 eixos principals del robot (base, espatlla i colze), els quals son els més idonis per a apreciar visualment que efectivament s'estan movent tots a la vegada. La sensació visual és a la que els humans estan acostumats a veure en robots industrials, els quals es mouen deforma molt dolça descrivint un moviment lineal o circular perfecte , movent tots els seus eixos a la vegada. Diguem que és el moviment natural dels robots a la industria, que sembla tan trivial, però que realment comporta una gran feina de càlculs matemàtics i programació per part dels fabricants per aconseguir aquests moviments tan perfectes i sincronitzats.

5.4. Afegir i configurar un sistema coordinat

Una vegada s'ha afegit i configurat els eixos necessaris per a la realització del desitjat moviment coordinat s'ha d'afegir el corresponent sistema coordinat que farà moure els anomenats eixos.

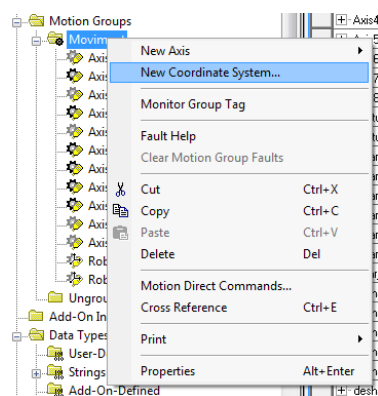


Fig. 5.9 Nou sistema coordinat. Font : Elaboració pròpia

Seguint els mateixos passos que en el capítol anterior, es selecciona “New CoordinateSystem”, per tal d’afegir un nou sistema coordinat. A continuació demanarà que es doni un nom i es farà clic en l’opció “Create”.

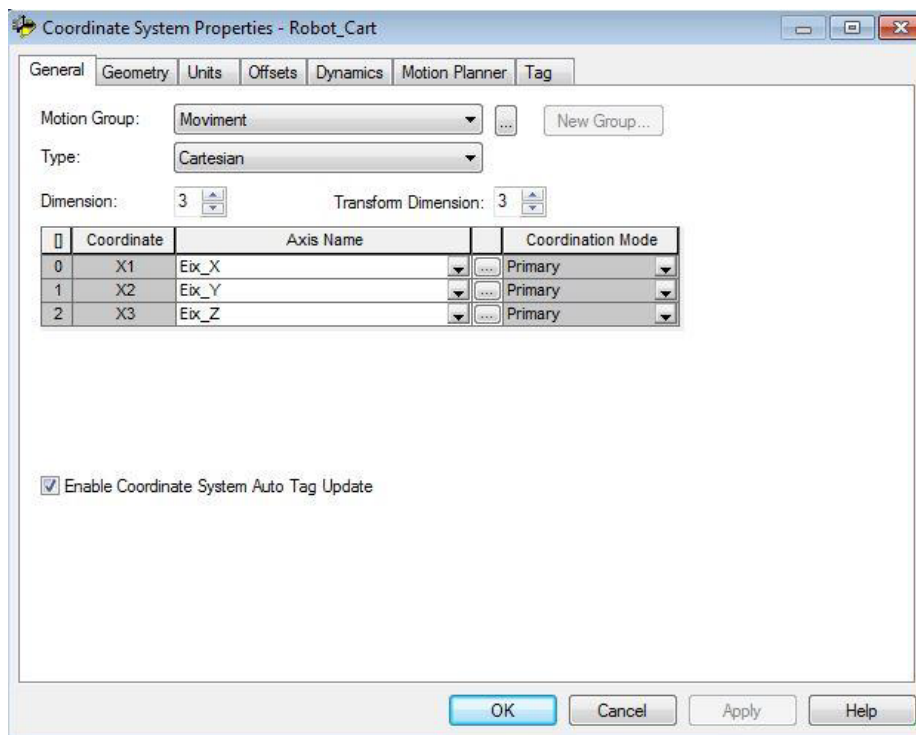


Fig. 5.10 Propietats del sistema coordinat. Font : Elaboració pròpia

S’indica a quin grup de moviment pertany el nou sistema coordinat afegit, el tipus de robot que és pel tipus de geometria i per últim afegim els 3 eixos que es vol que mogui el sistema afegit.

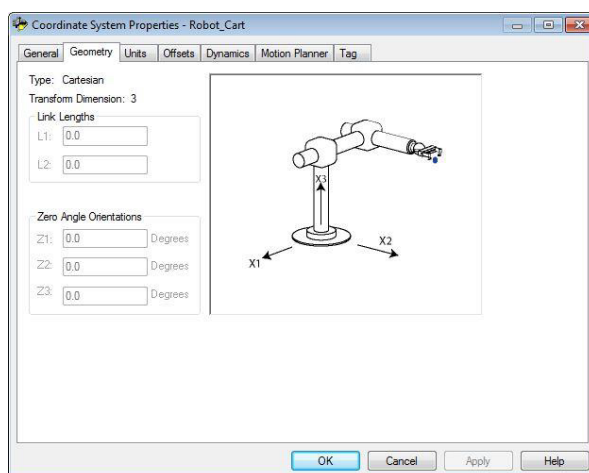


Fig. 5.11 Geometria del robot cartesià. Font : Elaboració pròpia

S'han afegit els eixos virtuals, ja que aquests seran els eixos cartesianes que seran moguts evidentment per un robot cartesià.

Al sistema se l'anomenarà "Robot_Cart", donant referència a que es tracta d'un robot del tipus cartesià. En la configuració d'aquest sistema no s'ha d'indicar longituds dels eixos ni offsets ja que es tracta d'un robot virtual.

Seguidament es realitzarà la mateixa operació per tal d'incloure un nou sistema coordinat, aquest serà el corresponent al robot real, a on s'indicarà que és del tipus "Articular dependent" i a on s'inclouran els eixos reals, afegits en seccions anteriors del present capítol.

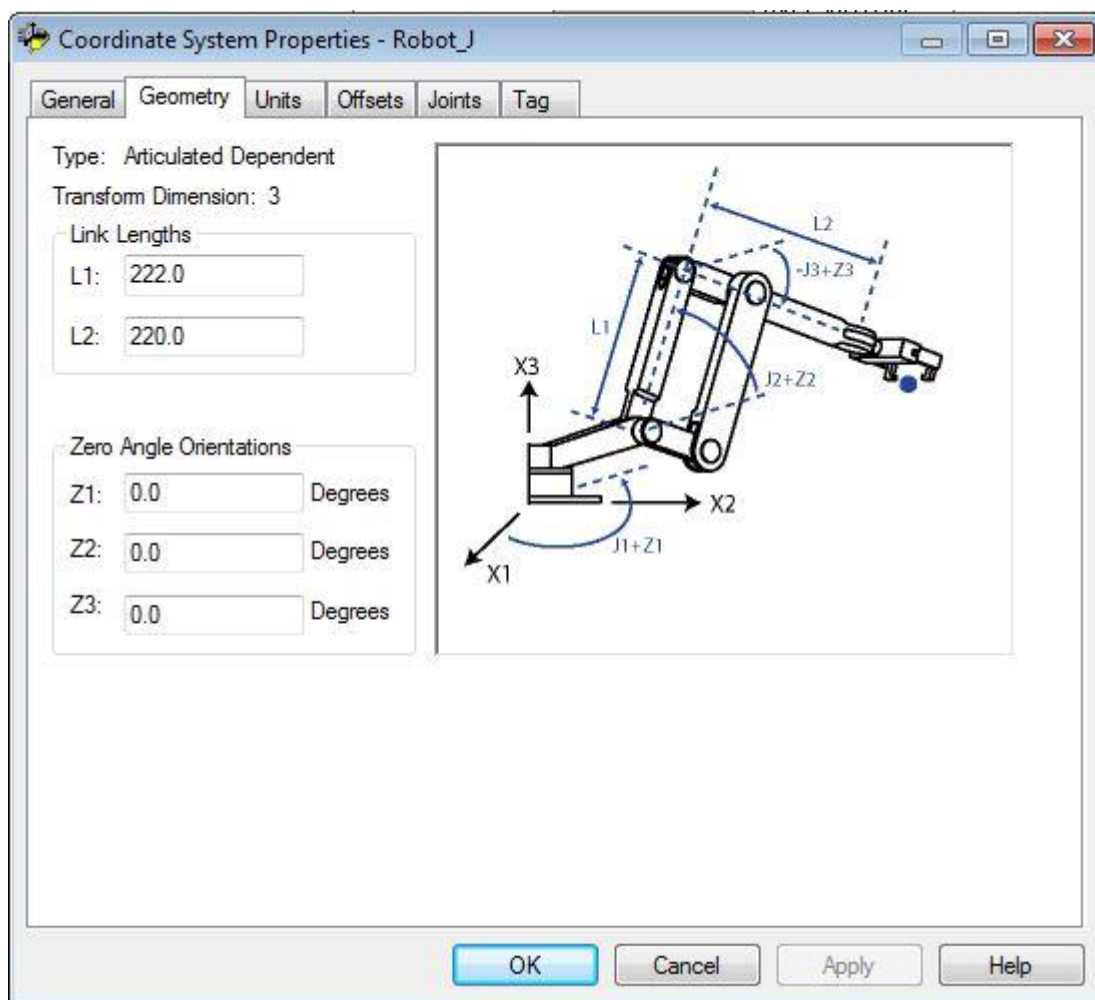


Fig. 5.12 Geometria del robot angular. Font : Elaboració pròpia

5.5. Afegir i configurar paràmetres de seguretat

A continuació s'explicaran els ajusts que s'han fet per atorgar seguretat al sistema. Abans de començar cal aclarir que aquest robot no tenia cap tipus de limitació per Software, és a dir, que el motor podia arribar a rebre una comanda del 230% del seu parell.

Per evitar el mal ús i possibles trencaments, s'ha limitat el parell que pot arribar a fer cada motor a través d'un estudi de parell. Aquest estudi de parell ha consistit en fer funcionar el robot en cicle a la velocitat de treball i observa quin parell requeria per a fer aquest tipus de moviments. Un cop acotat el parell que necessita el robot per treballar s'ha limitat el parell de cada eix individualment perquè no sobrepassin aquest punt de treball. A continuació és mostren les pantalles rellevants per aquest procés.

Primerament per fer una lectura actual del parell del eix en cada moment necessitem habilitar uns tags de monitorització que de forma estàndard no s'actualitzen. A continuació és mostra l'exemple del eix 2, l'espatlla, com habilitem aquests paràmetres de lectura.

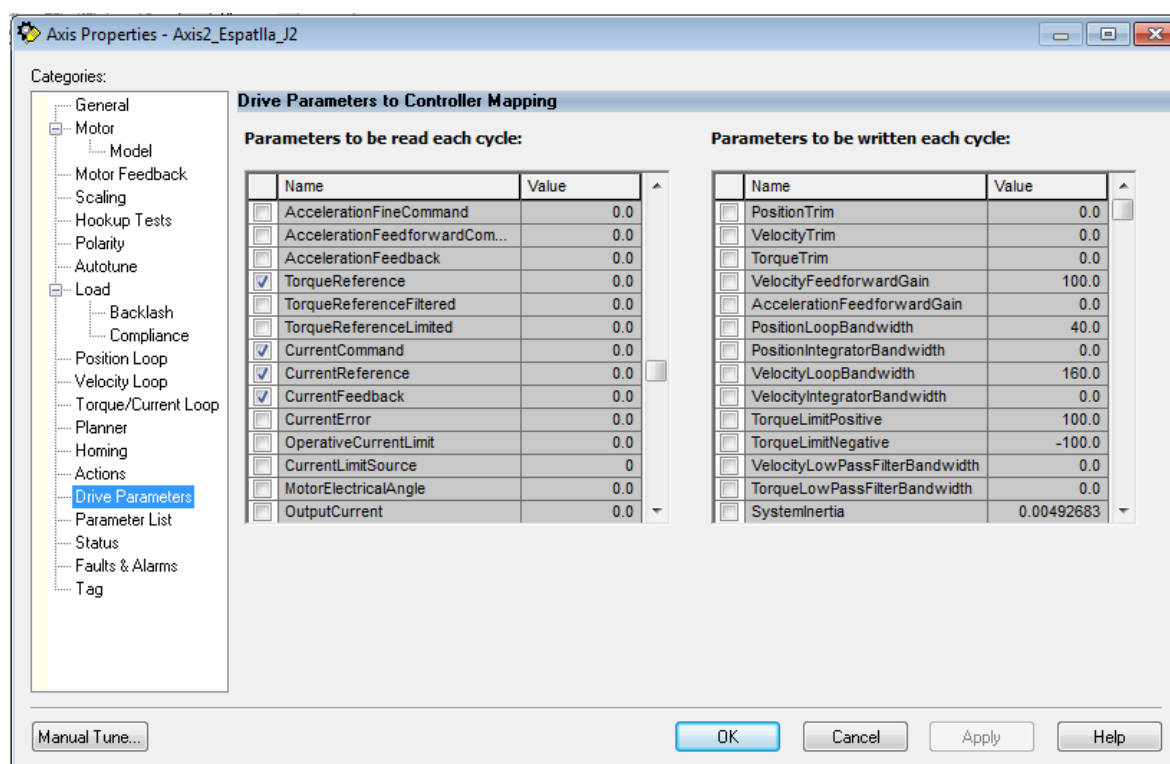


Fig. 5.13 Monitorització de nous paràmetres. Font : Elaboració pròpia

Amb aquests paràmetres habilitats es pot fer l'estudi del par del eix 2, que com s'ha pogut observar sempre treballa amb un màxim de parell del 40% del eix. Així doncs sempre que el par superi el 40% el robot estarà fent un sobreesforç sobre la mecànica actual cosa que no interessa per el benestar del hardware. Així doncs ara s'explicarà com limitar el parell perquè no treballi mai en un parell més alt del desitjat.

Com és pot observar en la següent figura, hi ha una pestanya dins de les propietats de cada eix que s'anomena Torque/ Current Loop, que s'encarrega de limitar el parell o corrent que se li proporciona al eix. Com ja s'ha comentat amb anterioritat, el màxim parell amb el que treballarà el nostre eix 2 serà del 40% del total. Per al bon funcionament de la aplicació el fabricant ens recomana apujar una mica aquesta xifra així doncs posarem de límit un 50% del parell total del eix.

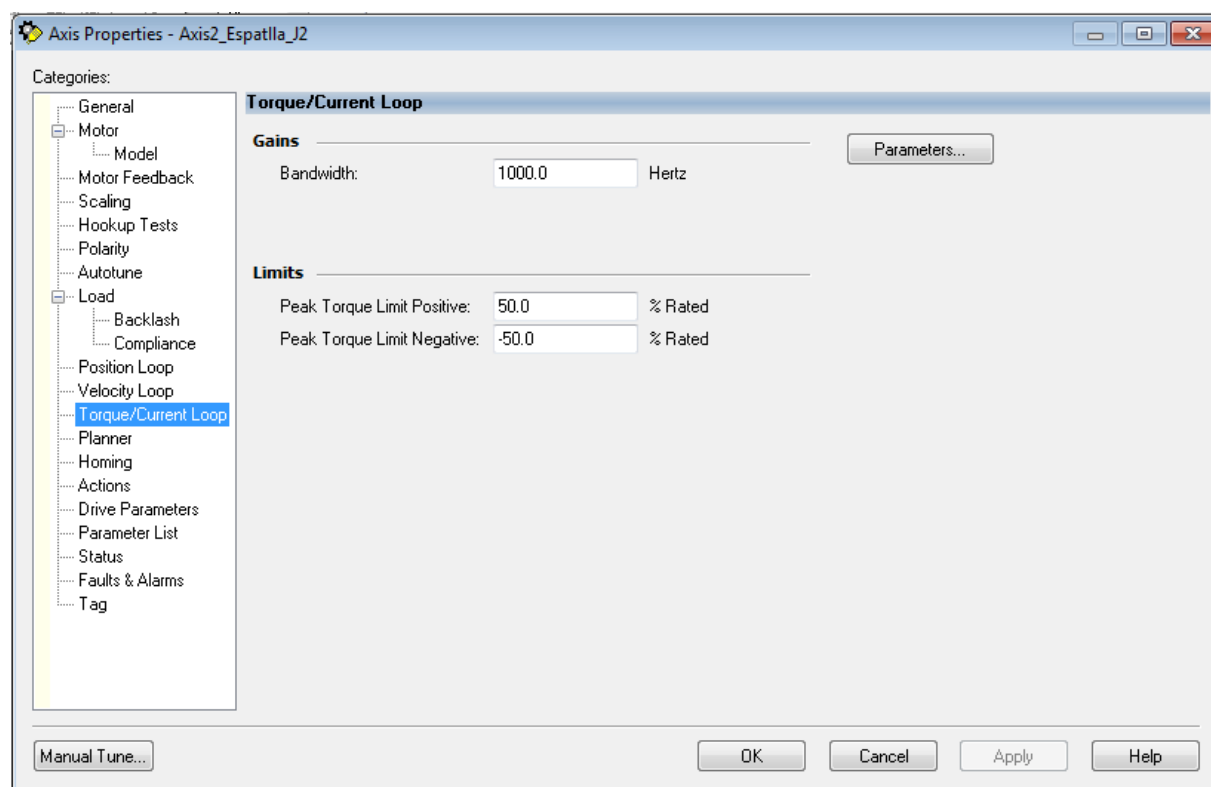


Fig. 5.14 Ajust del parell. Font : Elaboració pròpia

Aquests passos que s'han detallat per l'eix 2 també s'han dut a terme en els altres eixos de forma independent. Aquest procés assegura que en cas d'un mal funcionament si el robot trobés un obstacle mecànic no forçaria el motor per sobre dels límits establerts. Aportant robustesa i seguretat per a l'equip i els usuaris.

També s'ha afegit una mesura de seguretat extra anomenada Soft Travel Limits que consisteix en programar el màxim recorregut en graus que tindrà l'eix. Aquesta eina es capaç de configurar tant el recorregut positiu com el negatiu. Per configurar-la s'ha de anar a les propietats de cada eix individualment i a la pestanya anomenada Scaling marcar el tic de la part inferior. Un cop s'habilita el tic s'ha d'introduir el recorregut de cada eix tal i com indica la figura 5.15.

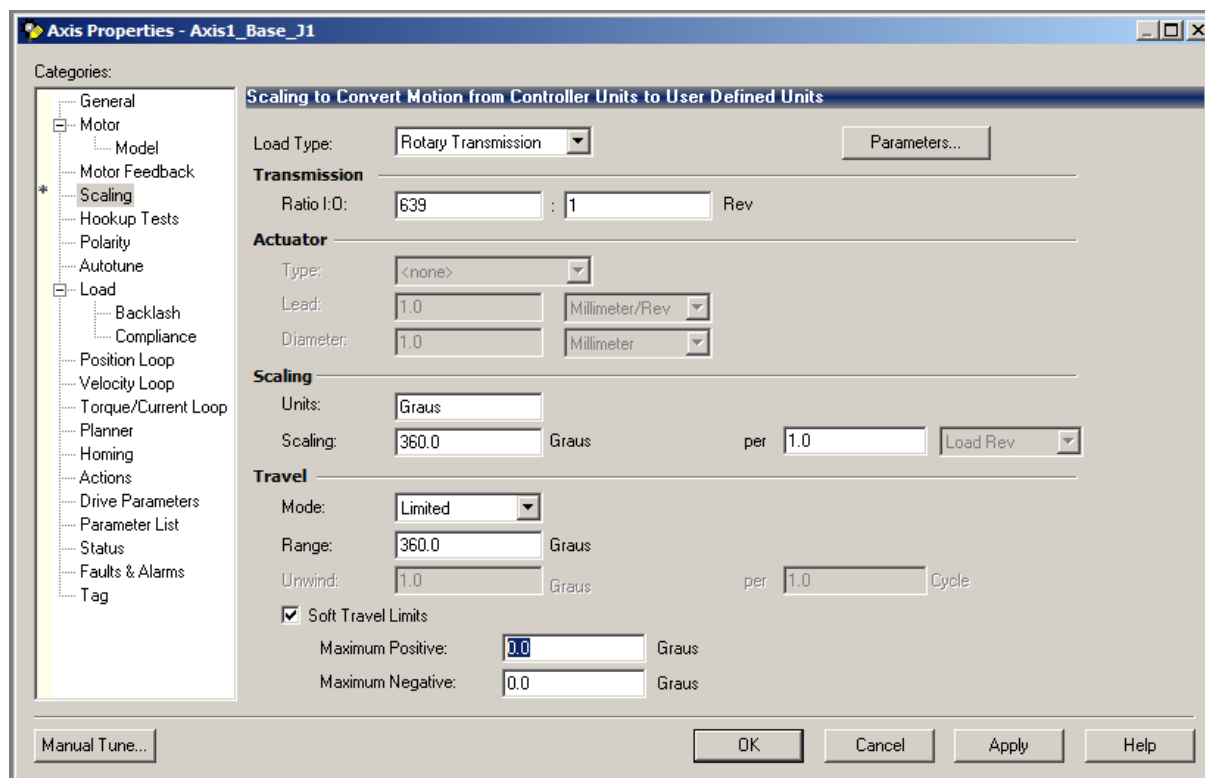


Fig. 5.15 Configuració del Soft Travel Limits. Font : Elaboració pròpia

Un cop s'ha configurat cada eix s'ha d'habilitar al programa quan es vol que comenci a actuar aquesta eina. Si s'activés abans que el robot es referencis el més probable és que aquesta eina no fes la funció que es desitja. Així doncs, com es pot comprovar en el programa, l'eina s'habilitarà després de fer la seqüència de home.

6. Disseny de la interfície home màquina (HMI)

En aquest apartat es plantegen i justifiquen les especificacions que s'han establert per a la interfície home-màquina ja que, a més de les especificacions de requeriments de l'usuari vistes al capítol 2, cal incloure un conjunt d'especificacions relatives a seguretat i a procediments normalitzats de treball que ajuden a millorar la qualitat del projecte resultant.

6.1. Implementació del sistema HMI FactoryTalk View ME

El software utilitzat per realitzar el disseny de la interfície de programació gràfica és el FactoryTalk®View Machine Edition 7.0 del fabricant Rockwell Automation. El programari FactoryTalk View Machine Edition (ME) és una versàtil aplicació d'interfície operador-màquina (HMI) que ofereix una solució robusta i dedicada per a dispositius d'interfície d'operador a nivell de màquina [7].

FactoryTalk View consta dels següents components:

- FactoryTalk View Studio: Aquest entorn de desenvolupament conté les eines necessàries per a crear tots els aspectes d'una interfície Home-Màquina, incloses les pantalles gràfiques, tendències, notificacions d'alarmes i animació en temps real. A la vegada ofereix eines per comprovar les distintes pantalles i aplicacions completes.
- FactoryTalk View ME Station: Aquest és l'entorn d'execució, aquesta executa l'aplicació d'execució. Les aplicacions d'execució es poden executar en un ordinador personal o en un Panel View Plus.

Durant tota la fase de disseny s'ha utilitzat un pc portàtil per fer córrer l'aplicació i comunicar-se amb l'autòmat. Amb el programa que s'ha elaborat finalment es pot fer servir un dels dispositius Panel View Plus 1250 dels que disposa la universitat per tal de controlar el robot amb una interfície tàctil.

Per iniciar el disseny, primer s'accedeix al FactoryTalk View Studio i s'escull l'opció Machine Edition (Fig. 6.1), posteriorment es crea el projecte per a la versió actual de Scorbot Studio. També podem editar el projecte Scorbot Studio si tenim un Back-up d'aquest,

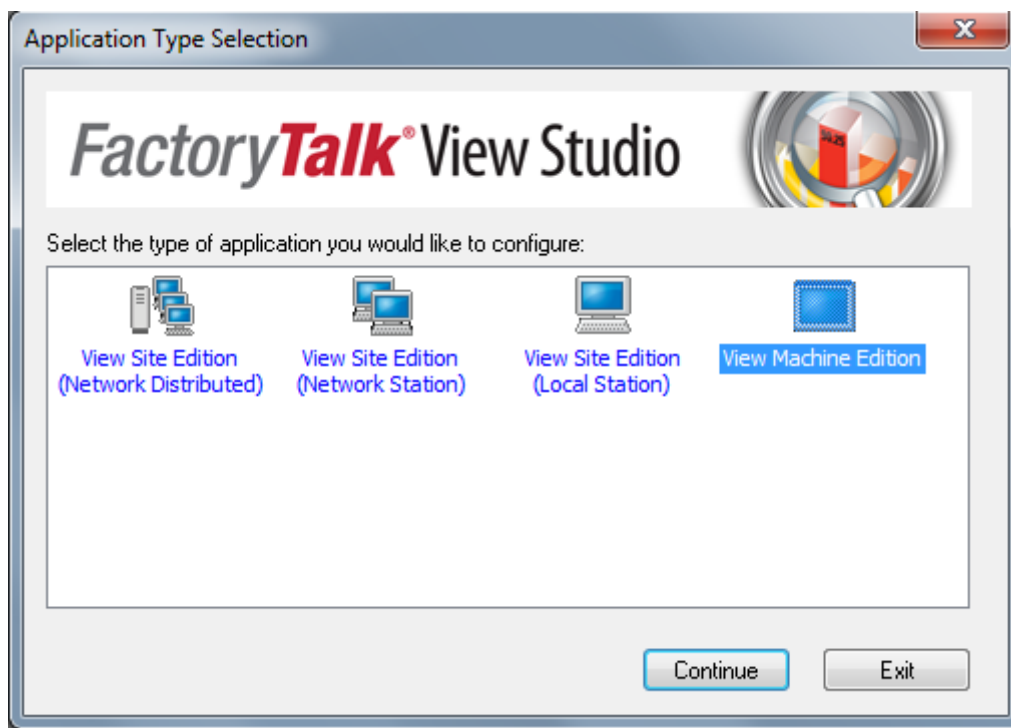


Fig. 6.1 Obrir projecte View Machine Edition. Font : Elaboració pròpia

6.2. Configuració de la comunicació

Com a part essencial, abans de dissenyar s'han de configurar les comunicacions, per a la qual cosa s'ha d'utilitzar el software Rslinx Enterprise que s'utilitza quan la comunicació es realitza des d'un Panel View Plus o des del FactoryTalk View Studio a un controlador Allen Bradley.

Inicialment s'accedeix a Communication Setup, aquest apartat mostra la vista de les topologies del servidor RSlinx Enterprise en el computador. [8]

Disseny de l'aplicació

6.2.1. Estructuració de les pantalles de l'aplicació

Per al disseny de la interfície gràfica s'ha seguit una plantilla còmode de navegar intuïtiva. Aquest propòsit s'aconsegueix incloent a totes les pantalles la següent informació:

- Data i hora: A la part inferior dreta hi ha en tot moment l'hora i data reals, proporcionat pel sistema informàtic.

- Logotip “Scorbot Studio”: Per saber en tot moment quin software s’està utilitzant i la finalitat del mateix. Apart ajuda a tornar a la pantalla de inici.
- Logo Tecnocampus Mataró-Maresme: Informa de la universitat en la que s’ha implantat l’estació de treball, i per tant, la institució que ha finançat el projecte.
- Botó de shutdown: Clicant aquest botó que hi ha totes les pantalles, podrem sortir de l’aplicació en qualsevol moment. Abans però dirigirà a l’usuari a la pantalla de pre-apagat on aquest haurà de deixar el robot en la posició de repòs.
- Menú: Ajuda a l’usuari tornar al menú principal des de qualsevol pantalla.
- Enable Axis: Amb forma de Switch serveix per habilitar o deshabilitar els eixos dins de les pantalles de moviment o control.
- Stop Axis: Amb forma de botó serveix per aturar els eixos dins de les pantalles de moviment o control.
- Nom de la pantalla: Es troba just a sota del logotip de Scorbot Studio, i informa de la pantalla de control en la que ens trobem.

Per tal d’oferir una presència corporativa i professional, s’han escollit colors amb tonalitat taronja, gris blanc. L’ús d’aquests colors són els corporatius del Tecnocampus, a més de recordar que l’estació de treball controla un robot del tipus Scorbot ER-III (xassís de color taronja).

A continuació es presenta un mapa mental a mode de representació de l’estructura de la interfície gràfica:

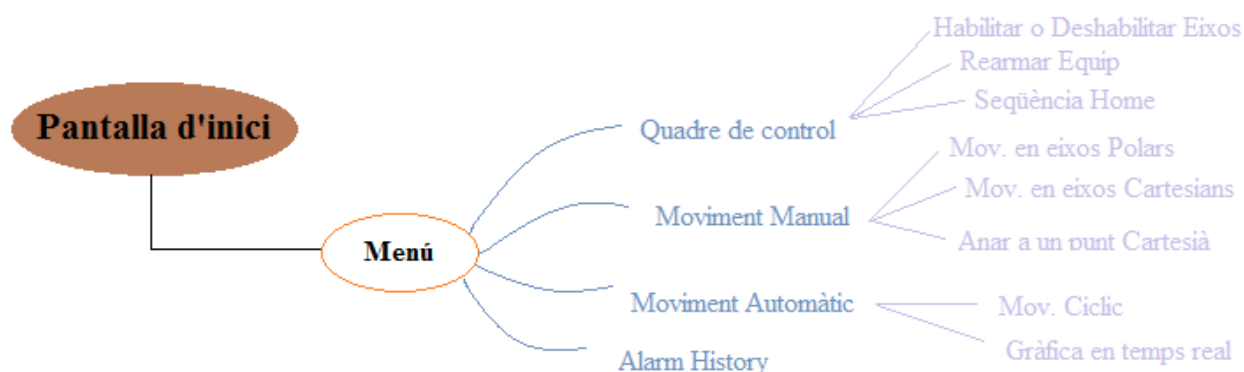


Fig. 6.2 Mapa mental de la aplicació. Font : Elaboració pròpia

Seria convenient que abans d'apagar el equip es deixés aquest en la posició de repòs o home. Això ajudaria a que el següent operari que utilitzés el robot no es trobés amb cap problema. Abans de posar en marxa l'equip s'haurà de comprovar que aquest no s'ha passat els fi de cursa que té al colze i a l'espatlla. Tota aquesta informació es detallarà posteriorment al Manual d'usuari al capítol 7 d'aquest document.

6.2.2. Descripció de les pantalles de control

Aquest apartat té com a finalitat detallar les propietats de cada pantalla per tal que s'entengui més fàcilment el mapa mental que s'ha fet de la aplicació anteriorment. Es començarà per la pantalla principal:

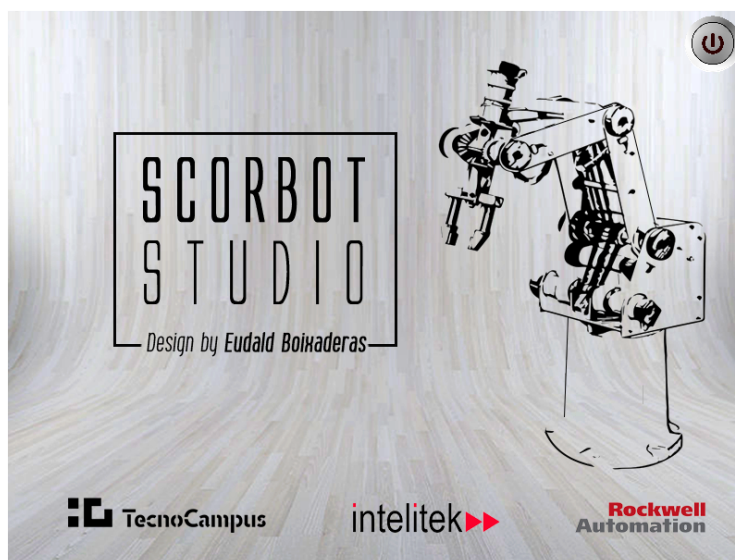


Fig. 6.3 Pantalla principal de la aplicació. Font : Elaboració pròpia

Quan accedim a la interfície gràfica, el primer que troba l'usuari és la pantalla de benvinguda a l'aplicació Scorbot Studio (Fig. 6.3). Tal i com s'observa hi figura l'estructura física del robot, el logo de les tres empreses integrants i un botó de Shutdown per si volem sortir de la aplicació. Cal dir que podem retornar aquest punt des de qualsevol pantalla de navegació clicant a la capçalera, per si volem fer una aturada natural del sistema.

A continuació es mostrarà la següent pantalla que apareix un cop cliquem en la pantalla d'inici. La pantalla de selecció o Menú té el següent format:

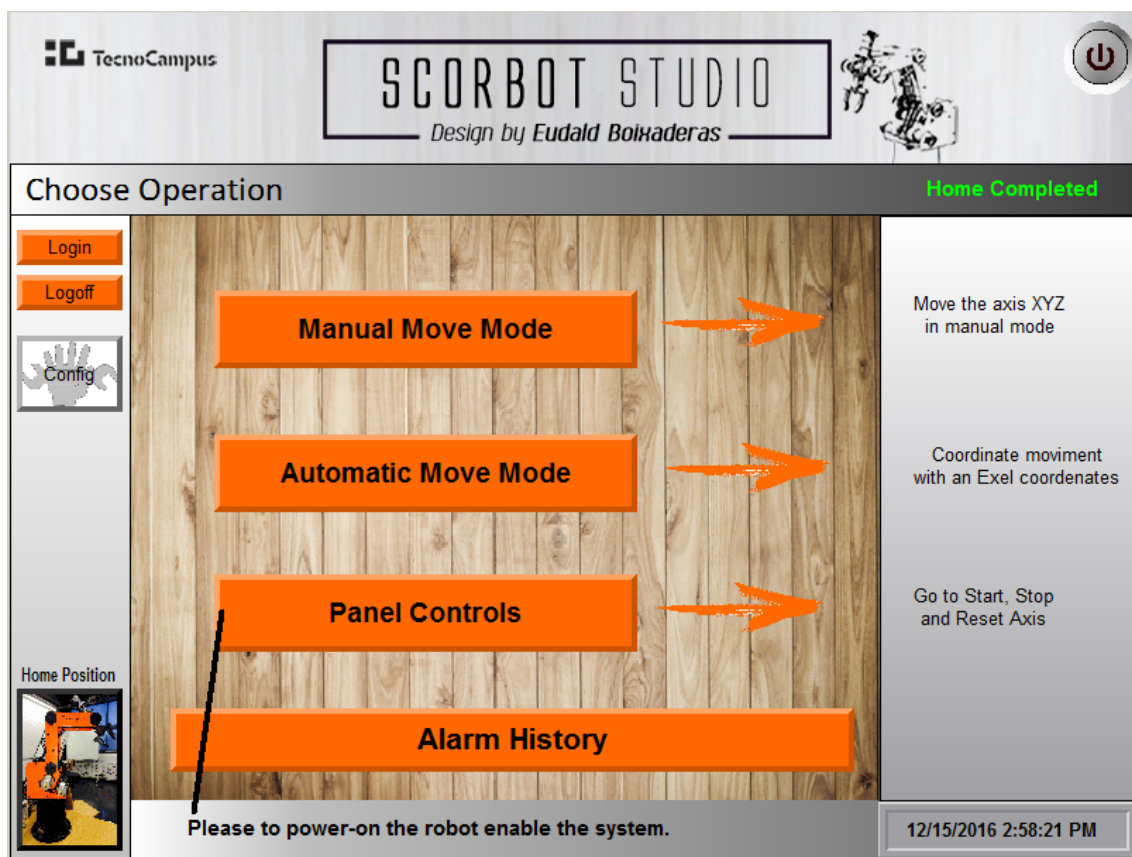


Fig. 6.4 Pantalla de selecció. Font : Elaboració pròpia

Una vegada s'accedeix al sistema, ens apareix la pantalla de selecció d'operació (Fig.6.4). En aquesta pantalla es pot escollir quina tasca de control es vol realitzar, ja sigui moviment manual lineal o automàtic. A més, permet anar al quadre de control a on es troben els pulsadors de marxa, aturada i reset. També existeix l'opció d'anar a l'històric d'alarmes per consultar quins errors s'han donat en el sistema anteriorment.

Adicionalment, s'ha inclòs també un botó per accedir a paràmetres de configuració. Per accedir aquest botó que es troba en la part esquerre de la pantalla prèviament s'ha de fer un Login a la sessió de professor. El usuari d'aquesta sessió és **Professor** i la contrasenya per accedir és **Tecnocampus**.

Cal destacar, que abans d'escollir l'operació a realitzar, i si l'equip ha sigut desconnectat de la xarxa elèctrica, s'ha de realitzar un referència home dels eixos del robot. Els encoders del robot són incrementals i perden el feedback de posició cada vegada que perden tensió. Com es comentarà més endavant en el apartat Manual de l'Usuari, hi ha uns passos a seguir abans de començar a moure l'equip després d'una pèrdua de tensió.

Seguidament es presentarà la pantalla de moviment manual, la qual permet moure manualment el robot dins dels eixos cartesianes o polars.

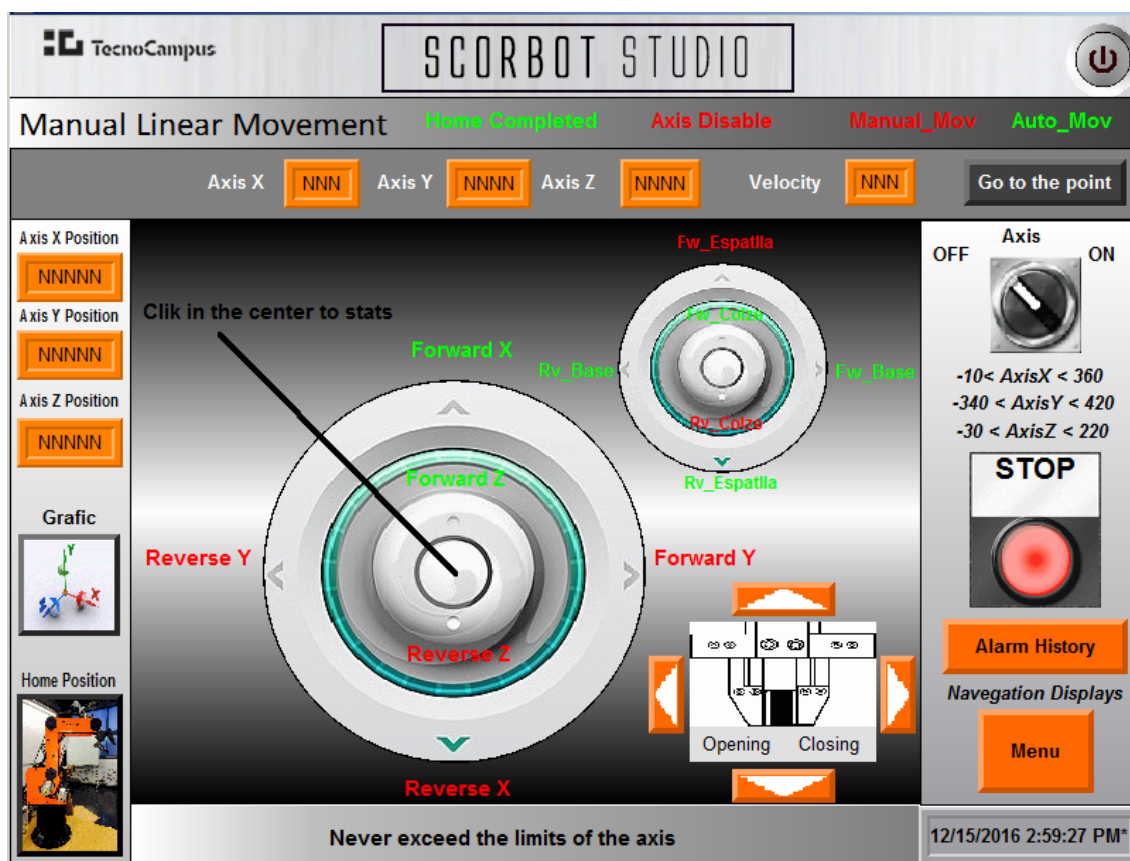


Fig. 6.5 Pantalla moviment manual. Font : Elaboració pròpia

Des de la pantalla de selecció d'operació es pot accedir a la pantalla de moviment manual lineal (Fig.6.5). Dins d'aquesta interfície es pot realitzar moviments lineals en cada eix cartesià (XYZ)

mitjançant el joystick central. Abans però, apareix un text informatiu que informa que per habilitar els joysticks s'ha de prémer el centre del joystick central. A la part superior dreta es troba un petit joystick per controlar els eixos angulars (J1 J2 J3).

A més, es pot manar la petició d'anar a un punt de l'espai en coordenades cartesianes i el robot hi anirà linealment. En la part esquerra superior s'hi troba la posició en temps real de cada eix cartesià, per tal de que manualment es pugui reconèixer les posicions cartesianes a les que es troba el robot. En cas desitjat hi ha un pulsador amb el qual es posiciona el robot en la seva posició de repòs o Home.

Un cop presentada la pantalla de moviment manual, es presentarà la pantalla de Moviment Automàtic:



Fig. 6.6 Pantalla moviment automàtic. Font : Elaboració pròpia

Si es selecciona la pantalla de moviment automàtic (Fig.6.6) s'accedeix a la interfície de programació de cicles automàtics. Des d'aquesta pantalla es pot crear, editar i emmagatzemar receptes de seqüències automàtiques a realitzar pel robot, partint d'una posició inicial inclosa a

la trajectòria N° 1. Amb aquesta eina es pot jugar a la vegada que s'aprèn a orientar-se en l'espai cartesià 3D mitjançant l'ús d'un robot angular dependent. Es pot escollir entre moviment lineal i circular, i en cas de seleccionar aquest últim, s'ha d'indicar el centre per a on a de passar el robot per descriure la circumferència.

Les coordenades s'editen a les caselles taronges de la fila "coordenades", el mode lineal o circular a la columna "Mode" i el centre de la circumferència en cas d'escollir moviment circular es farà a la columna "Centre". També es pot pujar les dades externament des del software Microsoft Excel, el qual permet les mateixes comandes. En la fulla d'Excel es poden escriure o llegir valors directament del controlador. Quan s'escriu des de l'Excel les dades que apareixen en pantalla també variaran. El cicle de moviment automàtic està limitat a 300 punts on el primer i l'últim sempre hauran de ser la posició de repòs. Així doncs es compta amb la possibilitat d'executar 298 punts. Si es requerissin més es podria ampliar la matriu de coordenades fins que s'exhaurís la memòria del controlador. No s'han programat més punts per no sobrecarregar aquesta.

En la pantalla de moviment automàtic existeix la possibilitat de generar una gràfica en temps real, la qual obre una pantalla que té el següent format:

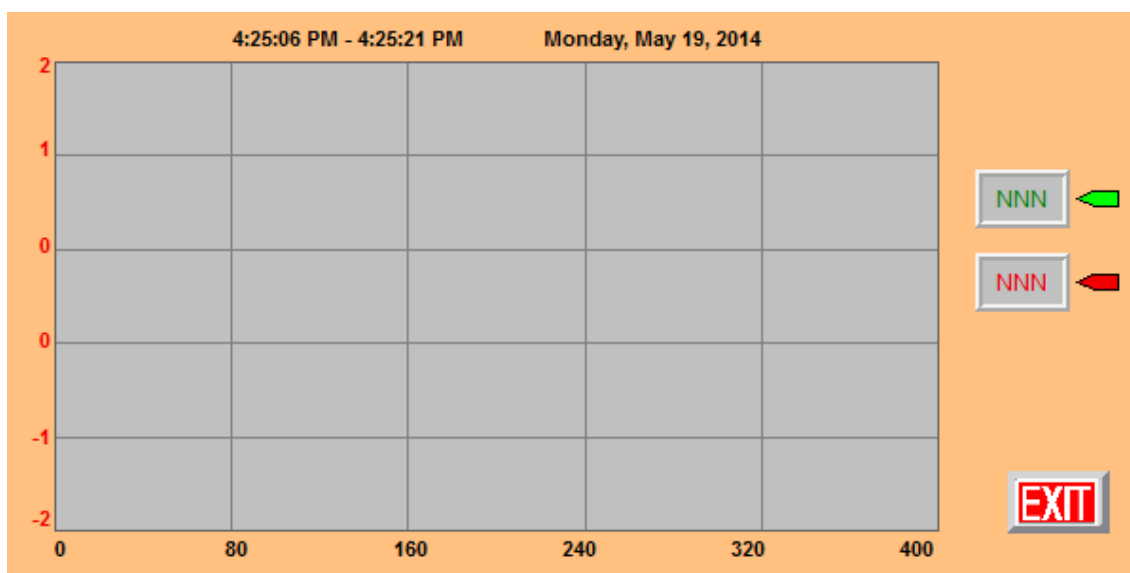


Fig. 6.7 Pantalla del gràfic. . Font : Elaboració pròpia

El que realment mostra aquesta pantalla és una gràfica de l'eix Y dels moviments en temps real del robot (Fig.6.7). El que es visualitza per tant, és la descripció de la translació de l'extrem de l'eix J3 del robot vist en planta.

Un cop detallades les pantalles de moviment s'explicarà la pantalla del quadre de control:

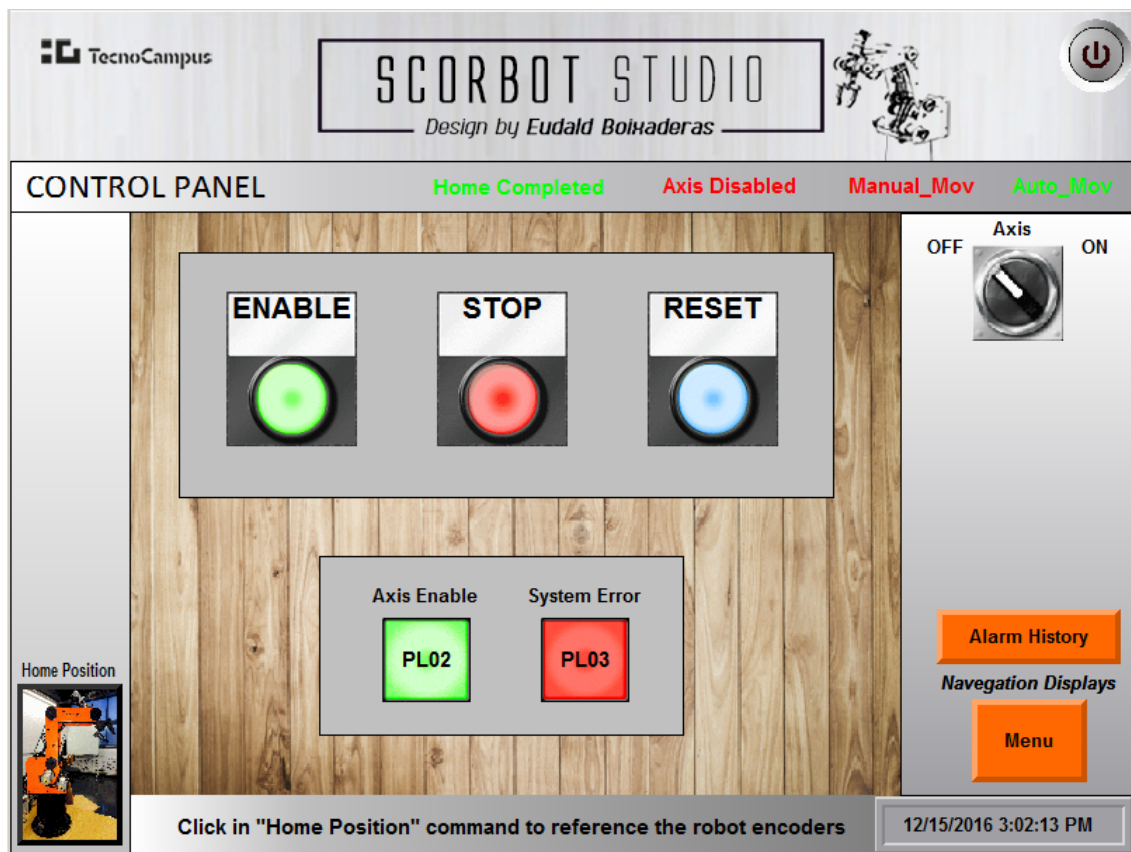


Fig. 6.8 Pantalla quadre de control. Font : Elaboració pròpia

Des de la pantalla de Menú es pot accedir al quadre de control (Fig.6.8). Allà s'hi troba els pulsadors de marxa, aturada i reset. En cas de realitzar una aturada d'emergència amb el bolet de seguretat o amb el pulsador de stop, es requerirà fer un reset al sistema per tal de restablir la normalitat a l'estació de control.

Una vegada realitzat el reset, es disposa del pulsador de marxa per tornar a iniciar el cicle de treball allà a on es va quedar després de l'aturada.

Es disposa també de dos pilots lluminosos, el de color verd informa de l'habilitació dels eixos i el de color vermell indica si l'equip es troba en aturada d'emergència o el robot ha entrat en

falla. També es pot observar un switch en la part superior dreta per habilitar o deshabilitar els eixos, molt útil si l'operari vol moure el braç ell mateix en casos de reparació i/o manteniment.

A continuació es presentarà el baner d'alarmes, el qual té el següent format:

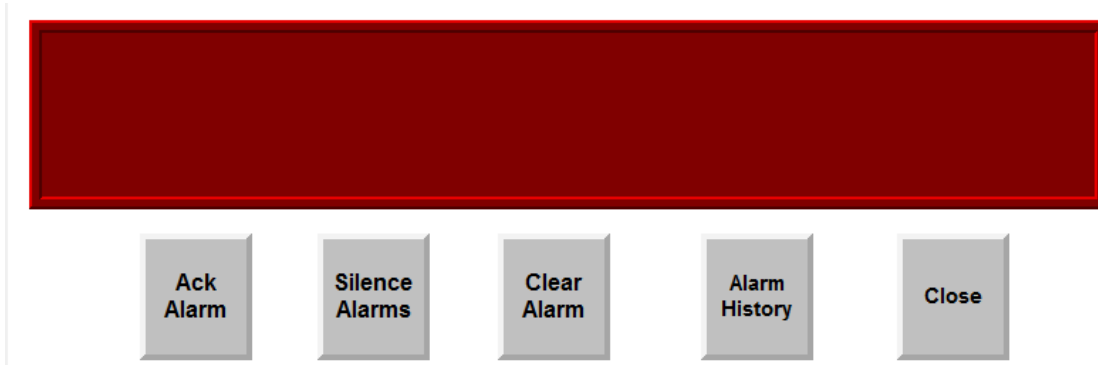


Fig. 6.9 Pantalla de visualització de alarmes. Font : Elaboració pròpia

En cas de produir-se algun error conegut i programat, apareixerà aquest baner informant de la data i hora amb una breu descripció de la falla.

A continuació es mostra una pantalla molt important de la aplicació. Aquesta pantalla que apareixerà en forma de baner abans de apagar el equip o quan des de qualsevol pantalla anterior es demani fer la seqüència de Home. Com es pot observar té dues funcionalitats: Moviment Manual sobre cada motor i botó per a la seqüència de Home. Més endavant en el manual d'usuari s'explicarà com fer un us correcte d'aquesta pantalla.

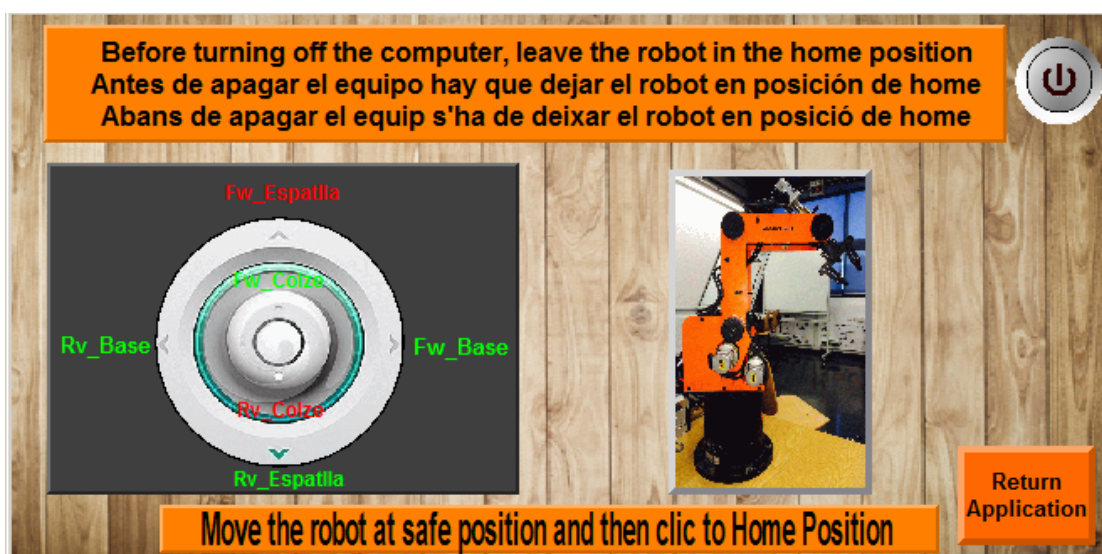


Fig. 6.10 Pantalla de preapagat i home. Font : Elaboració pròpia

Per últim es mostrarà la pantalla de configuració, la qual s'ha esmentat abans que només es pot accedir a ella fent el Login com a professor.



Fig. 6.11 Pantalla de configuració. Font : Elaboració pròpia

6.2.3. Presentació i gestió d'alarmes

Com s'ha observat a l'apartat anterior, aquesta aplicació compta amb un sistema de report d'alarmes, per poder visualitzar totes les alarmes generades durant la utilització del sistema. Per a realitzar aquesta tasca s'ha utilitzat l'eina que ofereix el FactoryTalk View Studio ME, "l'Alarm Setup". [9]

Aquesta eina permet dissenyar quines alarmes es vol que reconegui la interfície gràfica, i per tant, quines alarmes seran mostrades. Prèviament s'ha de crear un tag de format DINT a l'Studio 5000, que en aquest cas s'ha anomenat Alarmes. Aquest tag és una variable de 32 bits, en la qual es pot emmagatzemar el reconeixement de 32 alarmes.

A la casella “Select Trigger” s’ha d’afegir el tag creat al Ladder, el qual serà qui activarà les alarmes programades. Addicionalment s’ha de dir a la casella “Trigger type” que es mapejaran les alarmes per bit, es a dir, cada bit de la variable “Alarmes” en contindrà una.

Una vegada creada la variable, s’accedeix a la subrutina d’alarmes i es programen. Únicament s’ha de condicionar l’habilitació d’un bit al compliment d’un error del sistema o d’aturada d’emergència.

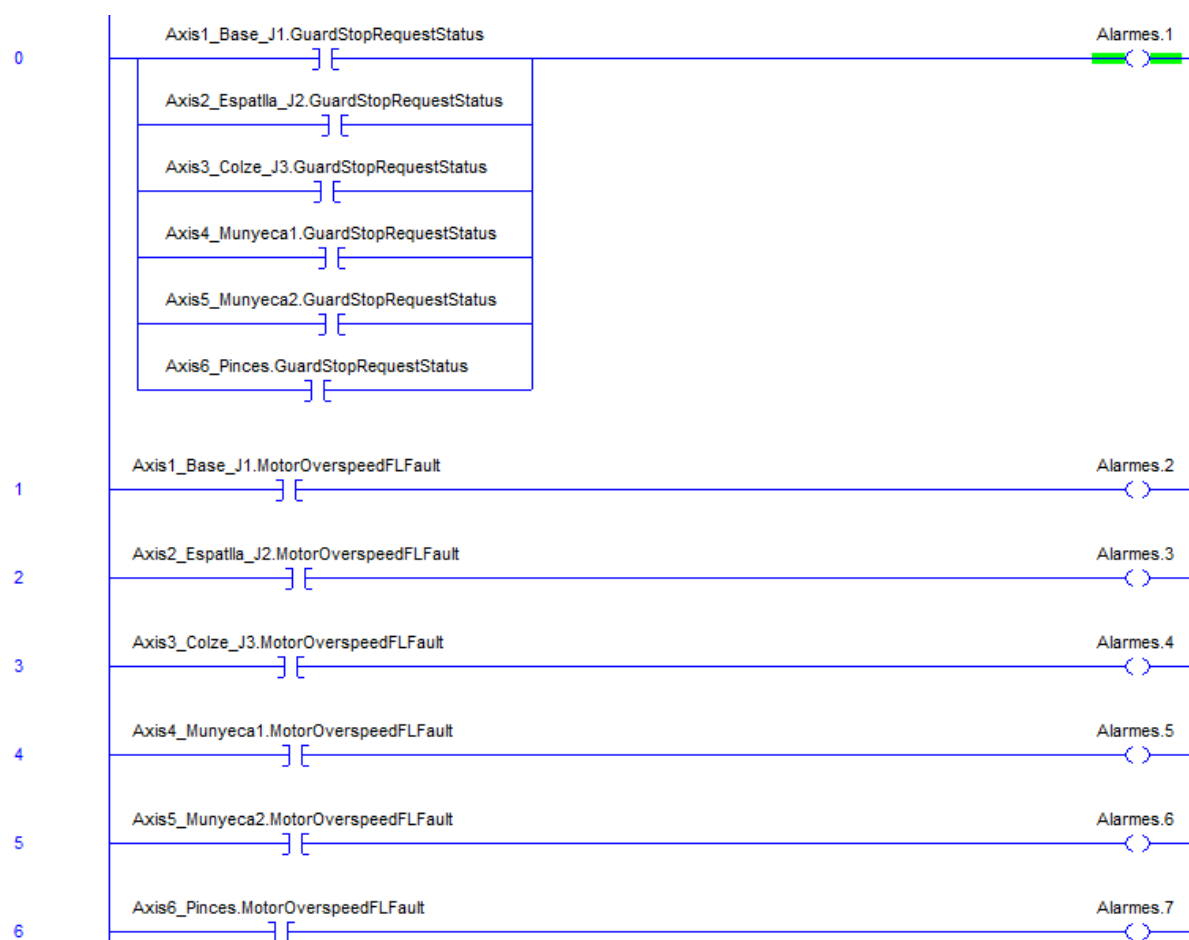


Fig. 6.12 Alarmes programades. Font : Elaboració pròpia

A la figura 6.12 s’observen l’exemple de les 7 primeres alarmes programades a la subrutina d’alarmes del programa Ladder dissenyat a Studio 5000. El bit 1 del tag “Alarmes” s’activarà quan els servodrivs detectin aturada d’emergència (GuardStopRequestStatus) i els bits del 2 al 7 ho faran quan algun dels respectius eixos s’aturi per un excés de velocitat (MotorOverspeedFault).

Una vegada realitzada la programació Ladder, s'ha d'afegir un text descriptiu de l'alarma i fer que la interfície gràfica el reconegui amb la consegüent informació a l'operador de l'aplicació Scrobot Studio.

Per a realitzar aquesta tasca s'ha d'anar de nou a l'Alarm Setup del FactoryTalk View Studio ME i accedir a la pestanya de "Messages". (Fig. 6.13)

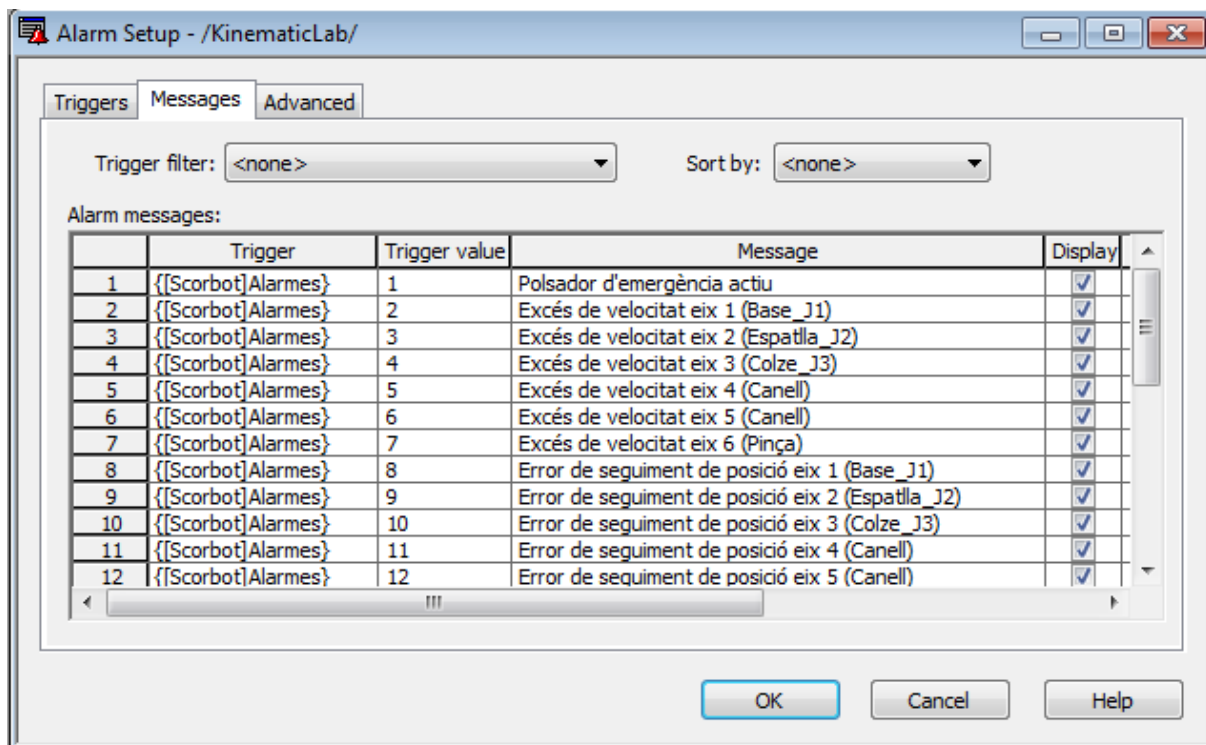


Fig. 6.13 Editar descripció de alarmes. Font : Elaboració pròpia

Dins de la finestra d'edició d'alarmes, s'escull el bit a la casella "Trigger Value" i a continuació s'escriu la descripció desitjada a la casella "Message", abans però s'ha d'indicar a la casella "Trigger" quina és la variable del Ladder que habilita els bits d'alarma.

7. Manual d'usuari de Scorbob Studio

En el següent capítol s'exposen els passos previs i les instruccions necessàries per tal de que qualsevol usuari pugui posar en marxa l'equip de Scorbob Studio.

7.1. Posada en marxa

Es important seguir aquests punts de forma ordenada abans de treballar amb el equip. Prèviament al subministrament de tensió a l'armari de control, hem de tenir present una sèrie de requisits de seguretat:

- El robot SCORBOT ER-III ha d'estar a sobre de la seva taula de treball i a una distància mínima d'uns 20 cm de l'aresta de la mateixa.
- El robot SCORBOT ER-III es troba en una zona de seguretat aïllada de possibles col·lisions amb persones o animals. Es recomana treure la taula de treball fins que el robot no hagi executat la seqüència Home correctament.
- El robot SCORBOT ER-III disposa de la suficient distància entre la taula i l'armari de control per evitar que col·lisió amb el mateix, a la vegada que es permet un moviment lliure de tensions causades pels cables d'alimentació i feedback dels servomotors.
- Assegurar-se que arriba tensió a l'armari de control
- Assegurar-se que tots els connectors de feedback es troben correctament connectats als servo drives Kinetix 350
- Assegurar-se que tots els cables de comunicació Ethernet estan ben connectats al switch.
- Assegurar-se que tots els elements físics es troben en un estat acceptable. No hi ha cap part mecànica trencada, engranatges i corretges es troben en bon estat.
- Els fi de cursa estan correctament connectats i funcionen.

Una vegada s'hagin fet les maniobres de prevenció de riscos ja estem en disposició d'alimentar el hardware de control que es troba a dins de l'armari. Per realitzar aquesta tasca, s'ha d'obrir l'armari de control i connectar l'interruptor magnetotèrmic F01. Addicionalment s'ha d'alliberar el seccionador de seguretat S01, el qual es troba a la part central de la porta de l'armari. Un cop s'ha alimentat el sistema, la subrutina de diagnosi començarà a treballar per detectar si tot el hardware es troba en correcte funcionament i donarà un OK intern per habilitar els eixos. L'operativa de treball d'aquesta diagnosi s'explica a l'apartat 4.3.1 del capítol 4 de la present memòria.

Un cop s'ha donat tensió i ha acabat el diagnòstic abans de començar a executar els moviments s'ha de fer un seguit de passos:

- El robot SCORBOT ER-III no ha de haver superat els fi de cursa del colze, espatlla i base. Aquest punt és importantíssim per al correcte funcionament de la seqüència Home. Si el robot ha superat aquest Fi de cursa s'ha de executar un moviment manual sobre el eix de forma independent per portar-lo a una posició segura abans d'executar la seqüència de Home.
- El programa que té el controlador és el pertinent per a la aplicació que es vol executar.
- Hi ha un operari amb accés immediat al bolet d'emergència per si en la posta en marxa hi ha alguna irregularitat.
- Assegurar-se que el controlador es troba en mode RUN.

En aquest punt ja es podrà començar a utilitzar la interfície gràfica Scrobot Studio. Quan l'operari entri en el Menú haurà de anar al Quadre de control i habilitar els eixos. Un cop habilitat els eixos amb satisfacció apareixerà el missatge Axis Enable en verd en la part superior de la pantalla. Seguidament d'aquesta acció caldrà fer un Home al robot perquè aquest es referencii.

7.2. Ús de la interfície gràfica de Scrobot Studio

Quan s'ha completat tots els passos descrits amb anterioritat ja es pot iniciar la interfície gràfica de Scrobot Studio per començar a treballar amb el robot.

Es pot fer de dues formes, descarregant l'aplicació a un Panel 1250 dels quals disposa el Tecnocampus, ja que la resolució gràfica de l'aplicació s'ha pensat per poder córrer en l'anomenat hardware, o mitjançant un pc. En cas d'escollir el panell tàctil, només s'ha de donar tensió i l'aplicació s'iniciarà automàticament. Prèviament s'ha descarregat l'aplicació amb la software Factory Talk Studio.

En cas d'escollir l'ús d'un pc, s'ha d'obrir el fitxer ScorbotStudio.mer. Per realitzar aquesta operació, s'ha de fer doble clic al fitxer i seguir els següents passos:

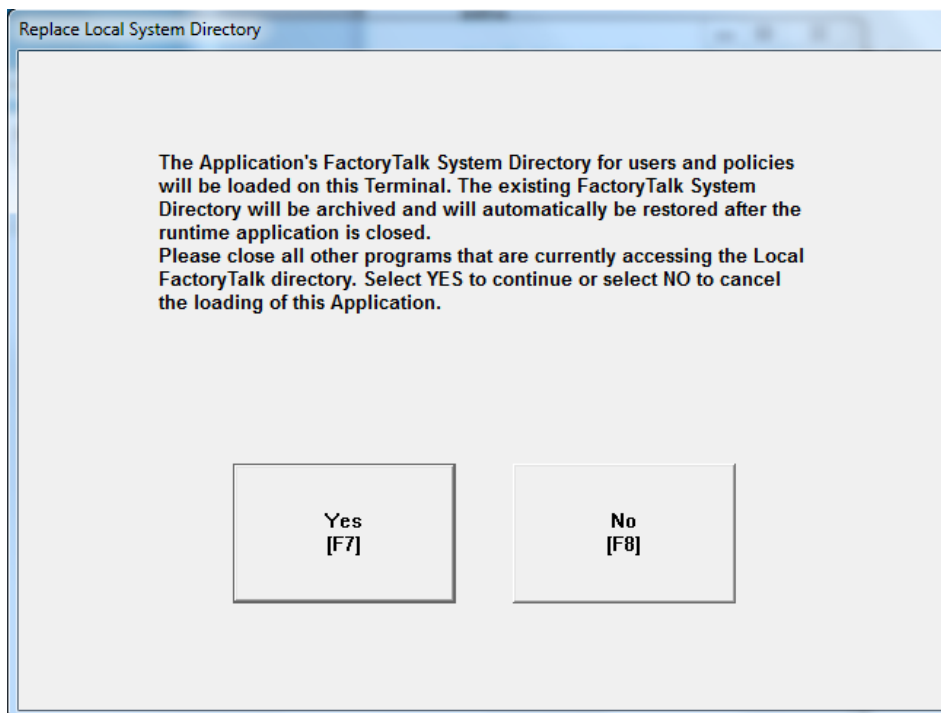


Fig. 7.1 Finestra Factory Talk System Directory. Font : Elaboració pròpia

Una vegada s'ha fet doble clic al fitxer de Scorbot Studio començarà a carregar l'aplicació i apareixerà un missatge recordant que s'han de tancar totes les aplicacions de Rockwell que puguin interferir en el correcte funcionament de l'aplicació (Fig.7.1) .S'ha de fer clic a "Yes" i apareixerà el menú d'inici com si d'un Panel es tractés, de fet s'està iniciant un panell d'operador virtual. S'ha de fer al botó "Run Application" i s'obrirà l'aplicació Scorbot Studio.

S'obrirà la aplicació per la pantalla de inici presentada anteriorment, s'haurà de fer clic per iniciar la aplicació. Automàticament apareixerà el menú de selecció i la primera acció que haurà de fer el usuari és seleccionar la opció de Control Panel. D'aquesta forma s'accedirà a la pantalla de quadre de control (Fig. 6.8) on s'haurà de moure el interruptor dels Axis en modo On i acte

seguit fer clic en el botó de Enable. Si els motors no s'activessin s'ha de comprovar que la parada de emergència no esta activada. Si tot i així no s'activés el sistema cal oprimir el botó de reset i fer un altre cop els passos en el quadre de control.

Un cop els eixos estan activats s'ha de fer clic sobre el botó de Home de la part inferior esquerra de la pantalla. S'obrirà una pantalla més petita amb un Joystick i un boto de home (Fig. 6.10). Cal observar si el robot ha superat els fi de cursa de l'espatlla, colze o base. Es molt important aquest pas, si el robot s'ha passat algun fi de cursa s'ha de portar a una posició segura amb el Joystick abans de executar la seqüència de Home. Un cop el robot es trobi dins de l'àrea de treball (ningun dels seus components sobrepassa la lleva del fi de cursa) es podrà executar la seqüència de Home amb el botó de Home d'aquesta pantalla. Després es retornarà al menú i ja es podrà treballar amb el robot. És molt important que abans de apagar l'equip es torni a fer aquesta comprovació i es deixi l'equip en posició de repòs.

7.3. Interacció amb Microsoft Excel

A continuació s'explicarà com fer funcionar l'eina Microsoft Excel per tractar les coordenades del moviment automàtic del robot:

Obrir el RSLINX. Aquest programa s'assegura una passarel·la de comunicació entre el PC i la CPU del robot, romandrà obert i minimitzat durant tot el treball amb aquest. Clic boto dret sobre el controlador → Configure New DDE/OPC Topic (Fig. 7.2)

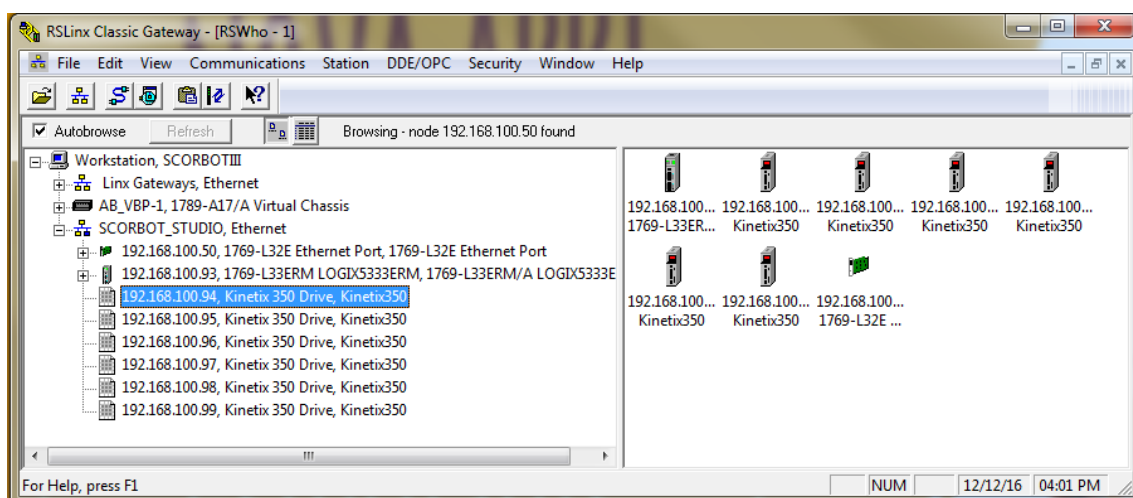


Fig. 7.2 Pantalla comunicació RsLinx. Font: Elaboració pròpia.

S'obrirà aquesta pestanya:

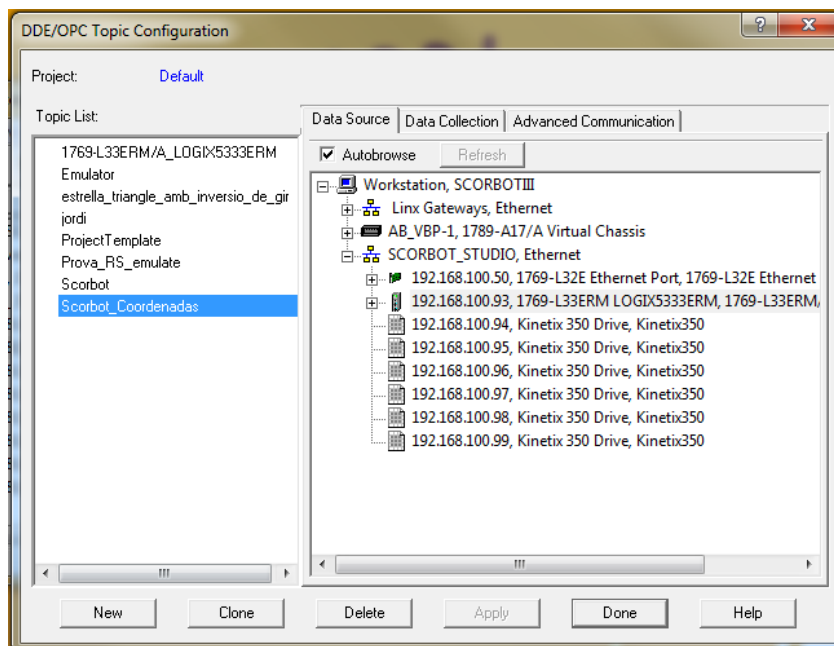


Fig. 7.3 Configuració del Topic. Font: Elaboració pròpia.

Clic en New i es crearà un Topic nou que s'ha de dir Scorbot_Coordenadas. És important que el Topic tingui el mateix nom que el arxíu Excel amb el que es treballarà. S'apliquen els canvis amb el botó Apply i es fa clic al botó Done.

Sense tancar RSLinx s'obrirà el Excel Scorbot_Coordenadas. Un cop obert el Microsoft Excel potser que a la part superior aparegui aquest missatge. S'ha de habilitar el contingut per pujar les coordenades al controlador.

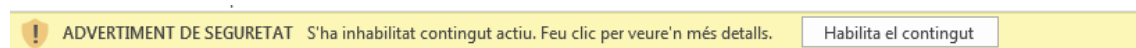


Fig. 7.4 Missatge per habilitar el contingut. Font: Elaboració pròpia.

Quan s'habiliti el contingut sorgirà una finestra amb el següent missatge recordatori:

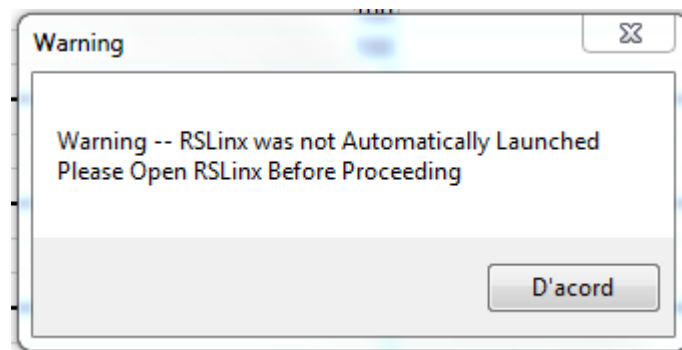


Fig. 7.5 Missatge d'avís. Font: Elaboració pròpia.

Si l'usuari ha tancat RSLinx l'ha d'obrir de nou. Però al principi d'aquest capítol s'ha explicat que no es pot tancar el programa RSLinx.

Un cop s'accepta aquest missatge assegurant que RSLinx esta obert podrem començar a treballar amb el Microsoft Excel per definir punts del moviment automàtic del robot. Per treballar amb el Excel es farà de la següent manera.

Com es pot observar hi ha dos accions a fer:

- Llegir els punts que hi ha actualment en el controlador (LEER).
- Escriure punts en el controlador per a la seqüència del moviment automàtic (ESCRIBIR).

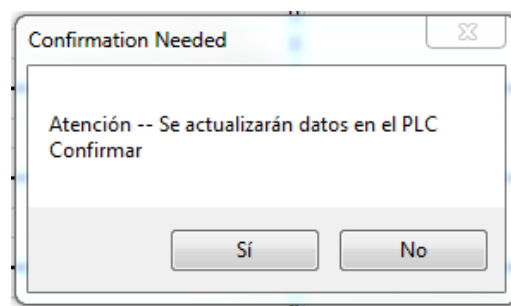


Fig. 7.6 Advertència d'escriptura. Font: Elaboració pròpia.

Al escriure s'ha de confirmar la escriptura tal i com indica la Fig. 7.6

En el **moviment lineal** és important que el Pas 0 – Posició Repòs sigui X: **220** Y: **0** Z: **220** i el últim pas sigui X: **0** Y: **0** Z: **0**. També es aconsellable que el penúltim moviment sigui la posició de repòs X: **220** Y: **0** Z: **220**.

Scorbot_Coordenadas	LEER	ESCRIBIR		
TAGS Moviment Lineal				
Taula_Trajectoria[0].Coordenada[0]	220	220	Coordenades Eix X	Pas 0 - Posició Repòs
Taula_Trajectoria[0].Coordenada[1]	0	0	Coordenades Eix Y	
Taula_Trajectoria[0].Coordenada[2]	0	0	Coordenades Eix Z	
Taula_Trajectoria[1].Coordenada[0]	200	200	Coordenades Eix X	Pas 1
Taula_Trajectoria[1].Coordenada[1]	200	200	Coordenades Eix Y	
Taula_Trajectoria[1].Coordenada[2]	0	0	Coordenades Eix Z	
Taula_Trajectoria[2].Coordenada[0]	200	200	Coordenades Eix X	Pas 2
Taula_Trajectoria[2].Coordenada[1]	100	100	Coordenades Eix Y	
Taula_Trajectoria[2].Coordenada[2]	0	0	Coordenades Eix Z	

Fig. 7.7 Tags Moviment lineal. Font: Elaboració pròpia.

En el **moviment Circular** és important que el Pas 0 – Posició Repòs sigui Interpolació: **0** X: **0** Y: **0** Z: **0**. En cada moviment que es vulgui un moviment circular s’haurà de posar el bit de Interpolació a 1 i donar les coordenades X,Y,Z del centre de la circumferència que es vol.

Scorbot_Coordenadas	LEER	ESCRIBIR		
TAGS Moviment Circular				
Taula_Trajectoria[0].Interpolacio	0	0	Interpolació	Pas 0 - Posició Repòs
Taula_Trajectoria[0].Centre[0]	0	0	Coordenades Eix X	
Taula_Trajectoria[0].Centre[1]	0	0	Coordenades Eix Y	
Taula_Trajectoria[0].Centre[2]	0	0	Coordenades Eix Z	
Taula_Trajectoria[1].Interpolacio	0	0	Interpolació	Pas 1
Taula_Trajectoria[1].Centre[0]	0	0	Coordenades Eix X	
Taula_Trajectoria[1].Centre[1]	0	0	Coordenades Eix Y	
Taula_Trajectoria[1].Centre[2]	0	0	Coordenades Eix Z	
Taula_Trajectoria[2].Interpolacio	0	0	Interpolació	Pas 2
Taula_Trajectoria[2].Centre[0]	0	0	Coordenades Eix X	
Taula_Trajectoria[2].Centre[1]	0	0	Coordenades Eix Y	
Taula_Trajectoria[2].Centre[2]	0	0	Coordenades Eix Z	

Fig. 7.8 Tags Moviment lineal. Font: Elaboració pròpia.

8. Planificació

Aquesta és la taula de tasques que té la planificació:

Codi	Nom de la tasca	Duració	Inici	Final	Predecessores
A	Definir els requeriments de l'usuari	9 hrs	Mon 08/08/16	Tue 09/08/16	-
B	Revisió de les especificacions del disseny funcional	18 hrs	Wed 10/08/16	Sat 13/08/16	1
C	Definir les especificacions del disseny del software	39 hrs	Sat 13/08/16	Tue 23/08/16	2
D	Programació del software de l'Scorbot Studio	350 hrs	Tue 23/08/16	Fri 18/11/16	3
E	Test funcionament aplicació	30 hrs	Fri 18/11/16	Fri 25/11/16	4
F	Posada en marxa manual	6 hrs	Fri 25/11/16	Sat 26/11/16	5
G	Posada en marxa automàtica	21 hrs	Fri 16/12/16	Wed 21/12/16	10
H	Compres	2 wks	Tue 23/08/16	Mon 12/09/16	3
I	Disseny de l'útil de l'eina i suport d'escriptura	25 hrs	Sat 26/11/16	Wed 30/11/16	3
J	Fabricació de l'útil de l'eina i suport d'escriptura	50 hrs	Wed 30/11/16	Fri 16/12/16	9;8
K	Escrit de memòria	60 hrs	Wed 21/12/16	Thu 05/01/17	7
L	Revisió de la documentació	10 hrs	Thu 05/01/17	Mon 09/01/17	11

Taula 8.1 Tasques de la Planificació. Font : Elaboració pròpia

Definir requeriments de l'usuari: Avaluar quins requeriments d'usuari té aquest projecte. Captar les necessitats de l'usuari final per tal d'enfocar tota la solució tècnica per facilitar el treball del robot als usuaris.

Revisió de les especificacions del disseny funcional: Revisió de la relació d'entrades, sortides, elements que intervenen i les seves relacions, així com de les configuracions prèvies del equip per tal de assegurar que tot funcioni abans de posar-se a programar.

Definir les especificacions del disseny de software: Estructuració del software: definició de rutines, add-ons, llenguatges, etc.

Programació del software de l'Scorbot Studio: Disseny del software de control de moviment i de la interfície de programació. Seqüències de home (50h) , manuals (100h) i automàtiques (100h). Configuració de la seguretat de par i acotament dels graus dels motors (100h). Com es pot observar en el plano d'execució aquesta tasca va ser interrompuda per el mal funcionament de la reductora.

Test de funcionament de la aplicació: Test dels programaris dissenyats (simulació) abans de la posada en marxa real.

Posada en marxa manual: Prova del procés de moviment manual. Comprovació de moviments independents sobre cada eix. Comprovació de l'espai de treball i l'acotació. Comprovació de seguretat d'aquesta funcionalitat.

Posada en marxa automàtica: Prova física de tot el procés automàtic, des de la introducció de les dades de la seqüència a seguir fins les comprovacions de paràmetres de seguretat. En aquesta posada en marxa no només es mirarà que funcioni degudament l'aplicació sinó que s'induirà a l'equip a possibles falles que puguin sorgir mentre els usuaris utilitzen aquesta funció per veure com es comportarà l'equip. En cas de fer algun ajust aquest serà el moment.

Compres de material: Aquesta tasca es contempla perquè és important tenir en compte el temps que costa elaborar una compra, des de la proposició del pressupost a la universitat fins a la compra final hi ha certs tràmits que més que difícils són temporals, per això es dóna un marge a les compres i s'inclouen dins la planificació.

Disseny de l'útil de l'eina i el suport d'escriptura: En aquesta tasca es preveu dissenyar l'útil que utilitzarà l'eina per subjectar el retolador i també tot el disseny referent al suport d'escriptura que es vol implementar per al robot.

Fabricació de l'útil de l'eina i el suport d'escriptura: Després del disseny prèviament explicat, s'haurà de dur a terme la fabricació tant de l'útil per a l'eina, el qual es fabricarà de plàstic amb ajuda d'una impressora 3D i també la fabricació del suport d'escriptura, el qual es fabricarà de fusta i s'adaptarà a les mides de la taula.

Escrit de la memòria: Tot i que el redactat de la memòria es va elaborant durant tot el projecte, es vol fer constància d'aquesta tasca i es destinen certes hores a fer l'escrit amb els seus consegüents paràgraf i explicacions per tal de aportar un document tècnic que doni explicació detallada de tot el treball que s'ha dut a terme durant el Projecte Scorbot Studio.

Revisió de la documentació: Revisió de tota la documentació del projecte. Revisar el format d'entrega, estil d'escriptura i altres punts que apareixen a les rubriques d'avaluació.

A continuació s'exposarà primer la planificació que es va fer durant l'avantprojecte i després el plano d'execució. Com es pot comprovar hi ha diferències entre els dos. Aquestes diferències venen principalment donades per la reparació de la reductora de l'espalla. En l'apartat 11.2 de la present memòria s'explicarà detalladament els desviaments de planificació i com ha sigut l'execució d'aquest projecte.

Tot i l'imprevist de la reductora el projectista ha pogut complir amb el termini d'entrega establert en l'avantprojecte. Ha reorganitzat les tasques per tal de no parar de treballar durant el mes de reparació de la reductora.

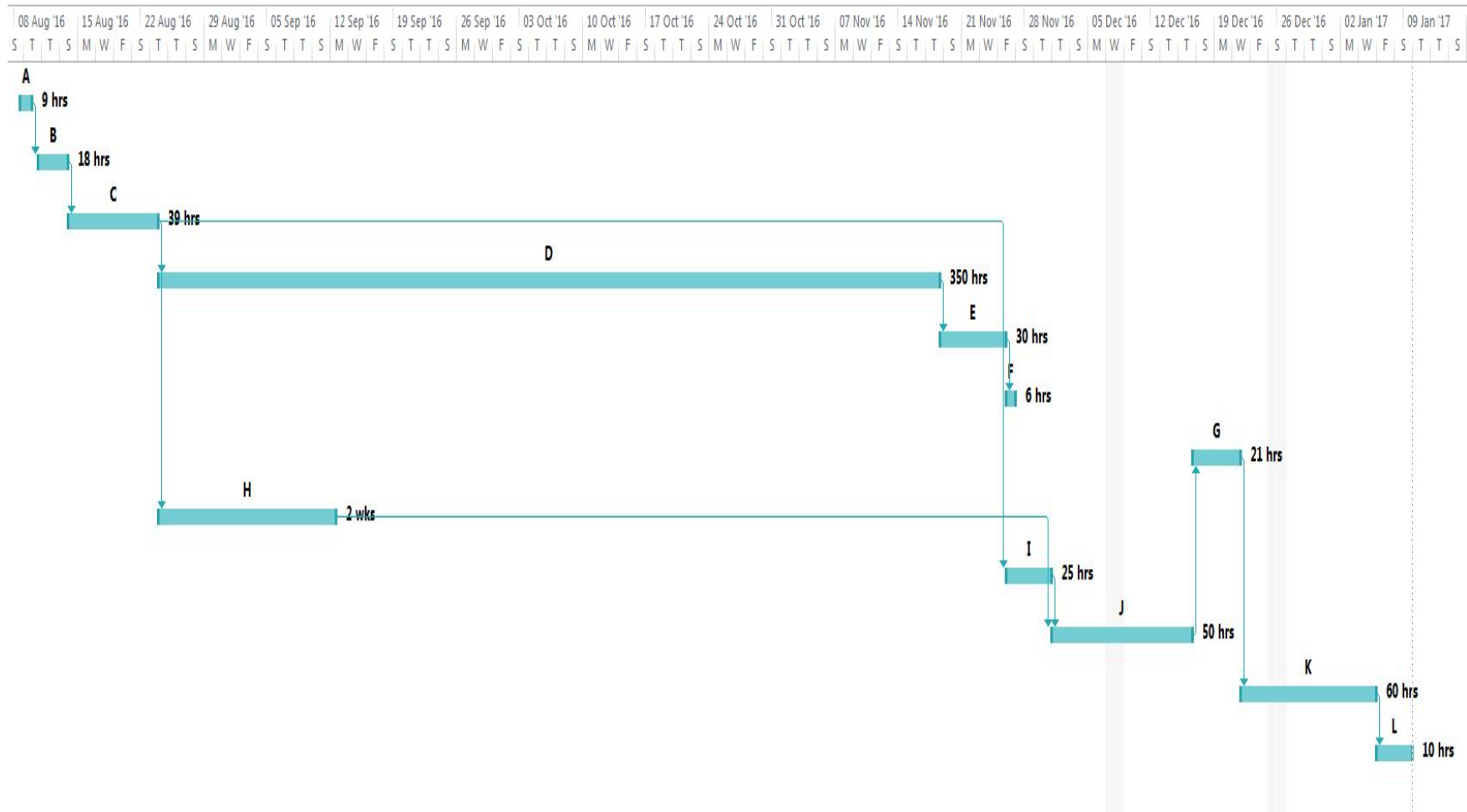


Fig. 8.1 Planificació del projecte

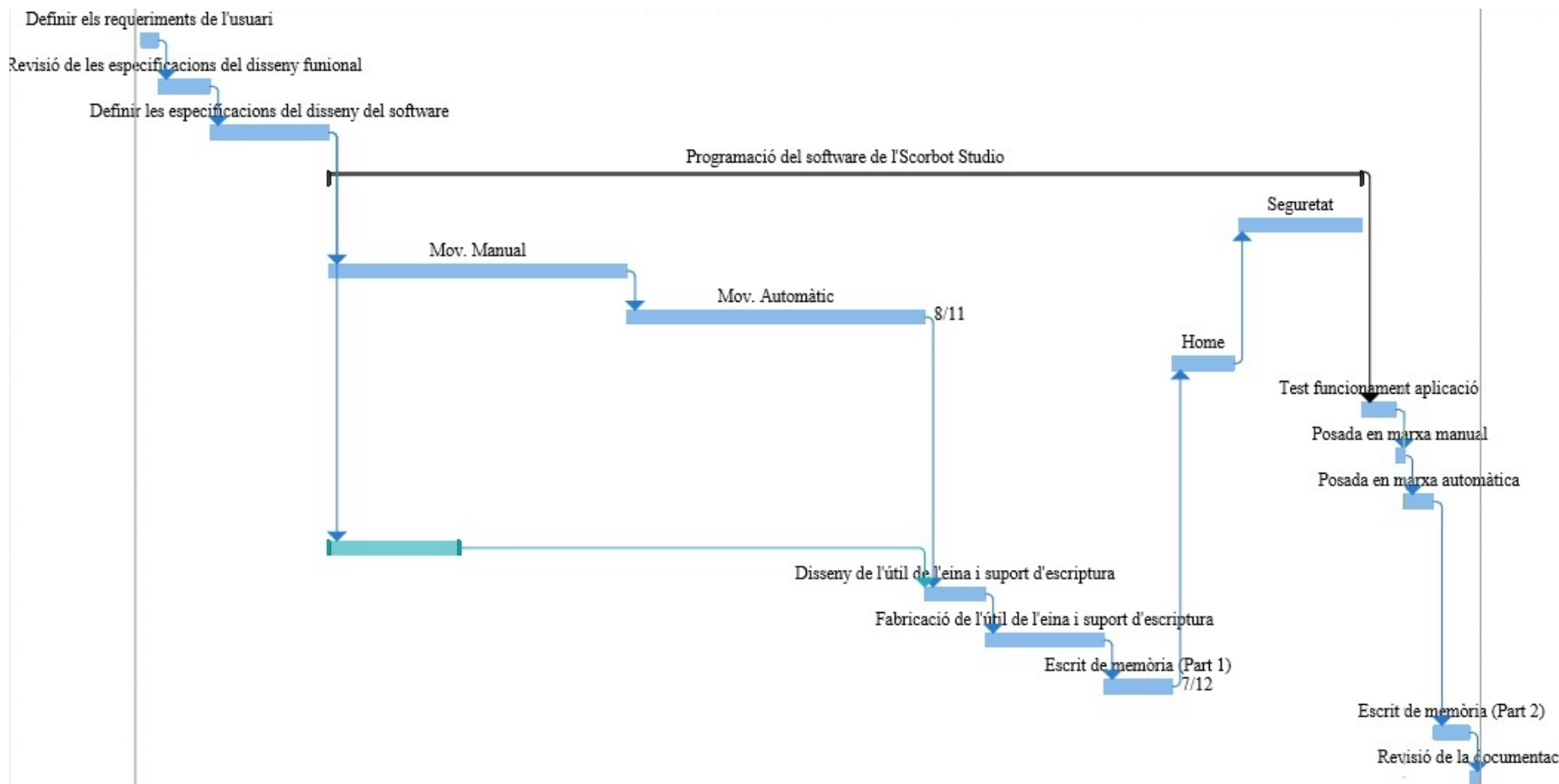


Fig. 8.2 Execució del projecte

9. Pressupost

Abans de començar a detallar el pressupost del projecte es vol fer una menció a que aquest projecte ha sigut possible per l'elaboració de dos projectes anteriors. El primer projecte amb un pressupost de 22.932,46 € va ser elaborat per Marc Figueres Casas mencionat anteriorment. El segon projecte amb aquest equip va ser elaborat per Alejandro Muñoz Serrano amb un pressupost total de 32.524,8 €.

9.1. Amidaments

Capítol I: Costos d'enginyeria		
Codi	Descripció	Parts iguals
1.1	Definir els requeriments de l'usuari	9
1.2	Revisió de les especificacions del disseny funcional	18
1.3	Definir les especificacions del disseny del software	39
1.4	Programació del software de l'Scorbot Studio	350
1.5	Test funcionament aplicació	30
1.6	Posada en marxa manual	6
1.7	Posada en marxa automàtica	21
1.9	Disseny de l'útil de l'eina i suport d'escriptura	25
1.10	Fabricació de l'útil de l'eina i suport d'escriptura	50
1.11	Escrit de memòria	60
1.12	Revisió de la documentació	10

Taula 9.1 Hores destinades al capítol I. Font: Elaboració pròpia

Capítol II: Material		
Codi	Descripció	Parts iguals
2.1	Material d'oficina	10
2.2	Impressió dels documents del projecte	200

Capítol II: Material		
Codi	Descripció	Parts iguals
2.3	Enquadernació dels documents del projecte	1
2.4	Material del suport d'escriptura	1
2.5	Material per l'útil de l'eina	2

Taula 9.2 Amidaments del capítol II (Material). Font: Elaboració pròpia

9.2. Quadre de preus

Capítol I: Costos d'enginyeria		
Codi	Descripció	Preu unitari (€)
1.1	Hores	20
1.2	Hores	20
1.3	Hores	20
1.4	Hores	50
1.5	Hores	50
1.6	Hores	50
1.7	Hores	50
1.8	Hores	50
1.9	Hores	50
1.10	Hores	20
1.11	Hores	20
1.12	Hores	20

Taula 9.3 Preus unitaris del capítol I. Elaboració pròpia

Capítol II: Material		
Codi	Descripció	Preus unitari (€)
2.1	Material d'oficina	20

Capítol II: Material		
Codi	Descripció	Preus unitari (€)
2.2	Impressió dels documents del projecte	0.08
2.3	Enquadernació dels documents del projecte	6
2.4	Material del suport d'escriptura	75
2.5	Material per l'útil de l'eina	20

Taula 9.4 Preus unitaris del material del Capítol II. Font: Elaboració pròpia.

9.3. Pressupost Parcial

Es tenen en compte un costos indirectes estimats en un 5 % i un 15 % d'imprevistos al Capítol II i un 25 % de marge en el Capítol I.

Capítol I: Costos d'enginyeria				
Codi	Descripció	Parts iguals	Preu unitari (€)	Import (€)
1.1	Definir els requeriments de l'usuari	9	20	180
1.2	Revisió de les especificacions del disseny funcional	18	20	360
1.3	Definir les especificacions del disseny del software	39	20	780
1.4	Programació del software de l'Scorbot Studio	350	50	17500
1.5	Test funcionament aplicació	30	50	1500
1.6	Posada en marxa manual	6	50	300
1.7	Posada en marxa automàtica	21	50	1050
1.8	Disseny de l'útil de l'eina i suport d'escriptura	25	50	1250
1.9	Fabricació de l'útil de l'eina i suport d'escriptura	50	50	2500
1.10	Escrit de memòria	60	20	1200
1.11	Revisió de la documentació	10	20	200
1.12	Definir els requeriments de l'usuari	9	20	180
Costos indirectes				
1.13	Costos indirectes		6.750 €	

Taula 9.5 Costos del capítol I. Font: Elaboració pròpia.

TOTAL DEL CAPÍTOL I (25% marge) = 33.750 €

Capítol II: Material				
Codi	Descripció	Unitats totals	Preus unitari (€)	Import (€)
2.1	Material d'oficina	10	20	200
2.2	Impressió dels documents del projecte	200	0.08	16
2.3	Enquadernació dels documents del projecte	1	6	6
2.4	Material del suport d'escriptura	1	75	75
2.5	Material per l'útil de l'eina	2	20	40
2.6	Reparació de la reductora	1	190	190
Costos indirectes				
2.7	Costos indirectes de material		26,35 €	

Taula 9.6 Costos del capítol II. Font: Elaboració pròpia

TOTAL DEL CAPÍTOL II (5 % imprevistos) = 553,35 €

Capítol III: Amortitzacions				
Codi	Descripció	Cost inversió	N (anys)	€/6
3.1	Ordinador	1000	5	33,33
3.2	Software MS-Office Project	300	3	16,66
3.3	Software Rockwell Automation	385,32	1	64,22

Taula 9.7 Costos Capítol III. Font : Elaboració pròpia

TOTAL CAPÍTOL III = 114,22 €

9.4. Pressupost Global

Total Capítol I	33.750€
Total Capítol II	553,35€
Total Capítol III	114,22€
<hr/>	
TOTAL	34.417,57€
IVA 21%	7.227,69€
TOTAL PRESSUPOST	41.645,26 €

Les desviacions del pressupost queden detallades en l'apartat 11.1 de l'actual memòria.

10. Impacte mediambiental

Aquest és un projecte on majoritàriament es programarà un software i es farà servir en terminals ja construïts i manufacturats per empreses especialitzades, en les quals ja s'ha fet prèviament un estudi sobre aquest tema.

Hi ha molts altres factors que no s'han tingut en compte perquè el projecte s'ha implementat al laboratori de la universitat, per tant no hi ha cap mena de construcció o edificació la qual pugui provocar algun tipus d'impacte o afectar al medi ambient. La única estructura fabricada és la taula de treball que s'ha elaborat amb fustes i l'eina de la pinça que s'ha elaborat de plàstic de impressora 3D per si s'hagués de refer el útil, poder reciclar aquest plàstic per una altre impressió.

L'impacte ambiental d'aquest projecte és bastant reduït ja que es tracta d'un projecte de recerca i programació, més que orientat a la producció a gran escala. Al capítol 6.3 del corresponent avantprojecte s'analitzen els residus que genera la plataforma hardware utilitzada així com l'energia consumida durant el projecte en forma d'electricitat.

Es pot considerar com a definitiu l'estudi de pre-avaluació d'impacte ambiental realitzat a l'apartat 6.3 del capítol 6 del corresponent avantprojecte.

11. Conclusions i futures línies de treball

Començarem aquest apartat comentant les desviacions de pressupost i de planificació esmentades en el capítol 3.5.9 , el capítol 8 i el capítol 9 d'aquesta memòria. Després es detallaran les conclusions extretes de l'elaboració d'aquest projecte i per acabar s'anotaran diferents futures línies de implementació que podrien ser interessants cara als següents projectes amb aquest equip.

11.1. Desviacions de pressupost

En aquest projecte hi ha hagut una desviació de 369,92€ que és detallarà a continuació:

Com es pot observar el total del capítol 1 del pressupost no varia respecte al previst en l'avantprojecte. Aquest capítol comporta un total de 33.750 € aplicant-li un 25% de marge.

En el capítol 2, el material, s'havia previst un cost de 311,85 € i finalment la xifra ha sigut de 553,35€. Aquesta diferència de preu ha vingut donada per la necessitat de reparar una reductora que durant la programació s'ha vist que estava malmesa. Així doncs hi ha una desviació de 241,5 € en aquest capítol.

En el capítol 3, les amortitzacions, s'havia previst un cost de 50€ i finalment la xifra ha sigut de 114,22 €. Aquesta diferència de preu ha vingut donada perquè l'avantprojecte es va contemplar que el software de Rockwell Automation el prestava la universitat i en la correcció d'aquest es va decidir que aquest projecte també havia de contemplar el cost del software. Així doncs després de l'explicació del preu del software a l'apartat 3.5.9 d'aquest document hi ha una desviació de 64,22 € en aquest capítol.

Així doncs si s'observa el pressupost total de l'avantprojecte (41.275,34 €) i el pressupost total d'aquest projecte (41.645,26 €) s'observa que la desviació total entre el pressupost previst i el real és de 369,92 €. Aquesta desviació surt del total de les desviacions dels dos capítols esmentats (305.72 €) i la aplicació del iva sobre aquestes desviacions (64,20 €).

11.2. Desviacions de la planificació

Com es pot observar en l'apartat 8, hi ha diferències entre la planificació que es va fer en l'avantprojecte i el pla d'execució d'aquest projecte. Cal remarcar que la planificació que s'havia fet en l'avantprojecte era prou bona, perquè s'ha patit una desviació d'un mes a causa de la ruptura de la reductora i s'ha pogut entregar en el termini el projecte.

Primerament s'ha desglossat la tasca D de l'avantprojecte, per tal d'aclarir el temps que s'ha dedicat a cada part de la programació. Per altre banda és veu una alteració de l'ordre de les tasques. Aquest fet es deu a que durant l'execució de la tasca de programació del software de l'Scorbot Studio el projectista va detectar un mal funcionament en la reductora de l'espatlla que va suposar la reparació d'aquesta. Sense aquesta peça treballant com cal el robot no funcionaria correctament.

La reparació de la reductora va durar des del **8/11/2016** fins el **7/12/2016** gairebé un mes. Durant aquest mes estava previst que el projectista acabes la programació, fes el test de l'aplicació i la posada en marxa. Apart comencés el disseny i la fabricació de l'útil de l'eina i el suport d'escriptura.

Com el robot és incapaç de fer moviments coordinats sense el motor de l'espatlla, el projectista no va poder seguir la planificació acordada i va tenir que refer-la, tal i com es mostra en el pla d'execució. Es van avançar les tasques I i J, el disseny i la fabricació de l'útil de l'eina i el suport d'escriptura, ja que no depenien d'haver acabat la programació del robot. Així dons un cop es trenca la reductora el projectista apleça el que queda de programació del robot i executa les tasques I i J el dia 9/11/16. Un cop superades amb satisfacció en el temps previst, comença a redactar la present memòria escrivint els processos ja completats d'aquest projecte.

El dia 7/12 es notifica que la reductora està llesta i es procedeix a la instal·lació d'aquesta. A partir d'aquí el projectista para d'escriure memòria per acabar la programació del robot. Seguidament executa les tasques descrites a l'avantprojecte com E, F i G i un cop acaba aquestes tasques que requerien la reductora espatllada, segueix redactant el final d'aquesta memòria.

Per acabar fa la revisió de tota la documentació i prepara la edició física del projecte.

11.3. Conclusions

Al finalitzar aquest projecte s'han extret un llistat de conclusions que s'exposen a continuació:

- S'ha realitzat amb èxit el disseny d'un nou sistema de control per al braç robòtic SCORBOT ER-III, utilitzant el software de Rockwell Automation. La pre-configuració que hi havia al equip, realitzada a la versió de KinematicLab, ha servit de punt d'inici de la actual aplicació que permet un control professional del robot. Aquest control permet interactuar amb la mecànica, fent possible l'edició de receptes automàtiques en línia, realitzar moviments lineals en els eixos cartesianes, a la vegada que escollim una velocitat de treball i el tipus de moviment a descriure (lineal o circular). L'equip està dotat d'una rutina de diagnosi dels equips hardware, la qual realitza un control exhaustiu de l'estat de l'equip i actua en funció. A més, s'ha afegit una seguretat extra inexistente fins ara que permet a l'equip encaixar en l'àmbit educacional de forma més segura. En aquest apartat, podem dir que s'han assolit els requeriments d'usuari indicats a l'avantprojecte i que l'èxit de l'operació és satisfactori.
- S'han hagut d'ajustar la limitació del par i recorregut dels servomotors, degut a que a la versió de KinematicLab no hi havia cap tipus de limitació. Aquest fet ha donat a la mecànica d'una seguretat extra i ha ajudat a obtenir uns moviments més precisos i suaus.
- La posició de referenciat anterior i la seqüència d'home eren errònies, per tal de dotar a l'equip d'una posició de repòs còmode i evitar possibles danys en l'estructura mecànica del robot, s'ha modificat la posició física de la lleva de homing de l'eix de l'espatlla i el colze. També s'ha refet tota la seqüència de Home. És molt important conèixer els límits de treball del robot i oferir una dinàmica de moviment còmode i lliure de tensions.
- Cal destacar la dificultat que té aquest projecte en quant a coneixements i competències dels diferents camps, es partia d'uns coneixements teòrics assolits al llarg de la carrera estudiantil però amb poca experiència en projectes pràctics i l'execució d'aquests. Com a conclusió d'aquest apartat, cal indicar que quan no es disposa del suficient coneixement pràctic d'un determinat camp tecnològic, s'han de pronosticar objectius amb caràcter prudent.
- És recomana al centre que un especialista en Enginyeria Mecànica revisi la mecànica del robot ja que s'observen alguns detalls (Corretges amb poca tensió, moviments descontrolats donats per les reductores...) que fan pensar que cal una revisió i posada a punt de la mecànica de l'equip.

11.4. Futures línies de treball

Com a conseqüència d'un projecte, sempre apareixen noves idees i millores per tal d'incrementar la qualitat del sistema, entre les quals es suggereixen les següents:

- La més rellevant de les futures implementacions que s'han observat és la implementació d'una botonera més pròxima al usuari que treballa sobre la taula on hi ha l'ordinador. És complicat que si l'usuari es troba a la cadira manipulant l'aplicació des de l'ordinador arribi ràpidament a l'armari a la parada d'emergència. Totes les proves efectuades en aquest projecte s'han dut a terme amb la ajuda d'un segon operari disposat davant de l'armari per si el robot feia un moviment indesitjat. Això ha demorat les proves de comprovació perquè sempre s'havia de buscar un segon operari per aquestes tasques.
- Canviar el magnetotèrmic actual de l'armari per un més funcional. El magnetotèrmic actual no està dissenyat per usar-se amb la freqüència que s'ha usat en aquest projecte i es pronostica que acabarà danyant el sistema elèctric. Es proposa un botó més funcional i extern a l'armari per tal que els usuaris no hagin d'accedir on es troba tot el cablejat del equip.
- L'estudi de seguretat a mida de l'equip i les seves funcionalitats futures amb una possible implementació d'un sistema GuardLogix per a tasques de seguretat. La implementació de barreres de seguretat que delimitessin l'espai de treball i que activessin una seqüència de seguretat en cas de detectar l'entrada d'un objecte o usuari en l'espai de treball del robot quan aquest estigues operatiu.
- La implementació d'un fi de cursa al extrem oposat del colze per determinar una posició d'Home de la pinça, ja que actualment el posicionament de la pinça es fa manualment i a ull.
- Aprofitar el sistema actual com a referència per adaptar l'altre robot Scorbot existent al laboratori. Es disposa d'una programació que fàcilment s'adaptaria a la mecànica de l'altre robot. Seguint amb aquesta futura línia de treball es podria fer que els dos robots interactuessin entre ells creant una línia de treball entre els dos. Fet que ajudaria a treballar amb dos sistemes i fer que es coordinessin no només ells mateixos sinó també entre si.

12. Referències i bibliografia

[1] Alejandro Muñoz Serrano. Programació controladora d'un robot de 5 eixos. Control de moviment Rectilini. "KinematicLab". EUPMT, 2014

[2] Marc Figueras Casas. Motorització i control de un braç mecànic articulat de cinc eixos. EUPMT, 2013

[3] www.literature.rockwellautomation.com. "Manual de usuario - Servovariadores Kinetix 350 Ethernet/IP para un solo eje. Rockwell Automation, Agost 2011.

[4] www.literature.rockwellautomation.com. "*Configuración y puesta en marcha del movimiento integrado en la red Ethernet/IP*". Rockwell Automation, Octubre 2012.

[5] Normatives consultades:

UNE-EN ISO 10218-1, UNE-EN ISO 10218-2 (2012).

ISO/TR 8373: Manipulating industrial robots. Vocabulary. (1988).

EN ISO 12100-1, EN ISO 12100-2 : Seguretat de les màquines. Conceptes bàsics, principis generals per al disseny. (2004).

EN 775: Robots manipuladors industrials. Seguretat. (ISO 10218: 1992 modificada). (1992)

EN 418: Seguretat de les màquines. Equip de parada d'emergència, aspectes funcionals. Principis para el disseny. (1992)

EN 954-1: Seguretat de les màquines. Parts dels sistemes de comandament relatives a la seguretat. (1996)

EN 1037: Seguretat de les màquines. Prevenció d'una posada en marxa intempestiva. (1995)

EN 1760-1, EN 1760-2: Seguretat de les màquines. Dispositius de protecció sensibles a la pressió. (1997-2001)

EN 294: Seguretat de les màquines. Distàncies de seguretat per impedir que s'assoleixin zones perilloses amb els membres superiors. (1992)

EN 811: Seguretat de les màquines. Distàncies de seguretat per impedir que s'assoleixin zones perilloses amb els membres inferiors. (1996)

EN 349: Seguretat de les màquines. Distàncies mínimes per evitar l'aixafament de parts del cos humà. (1996).

EN 999: Seguretat de les màquines. Posicionament dels dispositius de protecció en funció de la velocitat d'aproximació de parts del cos. (1998).

A 981: Seguretat de les màquines. Sistema de senyals de perill i d'informació auditives i visuals. (1996).

A 842: Seguretat de les màquines. Senyals visuals de perill. Requisits generals, disseny i assajos. (1996).

[6] www.theoldrobots.com, SCORBOT-ER III User's Manual, Eshed Robotec, (December 1995) Sixth Edition

[7] www.literature.rockwellautomation.com, Rockwell Automation, "FactoryTalk View Machine Edition User's Guide", January 2013.

[8] www.rockwellautomation.com, Rockwell Automation, "Design & Configuration RSLinx", 2014.

[9] www.rockwellautomation.com, Rockwell Automation, "Knowledgebase Rockwell Automation", 2014.