TREBALL FI DE GRAU

Implementació del sistema de control d'una plataforma Stewart

Autora: Marina Lloys Llobet

Especialitat: Enginyeria Electrònica Industrial i Automatització

Tutor: Jesús Vicente Rodrigo

Convocatòria: Octubre 2015

RESUM:

Una plataforma Stewart (o robot paral·lel) és un sistema que podem catalogar de mecatrònic complex, és a dir que, intervenen de manera simultània la mecànica, l'electrònica, la computació i el control. Va ser pensat i dissenyat com simulador de vol l'any 1965. Bàsicament, serveix per generar moviments amb sis graus de llibertat (tres translacions i tres rotacions) i la seva utilitat s'ha fet palesa en múltiples aplicacions tecnològiques i industrials.

El projecte que aquí es presenta té un doble objectiu. En primer lloc, es tracta de muntar una plataforma Stewart, de dimensions considerables, a partir de l'adquisició dels seus components. Atès que, no hi ha cap mena de patró per a aquests mecanismes, el repte és realment interessant. El segon objectiu tracta de, una vegada ja construïda, aconseguir que es mogui amb la màxima precisió possible i amb la màxima suavitat a l'hora de seguir una trajectòria prefixada.

Malgrat he participat activament en totes les fases i en la posada a punt de la plataforma, la part on es desenvolupa majoritàriament el projecte és la relacionada amb l'electrònica i la programació. Més concretament, fent ús del programa LabVIEW i després de la instal·lació del software corresponent, es programen els algorismes de moviment i de control, tals que permeten simular qualsevol tipus de trajectòria.

Cal dir que aquest projecte està vinculat amb el projecte *"Estudi mecànic i posada en funcionament d'una plataforma Stewart"* fet per Ester Bajona Torra.

ABSTRACT:

A Stewart platform (or parallel robot) is a mechanism which can be classified as complex mechatronic system because mechanics, electronics, computing and control are, simultaneously, involved in it. It was conceived and designed as a flight simulator in 1965. Basically, the platform serves to generate movements with six degrees of freedom (three translations and three rotations) and its usefulness has become evident in many industrial and technological applications.

The project presented here had a double objective. First of all, the construction of a Stewart platform, of considerable size, through the purchase of its components. Since there is no pattern for this type of mechanisms, the challenge is very interesting. Once built the platform, the second objective is to achieve the highest possible accuracy when it comes to follow a pre-established trajectory.

Although I have actively participated in all phases and the development of the platform, my main contribution are the tasks related to electronics and computing. More specifically, by using LabVIEW and after installing the appropriate software, I programmed the algorithms to simulate any type of movement and control.

This project is linked with *"Estudi mecànic i posada en funcionament d'una plataforma Stewart"* by Ester Bajona Torra.

AGRAÏMENTS:

Primer de tot agrair al Dr. Josep M. Rossell i al Dr. Jesús Vicente per brindar-me l'oportunitat de fer aquest projecte, per la paciència que han tingut amb mi i per l'ajuda i consells que m'han donat.

Un fort agraïment a Jaume Martínez, que és qui m'ha donat formació i suport en la programació de LabVIEW i agraïments també a l'Ester Bajona que juntament amb al Dr. Josep M. Rossell han fet tota la part dels càlculs de cinemàtica inversa en els quals es basa aquest projecte, sense ells aquest projecte no s'hauria pogut fer.

Per últim agrir la col·laboració d'en Manel Blanes pel suport a l'hora d'instal·lar el software, de demanar els components, pel muntatge de la plataforma i per l'ajuda i consells donats. També agrair la col·laboració de la Dra. Immaculada Martínez pel suport a l'hora d'implementar els PID i la formació donada sobre motors.

Índex de continguts

RESUM: **2**

ABSTRACT: **2**

AGRAÏMENTS: **3**

1. INTRODUCCIÓ: **6**

2. COMPONENTS DE HARDWARE DE LA PLATAFORMA STEWART: **10**

2.1 CompactRIO cRIO-9068: 12
2.2 NI 9516: 16
2.3 Cilindre EC series electric cylinders model EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0: 21
2.4 AKD-P00306-NBEC-000: 24
2.5 Font d'alimentació NI-PS-15: 30
2.6 Un TP-LINK TL-SF1008D Switch de 8 ports 10/100 Mbps: 30
2.7 Relés: 31
2.8 Polsador, interruptor i indicador: 32
2.9 Interruptor Magnetotèrmic i diferencial: 34
2.10 Armari elèctric: 35
2.12 Cables: 36

3. MUNTATGE I CONNEXIONAT DEL HARDWARE: **38**

3.1 Controlador CompactRIO: 38
3.2 Mòdul d'interfície NI9516 servo drive: 39
3.3 Cilindre EC series electric cylinders model EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0: 41
3.4 Drive AKD: 43

4. COMPONENTS DE SOFTWARE DE LA PLATAFORMA: **48**

LabVIEW: 48

5. INSTAL·LACIÓ I CONFIGURACIÓ DEL SOFTWARE DE LA PLATAFORMA (MANUAL A L'ANNEX 9): **50**

5.1 Passos a seguir per instal·lar el software a la CompactRIO: 50
5.2 Passos a seguir per crear un projecte i afegir un motor NI SoftMotion Axis: 54
5.3 Configuració del mòdul d'interfície NI 9516 C: 57
5.3.1 General Settings: *57*
5.3.2 Trajectory: *59*
5.3.3 Spline: *60*
5.3.4 Position loop: *61*
5.3.5 Encoder: *63*
5.3.6 Digital I/O: *63*
5.3.7 Drive Enable: *64*
5.3.8 Limits & Home: *65*
5.4 Configuració del drive AKD a través del programa AKD WorkBench de Kollmorgen: 66
5.5 Test dels Drives utilitzant LabVIEW: 73
5.6 Modificació del PD: 74

6 PROGRAMA LABVIEW: **80**

6.1 My Computer: 81

6.1.1 Panell Frontal: *81*
6.1.2 Diagrama de blocs: *83*
6.2 PROGRAMA RT: 84
6.2.1 Maniobra home: *96*
6.2.2 Home 1 axis: *98*
6.2.3 Global UI: *102*
6.2.4 Get Scan Engine Period: *102*
6.2.5 FileInfo: *102*
6.2.6 Set Scan Engine Mode: *102*
6.2.7 RT Get CPU Loads: *103*
6.2.8 Init drive: *103*
6.2.9 Drive enable: *104*
6.2.10 File: *108*
6.2.11 Sine 1: *110*
6.2.12 Mou 6 eixos: *111*
6.2.13 Bloque conductor: *114*
6.2.14 Get Stewart coordinates: *116*
6.2.15 Move to position: *117*
6.2.16 Inverse Kinematics: *120*
6.2.17 Euler XYZ: *121*
6.2.18 Espiral: *123*

7. POSTA EN MARXA LA PLATAFORMA: **124**

7.1 INICIAR EL PROGRAMA: 124
7.2 CREAR O MODIFICAR UNA TRAJECTÒRIA: 127

8. PRESSUPOST DE LA PLATAFORMA STEWART: **131**

9. LÍNIES FUTURES: **132**

10. CONCUSIONS: **135**

11. BIBLIOGRAFIA: **136**

12. ANNEXOS: **138**

12.1 ANNEX 1.- AUTORITZACIÓ DE LA MATRÍCULA DEL TFG EN MODALITAT A O B: 138
12.2 ANNEX 2.- MANUAL DE PROGRAMACIÓ DEL DRIVER AKD. 139
12.3 ANNEX 3.- MANUAL DE LA COMPACTRIO 9068 139
12.4 ANNEX 4.- MANUAL DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ NI PS-15 139
12.5 ANNEX 5.- MANUAL DEL MÒDUL NI 9516 139
12.6 ANNEX 6.- FULL DE CARACTERÍSTIQUES DEL CILINDRE EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0 139
12.7 ANNEX 7.- FULL DE CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR AKM23D 139
12.8 ANNEX 8.- MANUAL DEL DRIVER AKD-P00306-NBEC-0000 139
12.9 ANNEX 9.- MANUAL PEL CONNEXIONAT DEL HARDWARE I CONFIGURACIÓ DEL SOFTWARE. 139

1. INTRODUCCIÓ:

A la dècada del 1800, Augustin Louis Cauchy, un pioner en l'anàlisi matemàtic, va estudiar la rigidesa d'un octaedre articulat, antecessor del hexàpode. Al 1949, V.E. Gough va donar un pas més i va construir un mecanisme paral·lel de sis potes per provar els neumàtics amb càrregues combinades. Pocs anys més tard, al 1965, D. Stewart va començar a utilitzar una variant del mecanisme de Gough per les seves simulacions de vol; el dispositiu va ser anomenat en el seu honor com Plataforma Stewart.

El mecanisme és una estructura cinemàtica composta per dues plataformes i sis actuadors, on la plataforma superior i els sis actuadors són mòbils, i la plataforma de base és fixa. Els sis actuadors es troben subjectes a les plataformes units per parelles. Per tant, hi ha tres punts a la plataforma superior, i tres a la plataforma inferior, dels quals surten dos puntals. Els actuadors són independents entre ells, i són els que permeten orientar i posicionar la plataforma superior. Aquesta plataforma compta amb sis graus de llibertat en relació a la base, de manera que és capaç de moure's en tres direccions lineals i tres direccions angulars individualment o amb qualsevol combinació.

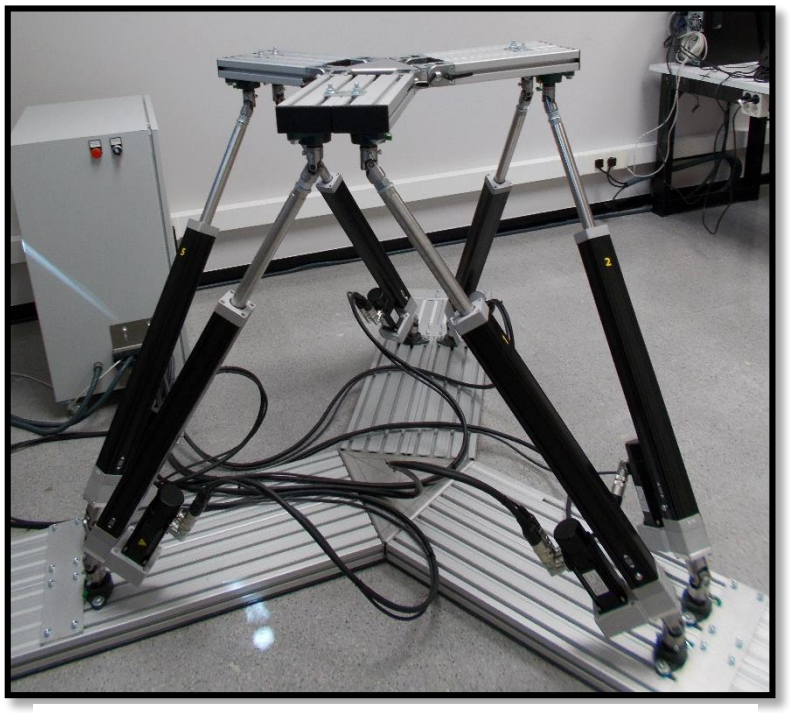


Figura 1. Plataforma laboratori EPSEM

En l'actualitat la plataforma Stewart té varies aplicacions en diferents camps entre els quals es troba:

- En l'àmbit aeroespacial, la simulació de condicions reals d'avions i naus espacials es va convertir en una necessitat per formar els pilots, com també pel disseny i la fabricació d'aeronaus. Entre els simuladors es troba el ACFS (Advanced Concept Flight Simulator) de la NASA. (Figura 2). En el seu interior es troben els comandaments d'una aeronau, aquests comandaments estan lligats a l'entorn virtual de les pantalles del simulador i als moviments de la plataforma de 6 graus de llibertat que serveixen com a base per simular els moviments de l'aeronau. Aquest simulador es caracteritza per tenir una gran flexibilitat per simular els diferents models d'avions en diferents situacions. *(Ref. 1)*

Figura 2. Simulador de moviment ACFS

- Per augmentar l'emmagatzematge d'energia solar. La plataforma es localitza sota els panells fotovoltaics, orientats contínuament en direcció al sol per poder incrementar el rendiment de les cel·les (Figura 3).

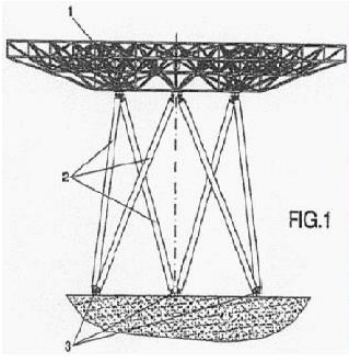


Figura 3.

- En medicina s'han utilitzat per assistents quirúrgics robòtics. Treballen juntament amb el cirurgià per a la fabricació de pròtesis i la localització dels punts de fixació d'aquestes a les estructures òssies. Probablement l'assistent quirúrgic més conegut sigui el Da Vinci, desenvolupat al 1998 a l'hospital Torre Médica. *(Figura 4 i Ref. 2).*

Figura 4. Robot quirúrgic de Da Vinci

- També hi ha altres aplicacions de les Plataformes Stewart en l'àmbit acadèmic com element Mecatrònic, a la qual s'uneixen les Enginyeries Mecànica, Electrónica, de Control i d'Informàtica. En la investigació es pot utilitzar per recrear moviments naturals (terratrèmols, onatges, vibracions,...)

- També s'utilitza en mecanitzat, assemblatge, soldadura i en la indústria automotriu. (Robot FANUC). A més es pot utilitzar pel posicionament de telescopis. *(Figura 5 i Ref. 3).*

Figura 5. FANUC

2. COMPONENTS DE HARDWARE DE LA PLATAFORMA STEWART:

A la Figura 6 es pot veure l'esquema que hem seguit per fer el connexionat, així com els components necessaris per portar-lo a terme.

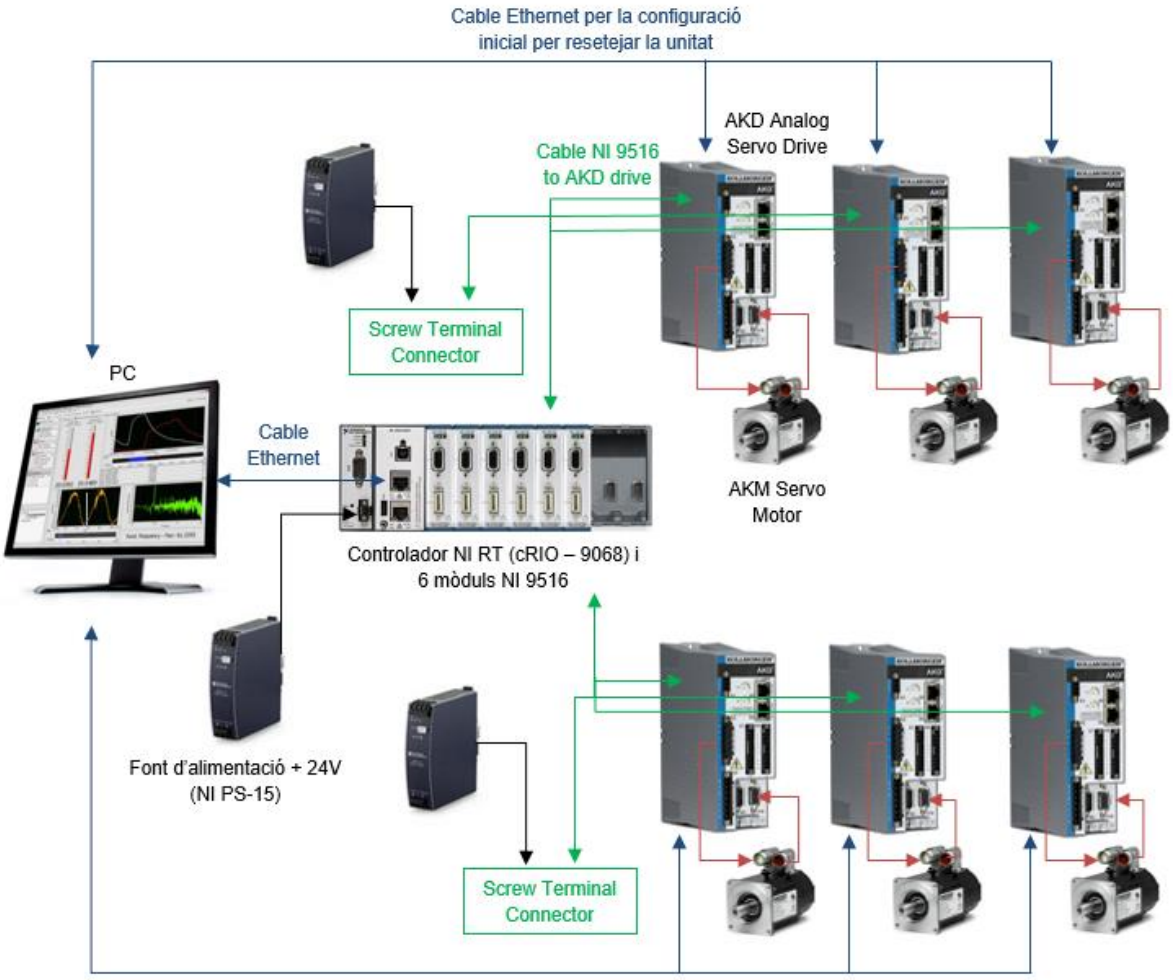


Figura 6. Esquema de muntatge del hardware

Així doncs, els components necessaris són:

- 6 Mòduls de interfície NI 9516 C Series servo drive.
- Un controlador i xassís Compact RIO que suporta RIO Scan Interface.
- 3 fonts d'alimentació NI PS-15 de 24VDC i 5A.
- Un cable Ethernet pel controlador Compact RIO un per a l'ordinador i sis per a cada servomotor AKD.
- 6 Cables AKD Drive pel mòdul NI 9516.
- 6 cilindres EC series electric cylinders model EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0.
- 6 Cables SFD (Smart Feedback Cable) AKM motor to AKD Drive per a la realimentació del motor.
- 6 Cables 12 A AKD to AKM power w/brake per transferir potència i frenar el motor.
- Tres relés, un relé amb 4 contactes de 230VAC Weidmuller i 2 relés amb 4 contactes de 24VDC Releco sèrie QR-C.
- Un interruptor magnetotèrmic Schneider IC60N C 25A.
- Un interruptor diferencial Schneider IID K 40A.
- Un ventilador 230V AC.
- Un TP-LINK TL-SF1008D Switch de 8 ports 10/100 Mbps.
- Un polsador normalment obert, un interruptor amb dos posicions i un indicador visual.
- Un armari Schneider i rails DIN per a col·locar el connexionat.

2.1 CompactRIO cRIO-9068:

La CompactRIO és el controlador de la nostra plataforma. Un controlador és un software o un component que permet que un equip/ordinador es comuniqui amb el hardware o amb els dispositius. Sense controladors, el hardware que connectéssim a l'equip, no funcionaria correctament. (Figura 7).

Figura 7. CompactRIO cRIO-9068

La CompactRIO combina un processador dual-core, una FPGA (Field-Programmable Gate Array) reconfigurable i vuit ranures pels mòduls d'entrada i sortida de la Sèrie C en un xassís. Nosaltres només utilitzarem sis ranures i no reconfigurarem la FPGA.
Aquest sistema és ideal per aplicacions avançades de control i monitorització encastats.

Es pot utilitzar el software de desenvolupament de sistemes NI LabVIEW per crear, depurar i desplegar lògica a la FPGA interna i al processador que executa el Sistema Operatiu NI Linux Real-Time.

Trobareu el manual de la CompactRIO cRIO-9068 a l'annex 3.

- **Indicacions dels LEDs:**

  La CompactRIO té uns indicadors LEDs a la carcassa, els quals ens donen informació de l'estat d'aquest. (Figura 8).

Figura 8

  - POWER:
    - Color del LED → Verd.
    - LED On → Estarà encès mentre la cRIO-9068 estigui engegada.

  - STATUS:
    - Color del LED → Taronja.
    - LED Off → Estarà apagat durant una operació normal.
    - LED intermitent → Aquest LED s'encendrà amb una intermitència de 2, 3 o 4 flaixos cada pocs segons, depenent de l'error que s'hagi produït:
      - 2 intermitències: El xassís ha detectat un error de software. Aquesta incidència acostuma a passar quan s'interromp un actualització de software.

        Per solucionar el problema s'ha de reinstal·lar el software en el xassís. Consulta l'ajuda de Mesurement & Automation Explorer Help per obtenir informació sobre la instal·lació de software en el xassís.
      - 3 intermitències: El xassís està en safe mode.
      - 4 intermitències: El xassís s'ha quedat sense memòria.

        Per solucionar el problema cal revisar el RT VI comprovant l'ús de memòria i modificar el VI per resoldre el problema.

- LED On → Romandrà encès en el cas que es produeixi un error irrecuperable. En aquest cas cal posar-se en contacte amb National Instruments.

- USER1:
  - Color del LED → Taronja.
  - Aquest LED no està definit, es pot definir segons les necessitats de l'usuari.
    Per definir el LED utilitza el RT LEDs VI en el LabVIEW.

- USER FPGA1:
  - Color del LED → Verd.
  - Aquest LED no està definit.

- **Resum de les especificacions (Figura 9):**

General	
Tipo de Controlador	Valor
Frecuencia de Reloj del CPU	667 MHz
Sistema Operativo / Objetivo	Linux
Memoria No Volátil	1 GB
Memoria del Sistema	512 MB
Puerto Periférico	
Número de Puertos para Ethernet	2
Ethernet	1000BaseT
Serial Ports (RS232)	Sí
Puertos Seriales (RS485)	1
Potencia	
Rango de Entrada de Voltaje	9 V - 30 V
FPGA Reconfigurable	
FPGA	Artix-7
Chasis	
Número de Ranuras	8
Especificaciones Físicas	
Longitud	30.28 cm
Ancho	8.81 cm
Altura	6.23 cm
Peso	1164 gram
Temperatura de Operación	-40 °C - 70 °C
Impacto y Vibración	
Impacto Operacional	50 g
Rango Aleatorio de Frecuencia de Operación	5 g

Figura 9

2.2 NI 9516:

És un mòdul de moviment que proporciona senyals d'interfície de servo drive o de revolucions per un sol eix des de qualsevol xassís CompactRIO. Per tant, en necessitarem sis, ja que tenim sis eixos. A més a més, proporciona un joc complet d'entrades i sortides de moviment incloent entrades per un commutador d'inici e interruptors de límit, entrades del codificador d'increment per la retroalimentació de posició i línies d'entrada i sortida digital.

L 'interfície de drive NI 9516 inclou un processador per executar el motor de interpolació spline i llaços de control proporcional integral derivatiu (PID). (Figura 10).

Figura 10

El NI 9516 té dos connectors: un connector de interfície de controlador D-Sub de 15 pins i un connector MDR de 20 pins. El D-Sub de 15 pins inclou senyals de comandament per establir interfície amb amplificadors o servo drives, una línia d'entrada digital de 0 a 30V d'us general i una entrada de 19 a 30V per connectar la potència. El connector MDR de 20 pins té entrades dobles de retroalimentació del codificador d'increment, una sortida de +5 V pel codificador, entrades d'inici, límit i comparació de posició; una sortida de comparació de posició; una entrada addicional de +19 a 30V per connectar la potència; i una línia addicional d'entrada digital de 0 a 30V d'us general.

Trobareu el manual del mòdul NI 9516 a l'annex 5.

- **Diagrama de connexions:**

Com ja s'ha comentat anteriorment, aquest mòdul té dos connectors; DSUB i MDR. A la Figura 11 podem veure com i on van connectats.

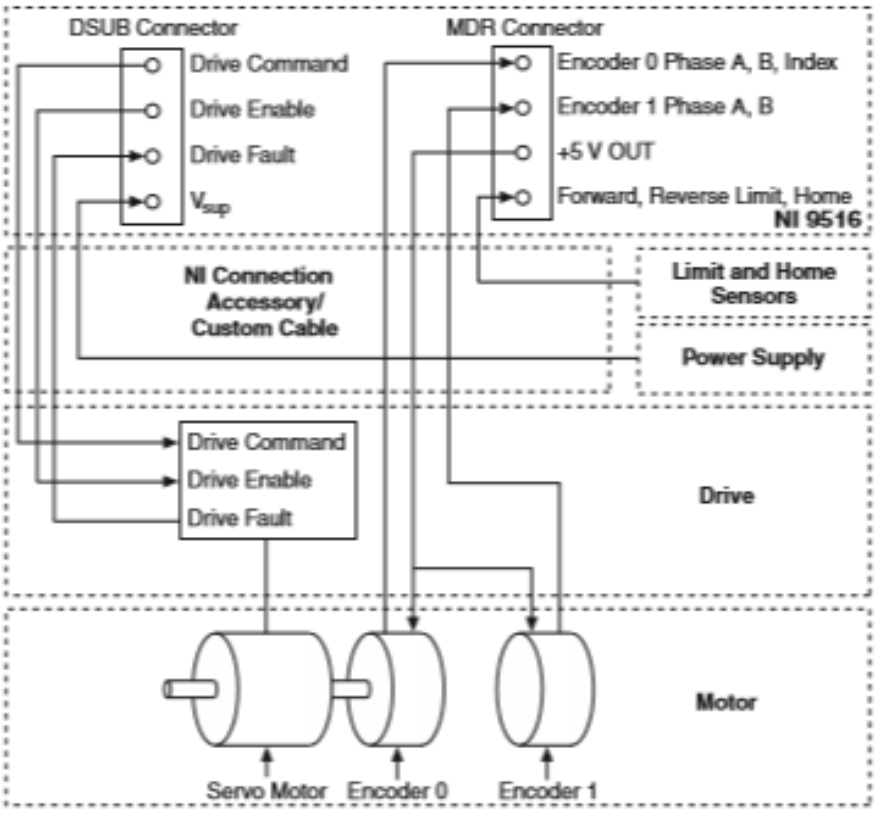


Figura 11. Diagrama de connexions

Les entrades de l'encoder 1 i la sortida de 5V no les utilitzarem. Com podem veure a la figura 11 aquests mòduls requereixen d'una font d'alimentació externa que ha d'ésser de 19-30V i 400mA de corrent màxima.

- **Diagrama de blocs:**

A la Figura 12 podem veure com està interconnecta el mòdul per dins.

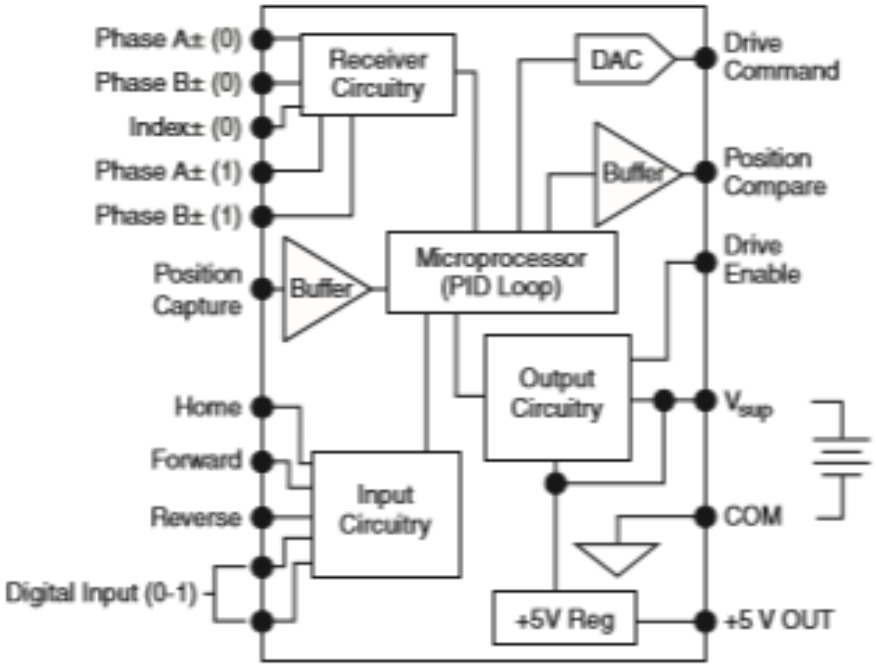


Figura 12. Diagrama de blocs

- **Indicacions dels LEDs:**

Aquest mòdul té uns indicadors LEDs els quals ens donen informació de l'estat d'aquest. (Figura 13).

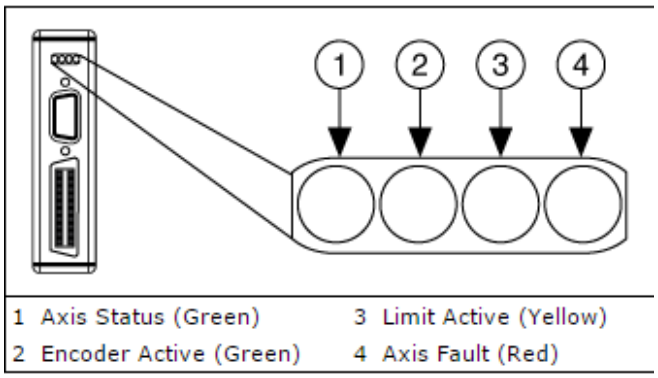


Figura 13

- 1. Estat de l'eix:
  - Color del LED → Verd
  - LED Off → El mòdul està en mode sleep o fallo per arrencar correctament.
  - LED Intermitent → El mòdul ha arrancat correctament i està funcionant.
  - LED On → El mòdul està funcionant i el driver està actiu.
- 2. Encoder actiu:
  - Color del LED → Verd
  - LED Off → La font externa no està connectada.
  - LED Intermitent → La font externa està connectada i el mòdul està rebent els polsos de l'encoder.
  - LED On → La font està connectada però no rep els polsos de l'encoder.

- 3. Límit actiu:
  - Color del LED → Groc
  - LED Off → La font d'alimentació no està connectada, o els límits i el home no estan actius.
  - LED On → La font d'alimentació està connectada i els límits o el home estan actius.

- 4. Error en l'eix:
  - Color del LED → Vermell
  - LED Off → No hi ha errors.
  - LED On → Un o més mòduls tenen errors.

- **Resum de les especificacions (Figura 14):**

General	
Número de Ejes	1
Tipo de Motor / Eje	Brushed Servo Brushless Servo
Sistema Operativo / Objetivo	Real-Time
Soporte para LabVIEW RT	Sí
Familia de Productos	Interfaz de Conectividad de Movimiento
Controlador de Movimiento	
Position Capture	único
Breakpoints	periódico único
PID Control	Sí
Feedback Type	doble codificador
Especificaciones Físicas	
Longitud	71.25 mm
Altura	88.11 mm
Ancho	22.86 mm
Peso	155 gram
Conector de E / S	15-pin D-Sub
Temperatura de Operación	-40 °C - 70 °C

Signal	Signal Name	Signal Overview
Encoder 0	Encoder 0 Phase A+ Encoder 0 Phase A- Encoder 0 Phase B+ Encoder 0 Phase B- Encoder 0 Index+ Encoder 0 Index-	• Primary encoder for position or velocity feedback • RS-422 differential, compatible with single-ended encoders • 20×10^6 counts/second maximum • 100 ns minimum pulse width (differential inputs) • 400 ns minimum pulse width (single-ended inputs) • Index input used to establish reference position • Digitally filtered

Figura 14

2.3 Cilindre EC series electric cylinders model EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0:

Es tracta d'un cilindre elèctric el qual disposa d'un servo motor sense escombretes (AKM23D) i s'allarga 450mm utilitzant un bisenfí. Segudiament es descriu breument els components que el conformen (Figura 15) i les seves especificacions (Taula 1).

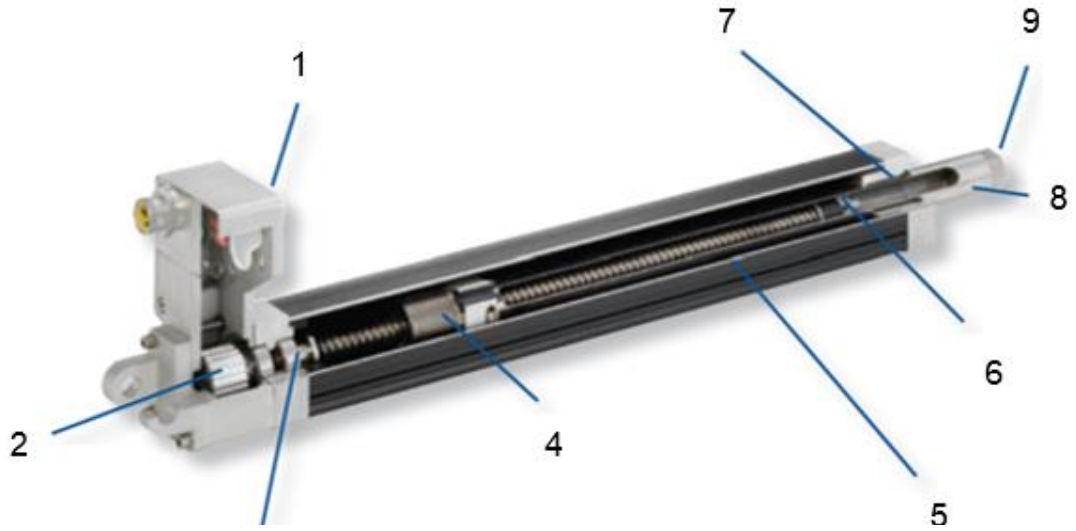


Figura 15

1. Servomotors sense escombretes (no es mostra a la figura 15) amb un cablejat de desconnexió ràpida i una varietat d'opcions de retroalimentació.
2. Corretja de distribució i orientació del moviment.
3. Rodaments de contacte angular.
4. Cargol de recirculació i avançada, proporciona un moviment suau i més força axial.
5. Coberta de metall i tefló, que proporciona protecció a tots els components interns, lubricació permanent i resistència a la corrosió.

6. Coixinet de maniguet frontal que suporta les càrregues laterals i minimitza el descentratge .
7. Segell netejador del tub de sortida d'acer inoxidable polit que manté els contaminants a fora i el lubricant a dins.
8. Tub d'empenta d'acer inoxidable per un ús prolongat i resistent a la corrosió.
9. Mètric ISO 6431.

Trobareu el full de característiques del cilindre EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0 a l'annex 6.

- **Resum d'especificacions del cilindre (Taula 1):**

ESPECIFICACIONS CILINDRE EC2	VALOR (Unitats)
Tipus de cilindre	Elèctric
Longitud de carrera màxima	450 mm
Tipus de cargol	Cargol d'avançada
Avançada per volta	4 mm
Diàmetre del cargol d'avançada	16 mm
Espai de contracop/reacció	0.40 mm
Diàmetre del pistó	30 mm
Tipus de motor	AKM23D
Velocitat màxima	0.23 m/s
Força d'empenta màxima	3600 N
Temps de cicle màxim	50 %

Taula 1

- **Motor AKM23D:**

  És un motor DC sense escombretes. A diferència dels motors DC amb escombretes, els motors sense escombretes no tenen el conjunt col·lector. Per tant, tenen menys desgast mecànic i menys manteniment. Aquests motors són més eficients ja que no tenen les escombretes que els causin pèrdues elèctriques o de fricció. (Figura 16).

Figura 16

Trobareu el full de característiques del motor AKM23D a l'annex 7.

➢ **Resum d'especificacions del motor AKM23D (Taula 2):**

ESPECIFICACIONS MOTOR AKM23D	VALOR (Unitats)
Corrent continu en la parada	2.19 A
Corrent de pic a la parada	8.80 A
Voltatge	240VAC
Velocitat nominal	5000 RPM
Velocitat màxima	8000 RPM
Potència contínua màxima	0.54 kW
Força contraelectromotriu	31.40 V/krpm
Voltatge freno-motor	24VDC

Taula 2

En la Figura 17 podem veure com el motor no arribarà mai a 8000 rpm i que la seva velocitat nominal és de 5000 rpm.

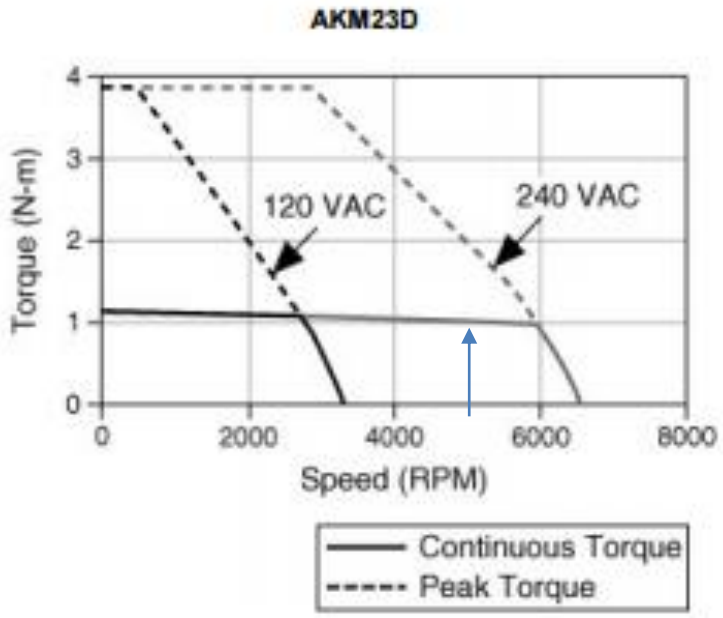


Figura 17. Gràfica del comportament de la velocitat angular (rpm) del motor respecte el parell motor (N·m).

2.4 AKD-P00306-NBEC-000:

Els drivers de servo motor AKD de Kollmorgen ofereixen una solució per quasi qualsevol aplicació, des d'aplicacions bàsiques de torsió i velocitat, fins a moviments sincronitzats de múltiples eixos utilitzant programació gràfica de NI LabVIEW. Aquest tipus de driver garantitza un control fiable per altes velocitats i adapta immediatament les condicions de càrrega. La entrada/sortida integrada i aïllada de manera òptica, redueix el soroll i permet operar amb seguretat.

Si aquests drivers s'utilitzen amb servo motors AKM, com és el nostre cas, permeten el tipus de configuració plug-and-play gràcies a la tecnologia Smart Feedback Device (SFD) i un cablejat directe. El software de configuració gràfica i les característiques de configuració basada en assistents i automàtica, permeten una instal·lació del sistema simplificada. Els drivers de servo motor AKD estan disponibles amb connectivitat analògica o EtherCAT pel controlador de moviment. Nosaltres utilitzarem la connectivitat analògica, ja que d'aquesta manera la resposta és més ràpida que utilitzant la connectivitat EtherCAT.

En resum, el servo motor AKD és l'encarregat de donar potència o frenar al motor AKM segons convingui. També és l'encarregat de fer la lectura de l'encoder relatiu del cilindre a través del cable de retroalimentació. (Figura 18 i 19).

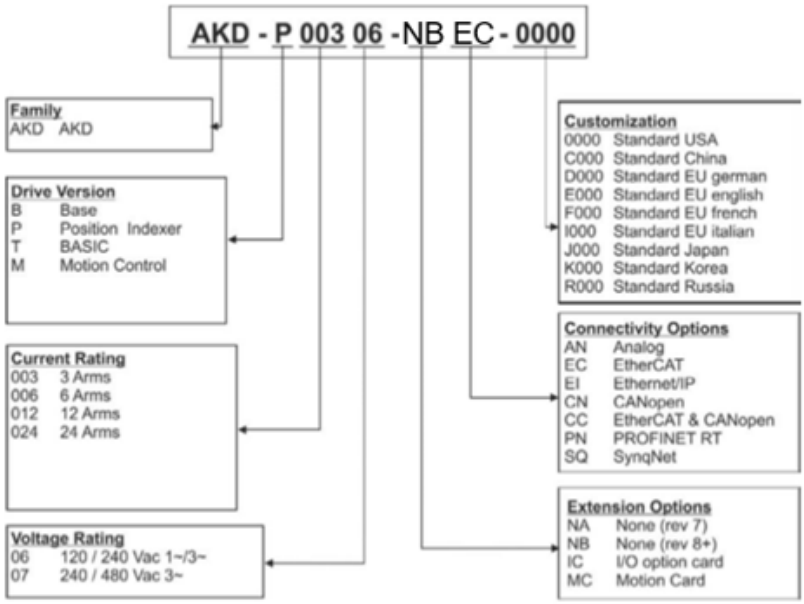


Figura 18

Figura 19. AKM-P00306-NBEC-000

El model d'AKD que tenim nosaltres, no té integrat cap resistència de freno dinàmic, això pot ser perillós en el cas de voler frenar el motor immediatament, ja que al frenar el motor d'immediat provocarà un pic de potència molt alt i no tindrem cap component que el pugui absorbir. En el nostre cas, pararem el motor progressivament com es veu a la Figura 20 i d'aquesta manera no tindrem mai pics de potència. Això es pot fer habilitant el DRV. DISMODE que es troba en el WorkBench ® (programa de configuració del drive AKD), que per defecte ja està habilitat.

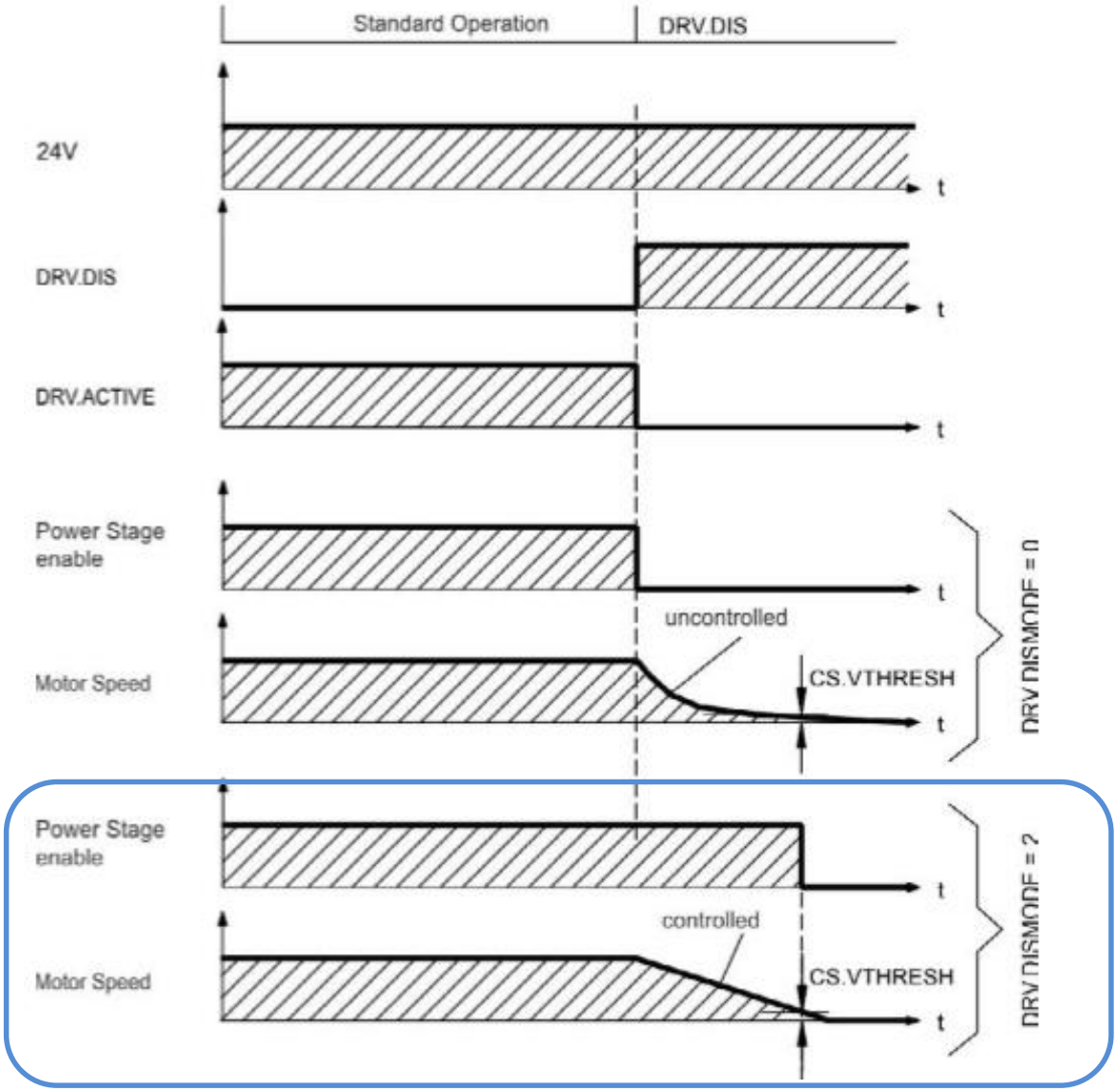
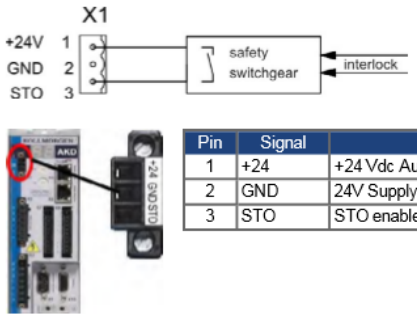


Figura 20. Comparativa del tipus de frenada controlada (progressiva) i incontrolada (immediata)

L'AKD té una entrada digital addicional anomenada Safe Torque Off (STO), que actua com ha mecanisme de seguretat, el què fa és obrir el circuit sempre que s'apliqui un senyal de 24V en aquesta entrada. Al obrir el circuit, ja no es subministra potència al motor i això farà que el motor perdi el parell (força) i es pari.

El STO d'entrada ha d'estar connectat a la sortida d'un control o relé de seguretat. Per poder utilitzar l'entrada STO com a parada d'emergència, necessitarem la font d'alimentació explicada anteriorment i un relé. (Figura 21).



Pin	Signal	Description
1	+24	+24 Vdc Auxiliary voltage
2	GND	24V Supply GND
3	STO	STO enable (Safe Torque Off)

Figura 21. Dades tècniques del pin X1 del AKD

A la Figura 22 es veu la lògica del AKD en funcionament habitual i a la Figura 23 es veu la demostració del que passa quan l'STO està Off (premem el polsador d'emergència):

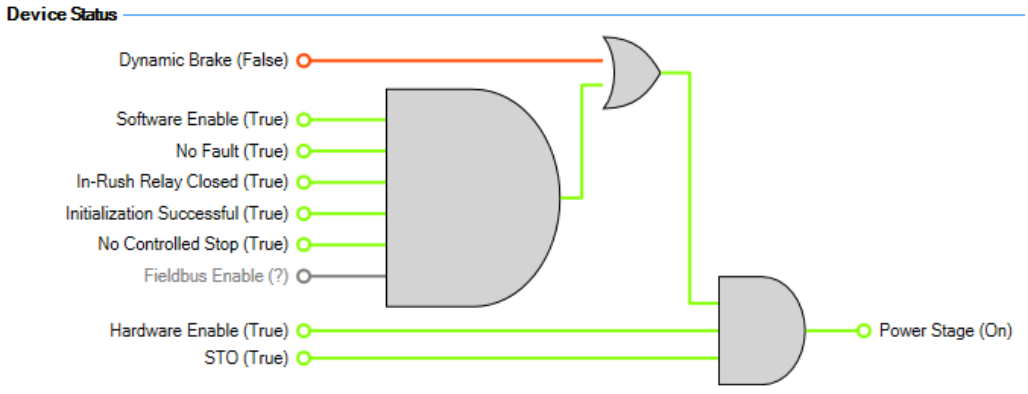


Figura 22. Lògica del AKD, quan tot està actiu

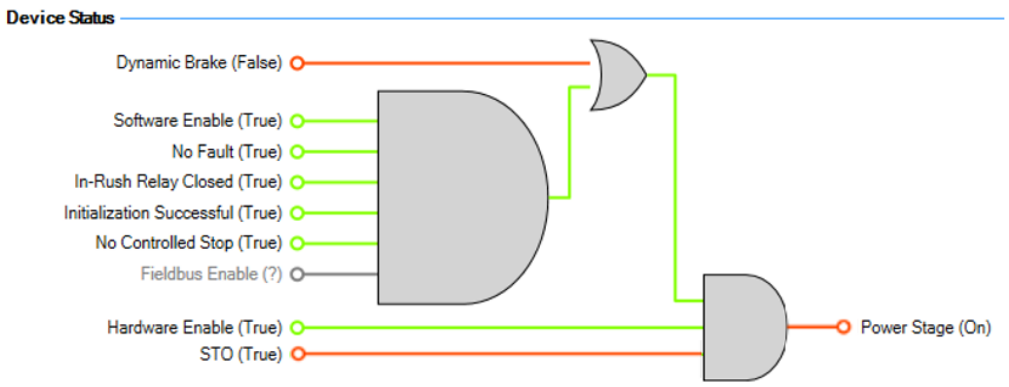


Figura 23. Lògica del AKD, quan premem el polsador d'emergència

En la Figura 24 es mostra el diagrama de connexions possibles del AKD, en el nostre cas no tindrem el driver alimentat amb un trifàsic, sinó que el tindrem amb un monofàsic.

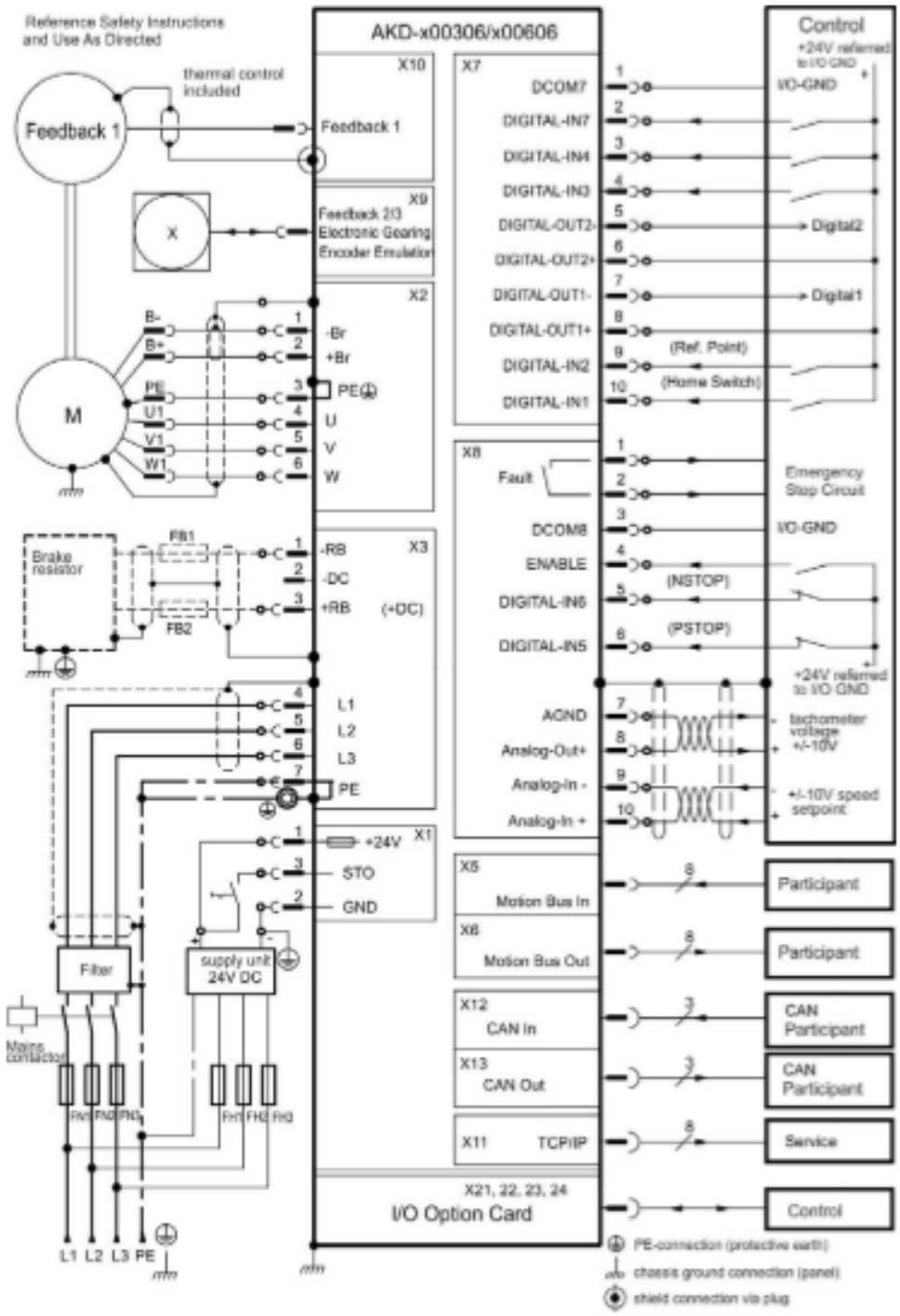


Figura 24. Diagrama de connexions del AKD-P00306

En el manual de l'annex 8 podeu trobar les característiques del AKD i, al final d'aquest manual, podeu trobar els diferents tipus d'error que pot mostrar pel display del AKD.

2.5 Font d'alimentació NI-PS-15:

És una font d'alimentació de 24VDC i 5A. (Figura 25).

Figura 25. NI PS-15

En aquest muntatge utilitzarem 3 fonts d'alimentació, una per alimentar la CompactRIO, ja que aquesta necessita una tensió de 9 a 30V i 25W (24V i 1.05A) i dos per alimentar els sis mòduls de moviment NI9516 i la lògica dels sis drives de servo motor AKD. Cada mòdul necessita una tensió de 19-30V i intensitat de 400mA, i cada driver AKD necessita una tensió de 24V i intensitat de 20mA.

D'aquesta manera ens assegurem que el mecanisme disposi de suficient potència.

Trobareu el manual de la font d'alimentació NI-PS-15 a l'annex 4.

2.6 Un TP-LINK TL-SF1008D Switch de 8 ports 10/100 Mbps:

Utilitzem un TP-LINK (Figura 26) de 8 ports, ja que necessitem comunicar-nos des de l'ordinador, via Ethernet, amb la CompactRIO i amb els 6 servo motors AKD.

Figura 26

2.7 Relés:

- **Relé amb 4 contactes de 230VAC Weidmuller:**

  Necessitem un relé de 230VAC per activar l'alimentació dels servo motors AKD i a les 2 fonts, que alimenten la lògica dels servo motors AKD, quan l'interruptor estigui a la posició 1 (habilitació dels drivers). (Figura 27).

Figura 27

- **Relé amb 4 contactes de 24VDC Releco sèrie QR-C:**

  Necessitem dos relés de 24VDC per desactivar l'alimentació de l'entrada STO (parada d'emergència) de cada servo motor AKD i activar l'alimentació del indicador il·luminatiu sempre que es premi el polsador de parada d'emergència. (Figura 28).

Figura 28

2.8 Polsador, interruptor i indicador:

- **Polsador de parada d'emergència:**

  Aquest polsador l'hem instal·lat per seguretat. En cas de produir-se un problema o un fallo mentre s'utilitza la plataforma, si prems el polsador es pararan tots els motors i la plataforma deixarà de treballar fins que desbloquegis el polsador i reiniciïs els drivers AKD. (Figura 29).

Figura 29

- **Interruptor de dues posicions:**

  Aquest interruptor l'utilitzem per poder activar o desactivar l'alimentació dels drivers quan nosaltres decidim. D'aquesta manera evitem que s'enceguin o es parin tots els components de cop i per tant evitem sobretensions a la instal·lació. (Figura 30).

Figura 30

- **Indicador il·luminatiu vermell:**

  Quan premem el polsador de parada d'emergències s'encén l'indicador visual. Utilitzem l'indicador il·luminatiu per veure si el polsador de parada d'emergències està premut, ja que si és així no podrem treballar amb la plataforma fins que desbloquegem el polsador i reiniciem els drivers AKD. (Figura 31 i 32).

Figura 31

Figura 32. Foto general de l'indicador de parada d'emergència i l'interruptor d'habilitació dels divers

2.9 Interruptor Magnetotèrmic i diferencial:

- **Interruptor automàtic magnetotèrmic:**

  És necessari per protegir els components/instal·lació contra les sobrecàrregues i curtcircuits. (Figura 33).

Figura 33

- Especificacions tècniques del magnetotèrmic (Taula 3):

Tensió	Pols	Calibre	Corba de dispar
230/400 V CA	2	10 A	C
Poder de tall	Ample total		
6.000 A	2 passos de 9 mm		

Taula 3

- **Interruptor diferencial:**

  És necessari per protegir els components/instal·lació de fugues a terra. (Figura 34).

Figura 34

2.10 Armari elèctric:

Utilitzarem un armari elèctric on fer el connexionat i per tenir ordenats i protegits tots els components. (Figura 35).

Figura 35

2.12 Cables:

- **Cable Ethernet:**

  Utilitzarem el cable Ethernet per comunicar-nos amb la CompactRIO des del PC. La comunicació via Ethernet és molt més ràpida que per USB, per RS-232, RS-485, que són les opcions que ens dona a escollir la CompactRIO. Ens interessa la comunicació més ràpida possible per poder assegurar que actuem sobre el mecanisme amb temps real. (Figura 36).

Figura 36

Utilitzarem un cable Ethernet per fer la configuració inicial del drivers AKD i finalment deixarem col·locats permanentment sis cables Ethernet, un per cada servo motor AKD, per poder ressetejar els drivers AKD quan sigui necessari. El servo motors AKD tenen l'opció de comunicar-se via EtherCAT però la comunicació és més lenta, en el nostre cas no l'utilitzarem.

- **Cable AKD Drive per el mòdul NI 9516:**

  Aquest cable és per comunicar el mòdul d'interfície del controlador NI9516 amb el servo drive AKD i viceversa. Per tant en necessitarem sis. (Figura 37).

Figura 37

- **Cable SFD (Smart Feedback Cable) AKM motor to AKD Drive per la realimentació del motor i cable 12 A AKD to AKM power w/brake per transferir potència i frenar el motor:**

  El cable blau de la Figura 38 és el cable de realimentació que comunica el motor AKM amb el drivers AKD. El cable gris de la Figura 38 és el cable de potència i frenada del motor, aquest cable comunica el drivers AKD amb el motor AKM.

Figura 38

3. MUNTATGE I CONNEXIONAT DEL HARDWARE:

En aquest apartat s'explicarà pas a pas com s'ha fet el connexionat i muntatge dels components explicats anteriorment. A la Figura 6 de l'apartat anterior es pot veure l'esquema general del muntatge.

Trobareu el manual del muntatge i connexionat al annex 9.

3.1 Controlador CompactRIO:

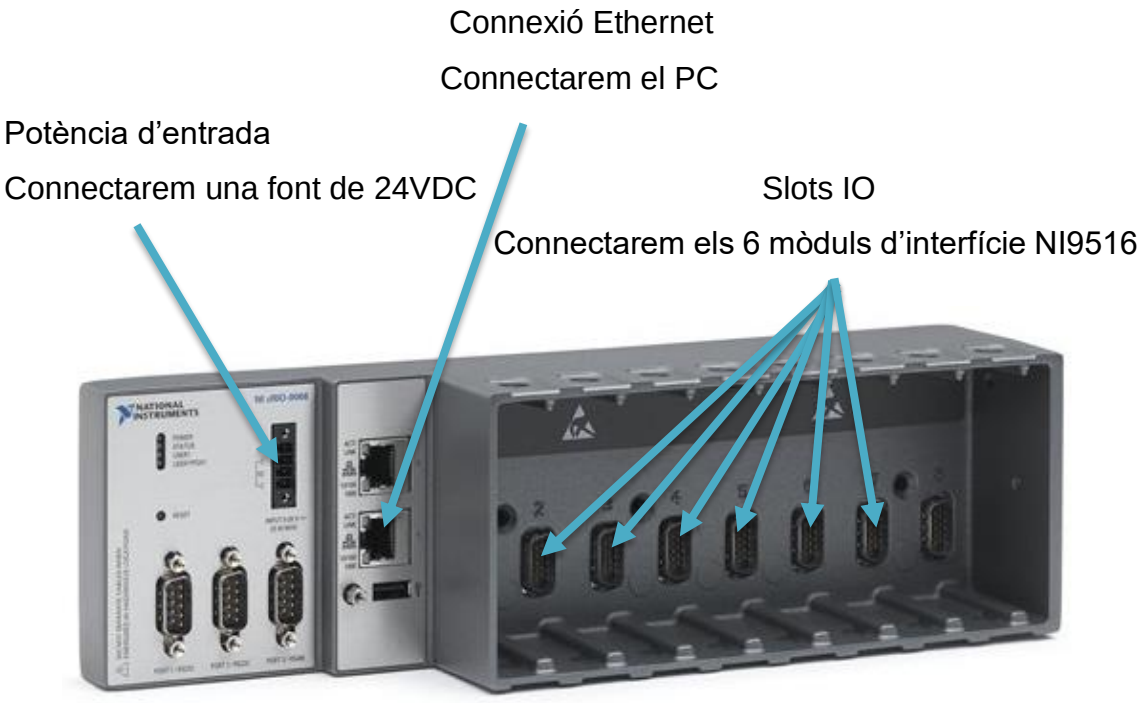


Figura 39. Explicació dels components a connectar a la CompactRIO

Figura 40. La CompactRIO amb els components connectats

3.2 Mòdul d'interfície NI9516 servo drive:

Figura 41. NI 9516

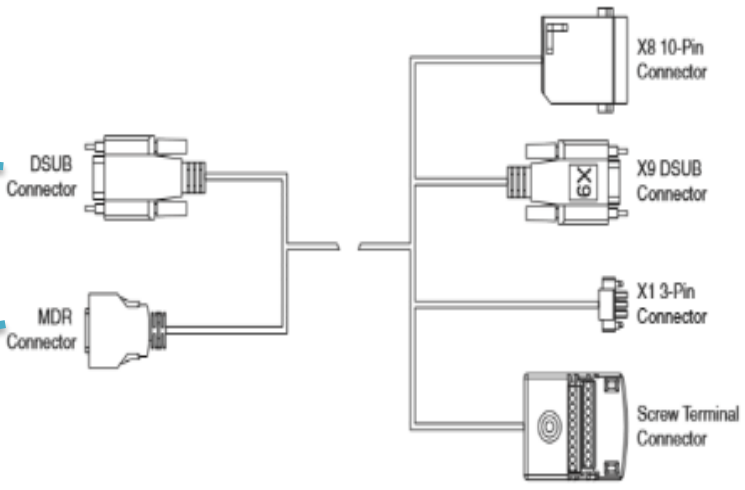


Figura 42. . Connectors del cable AKD Drive per per N 9516

- El connector X8 10-Pin, el X9 DSUB i el X13-Pin van connectats al AKD servo drive.
- El connector Screw terminal s'utilitza per les connexions externes d'entrades/sortides. Aquí i connectarem una font d'alimentació de 24VDC per cada 3 connectors. En total tindrem 6 connectors i 2 fonts (figura 43 i 44).

Pin	Signal Name
1	Forward Limit
2	Home
3	Reverse Limit
4	Digital Input 0
5	Vsup
6	Vsup Return
7	Encoder 1 Phase A+ (NI 9516 only)
8	Encoder 1 Phase A– (NI 9516 only)
9	Encoder 1 Phase B+ (NI 9516 only)
10	Encoder 1 Phase B– (NI 9516 only)
11	+5V OUT
12	Position Compare
13	Position Capture
14	COM
15	Reserved
16	Reserved
17	Reserved
18	Reserved
19	Reserved
20	Reserved

Figura 43. Pinout del connector Screw-terminal

Figura 44. NI PS-15 font 24 VDC

Figura 45. Les dues fonts connectada als terminals dels 6 connector Screw-terminal

3.3 Cilindre EC series electric cylinders model EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0:

- Connectarem els dos cables que van del cilindre al driver AKD (Figura 46 i 47).

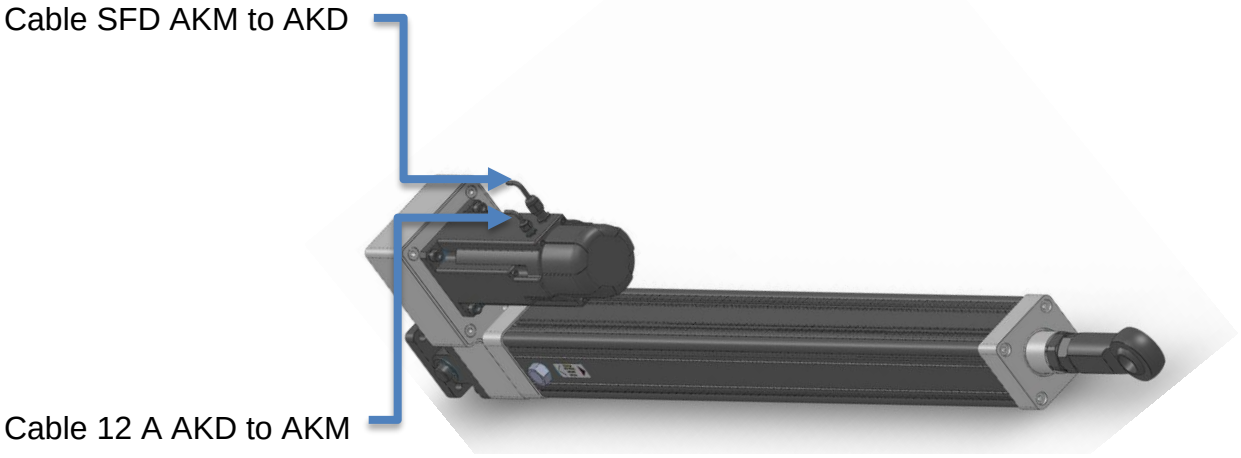


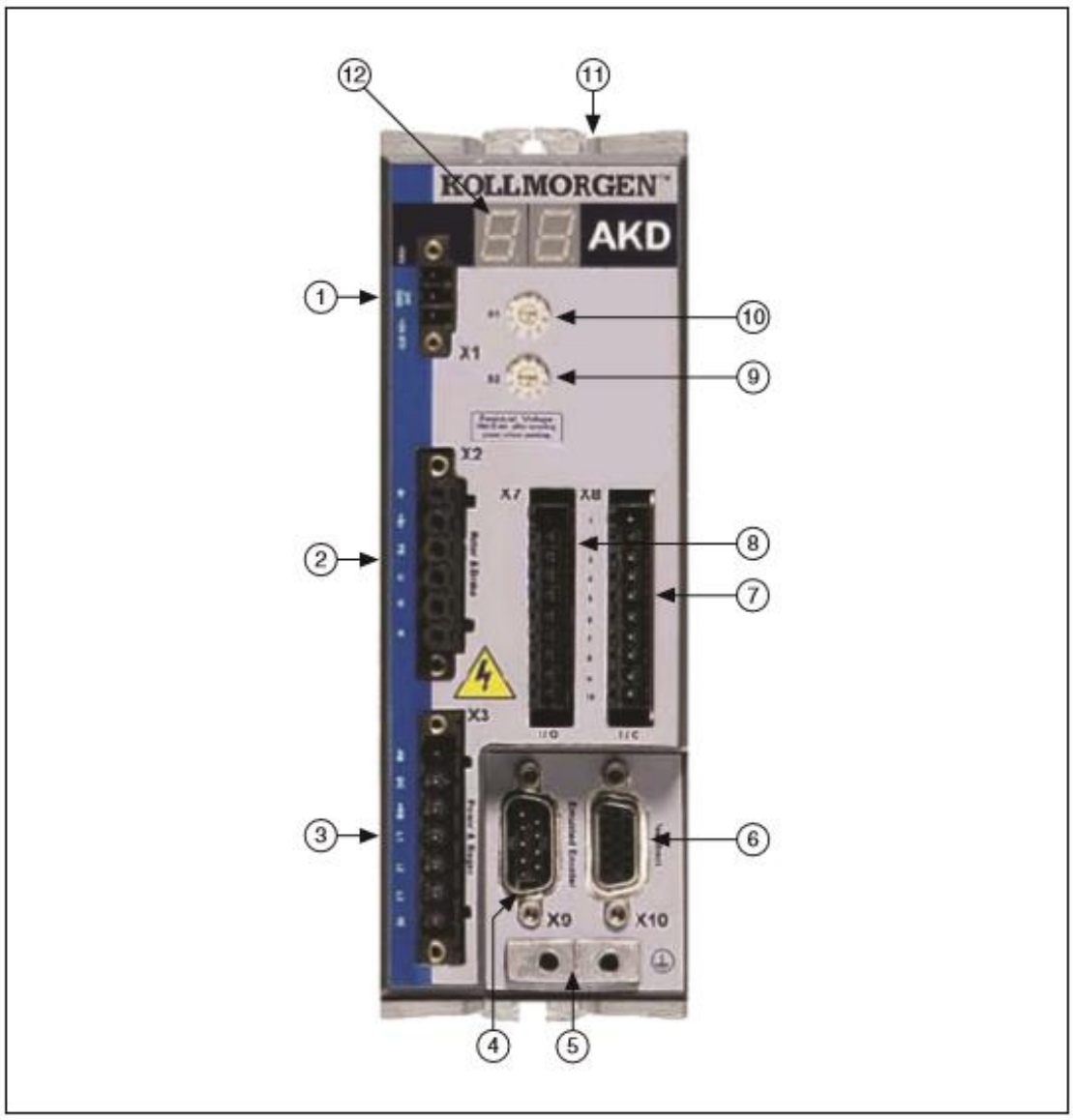
Figura 46

Figura 47

- Repetim el procés amb els sis cilindres (Figura 48).

Figura 48

3.4 Drive AKD:



1	24 V Supply, STO (X1)	5	Drive Grounding Lug	9	Static IP Addressing Switch (S2)
2	Motor, Brake (X2)	6	Feedback (X10)	10	Static IP Addressing Switch (S1)
3	AC Input Power (X3)	7	I/O Connector (X8)	11	Drive Communication (X11)
4	Encoder Emulation (X9)	8	I/O Connector (X7)	12	LED Indicators

Figura 49

- Primer connectem l'encoder emulation al connector X9 i I/O al connector X8, aquests cables són els que et venen del mòdul NI9516. Després connectem els +24V i el STO al connector X1 Figura 50.

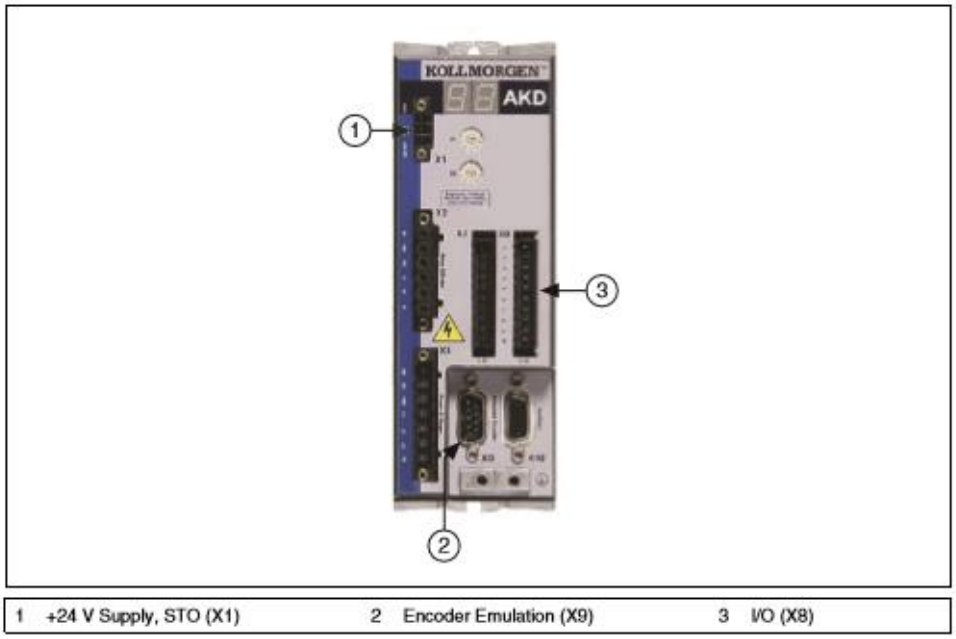


Figura 50

- Per connectar el polsador (STOP) i l'indicador (INDIC) de parada d'emergència, que actuïn sobre l'entrada STO, ho farem de la següent manera (Figura 51):

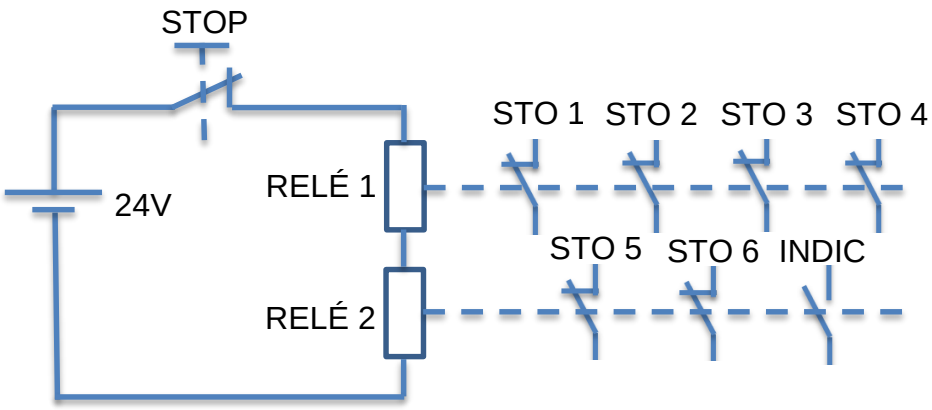
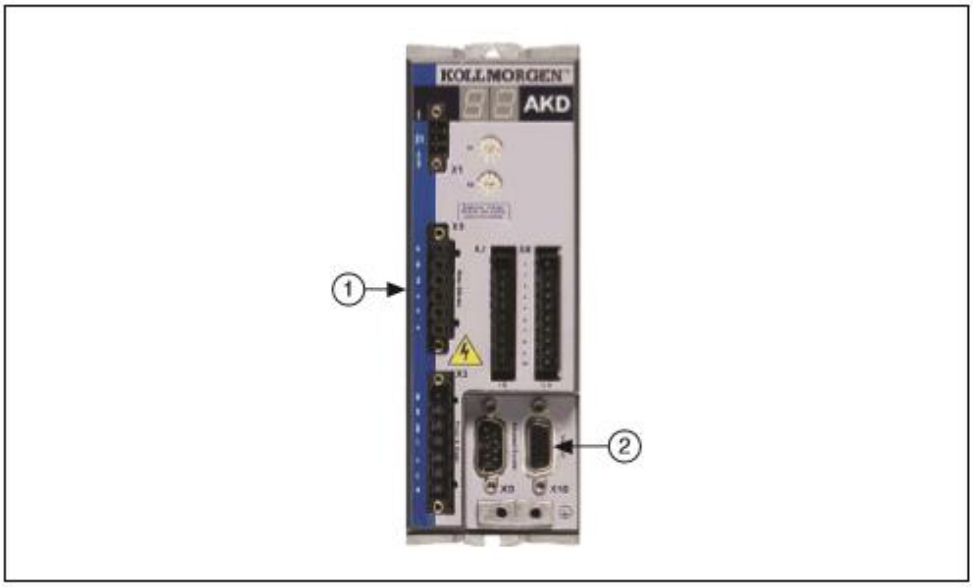


Figura 51

- Connectem el motor al connector X2 i l'encoder del motor al connector X10 del drive AKD. Aquests cables són els que et venen del cilindre (Figura 52).



1	Motor Connector (X2)	2	Feedback Connector (X10)

Figura 52

- Connectem l'alimentació AC al connector X3 del drive AKD (Figura 53 i 54). Tot i que en la figura 53 mostra l'opció de connectar les resistències de frenada, en el nostre cas no les necessitem.

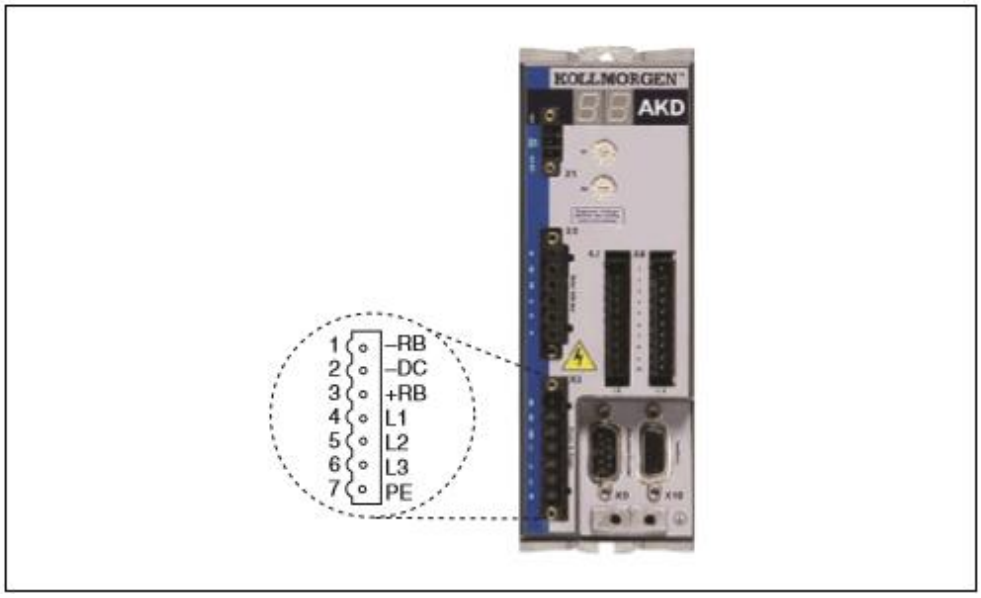


Figura 53

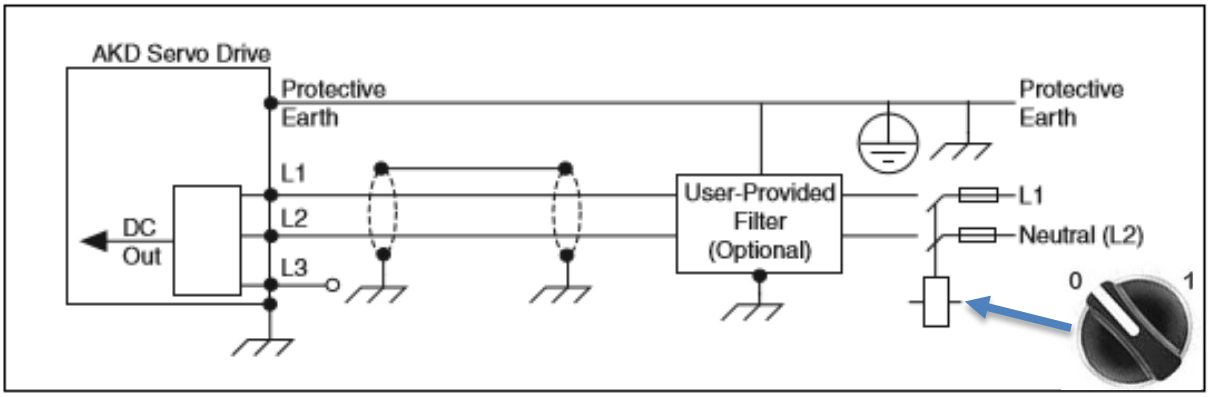


Figura 54. Alimentació AC amb una connexió monofàsica

- Finalment connectem els cables de comunicació Ethernet al TP-LINK i al connector X11 de cada drive AKD (Figura 55 i 56).

Figura 55

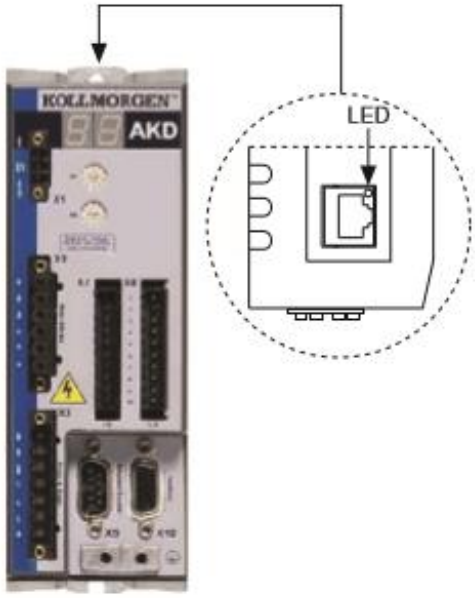


Figura 56. Connector X11 del drive AKD

Figura 57. Imatge del armari amb tot el muntatge finalitzat

4. COMPONENTS DE SOFTWARE DE LA PLATAFORMA:

Com a software utilitzarem:

- NI-RIO 14.0.1 ®, el qual porta el software Mesurament & Automation System (MAX), per configurar la maquinaria (CompactRIO) i el programari de National Instruments.
- AKD WorkBench ® per fer tota la configuració els drives AKD de Kollmorgen.
- LabVIEW 2014 ®32 bits, Real –Time Module i NI SoftMotion per configurar el mòdul de moviment NI 9516 i programar tot el control de la plataforma.

LabVIEW:

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) és un llenguatge i, a la vegada, un entorn de programació gràfic. Originalment aquest programa estava orientat per aplicacions de control d'equips electrònics utilitzats en el desenvolupament de sistemes de instrumentació, el que es coneix com instrumentació virtual. Per aquest motiu els programes creats a LabVIEW es guarden en fitxers VI (Virtual Instrument), i amb la mateixa extensió. D'una forma similar també s'anomenen les dues finestres principals; un instrument real tindrà un Panell Frontal on estaran els seus botons, pantalles, etc. i una circuiteria interna. A LabVIEW aquestes parts reben el nom de Panell Frontal i Diagrama de blocs respectivament.

- **Panell Frontal:** És la part que l'usuari podrà veure, acostuma a tenir fons gris.
- **Diagrama de blocs:** És on es realitzarà la programació, acostuma a tenir fons blanc.

Al llenguatge de programació que utilitza LabVIEW també s'anomena llenguatge G. La majoria de llenguatges es basen en una programació imperativa, que és simplement una successió d'operacions. Però, el llenguatge G no utilitza una programació imperativa sinó una execució basada en el flux de dades (dataflow).

Un programa en LabVIEW consisteix bàsicament en una sèrie de funcions unides mitjançant cables. Les dades "circulen" o "flueixen" pels cables. Una funció només es podrà executar quan tingui disponible totes les dades que li serveixin com a entrades.

5. INSTAL·LACIÓ I CONFIGURACIÓ DEL SOFTWARE DE LA PLATAFORMA (Manual a l'annex 9):

5.1 Passos a seguir per instal·lar el software a la CompactRIO:

1. Obrir el programa Mesurament & Automation (NI MAX). (Figura 58).

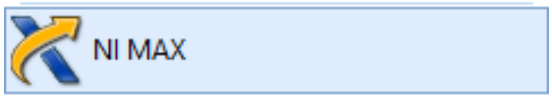


Figura 58. Icona NI MAX

2. Seleccionar el control que hi ha sota Remot Systems dins el panell de configuració. En cas de no poder veure cap control, s'haurà de deshabilitar el Firewall del PC. (Figura 59).

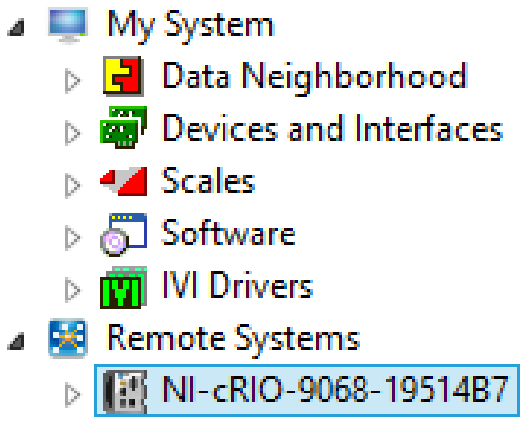


Figura 59. Panell de configuració

3. La primera vegada que vols instal·lar el software a la CompactRIO cal formatejar-la per assegurar-te que no quedi res.
    - Anem a System Settings i dins el panell de Startup Settings posem la CompactRIO en mode Safe Mode. (Figura 60).

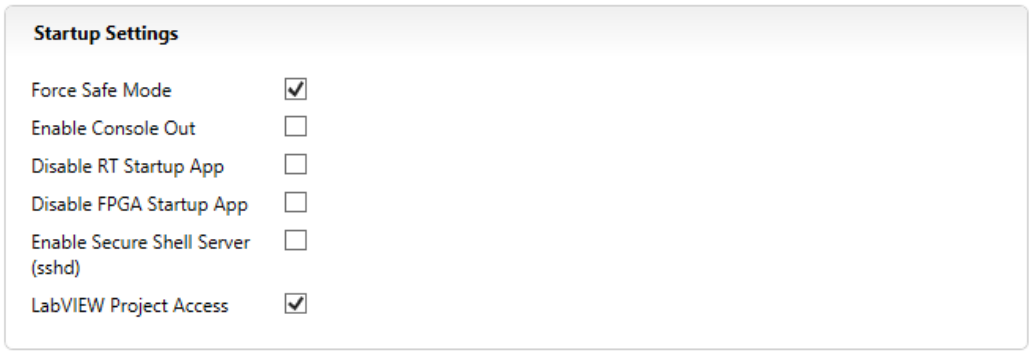


Figura 60. Panell de Startup Setting

- Prem el botó Reset de la CompactRIO.
- Prem el botó dret del ratolí sobre Remot System i selecciona Format Disk.
- Quan el MAX hagi finalitzat de formatejar, tornes a posar en Off el Safe mode i prems el botó de reset de la CompactRIO.

4. Assignem una IP fixa a la CompactRIO:
   - Anem a la configuració de la xarxa de red del PC, cliquem sobre l'entrada/sortida Ethernet que va connectada al TP-LINK >> propiedades >> protocolo de internet version 4 (TCP/IPv4) i assignem una IP fixa al PC. (Figura 61).

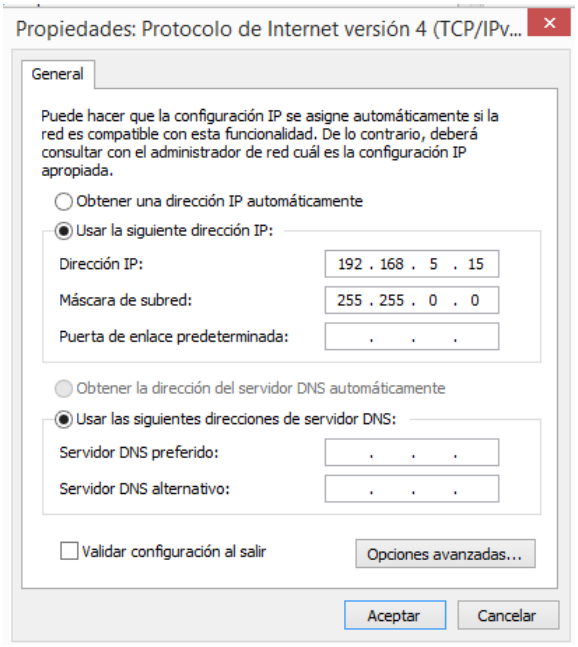


Figura 61. Finestra de propietats protocol de internet versió 4

- Tornem a obrir el NI MAX (cal tancar i tornar a obrir el NI MAX ja que si no el programa es queda bloquejat pel fet d'haver canviat la IP del ordinador).
- Tornem a on érem i anem a l'apartat Network Adapters, com es pot veure en la Figura 62 hi han dos adaptadors Ethernet, però només en fem servir un, el principal.
- Assignem una IP fixa a la CompactRIO la qual és necessari que els tres primers grups de números que hi ha a l'apartat IPv4 Address han d'ésser iguals que els assignats al PC i l'últim grup de números ha d'ésser necessàriament diferent.
- Assignem exactament la mateixa subnet Mask que en el PC.
- Finalment deshabilitem l'adaptador Ethernet eth1.

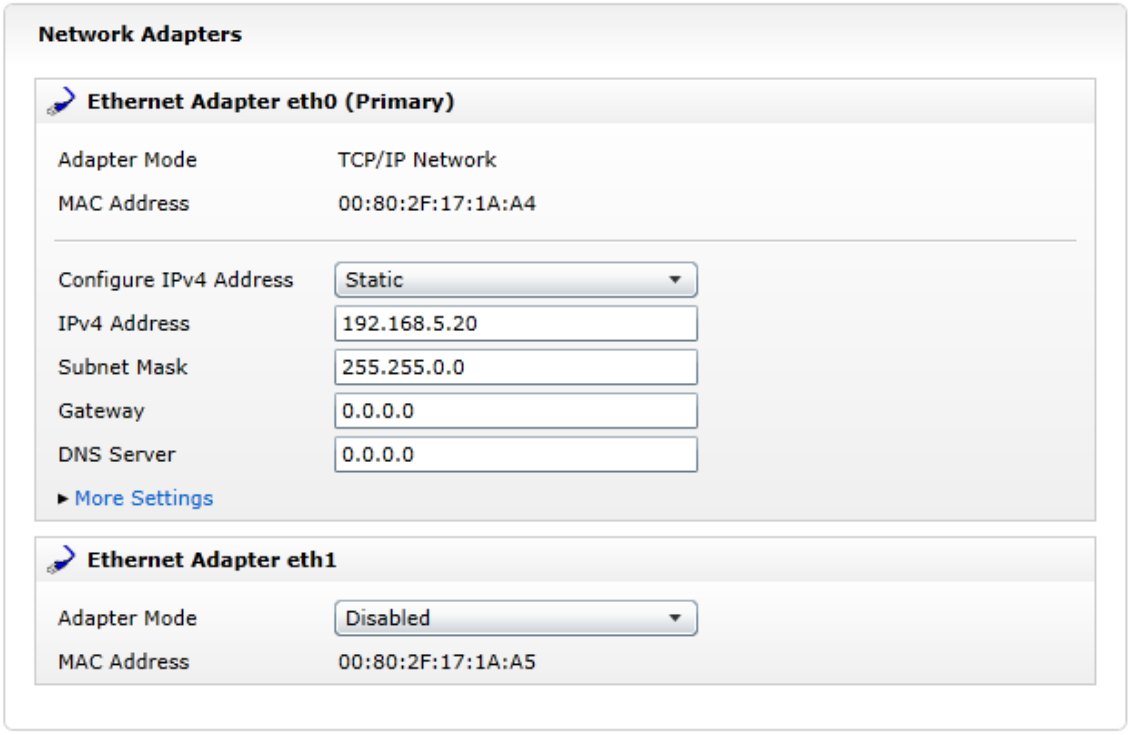


Figura 62. Finestra Network Adapters

5. Guardem els canvis clicant sobre el botó Save.

6. Desplaguem les opcions clicant sobre el nostre sistema i apareixerà el Software.

7. Fem clic dret sobre el software i seguidament seleccionem Add/Remove Software.

8. Seleccionem el software recomanat i afegim NI-RIO Scan 14.0.1 i NI Scan Engine 4.3.

9. Clica Next i activa:
   - LabVIEW NI SoftMotion Module.
   - NI Scan Emgine Suport pel LabVIEW NI SoftMotion Module.

10. Clica Next per instal·lar el software seleccionat en el controlador CompactRIO.

11. Finalment el software intal·lat a la CompactRIO ha d'ésser el que es mostra a la Figura 63.

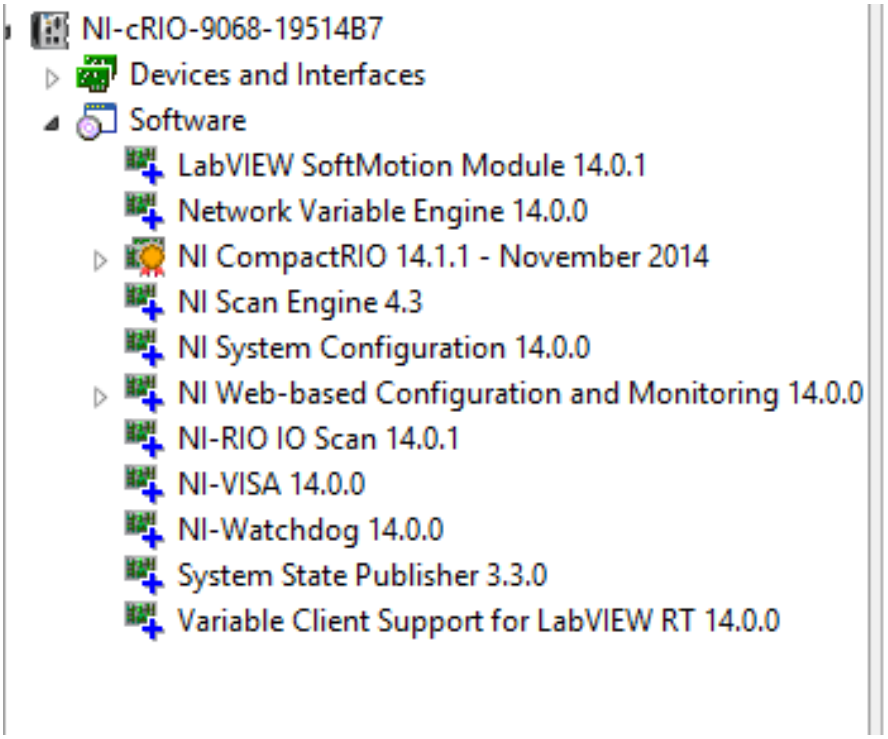


Figura 63. Software de la CRO Figura

5.2 Passos a seguir per crear un projecte i afegir un motor NI SoftMotion Axis:

1. Obrir el LabVIEW i seleccionar Create Project >> Blank Project.

2. Guardem el projecte amb el nom Stewart.

3. Clic dret sobre el Project: Stewart >> New >> Targets and Devices.

4. Sortirà una finestra amb el nom Add Targets and Devices on Stewart. Seleccionem l'opció Existing targets or device i Discover an existint target(s) or Device(s).

5. Expandim Real-Time CompactRIO i seleccionem la nostra CompactRIO com podem veure en la Figura 64.

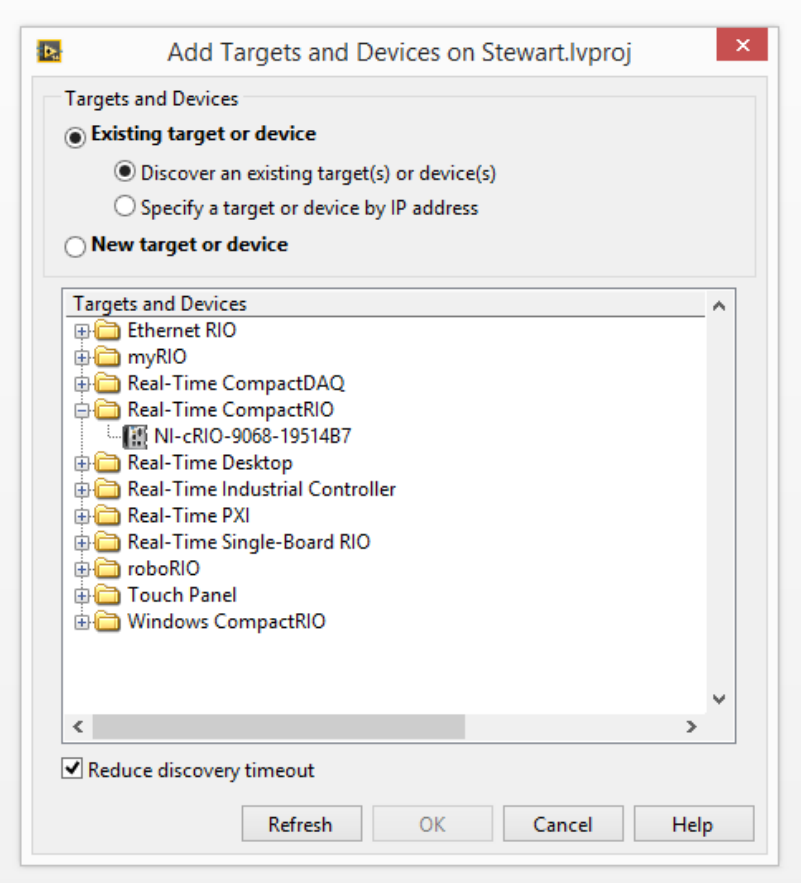


Figura 64. Finestra Add Targets and Devices

6. Seleccionem Scan interface, ja que nosaltres no programarem la FPGA. La FPGA ja la tindrem pre-programada. (Figura 65).

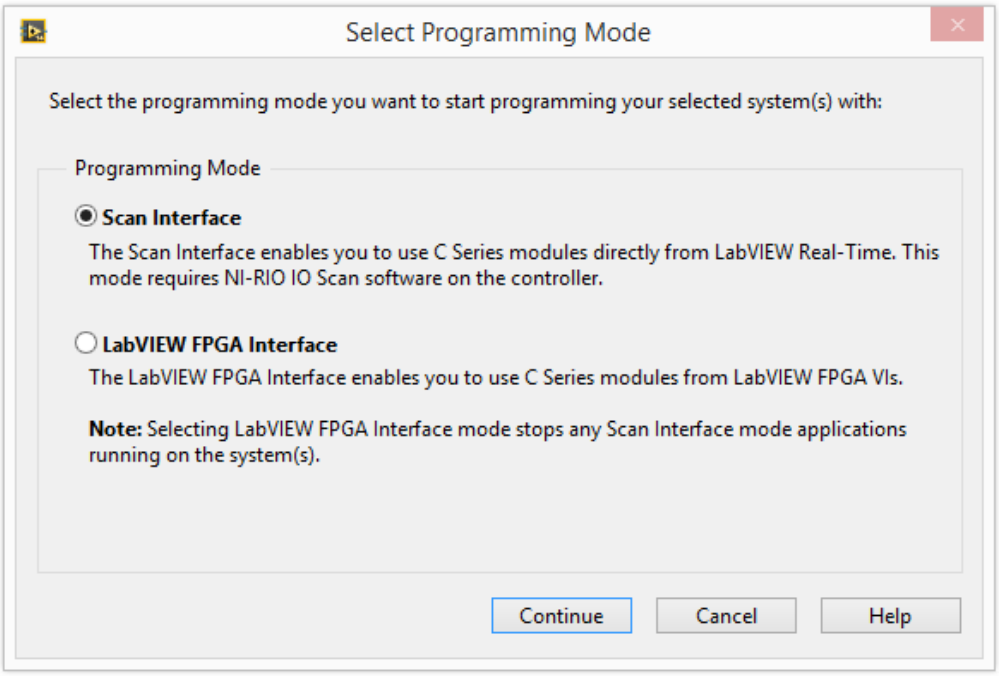


Figura 65. Finestra Select Programing Mode

7. Seleccionem Discover en Discover C Series Modules? I seguidament cliquem continue.

8. Clic dret sobre el controlador CompactRIO i seleccionem Properties >> Scan Engine.

9. Dins la finestra Scan Engine posarem com a Scan Period 5ms (Figura 66) i seguidament seleccionarem OK.

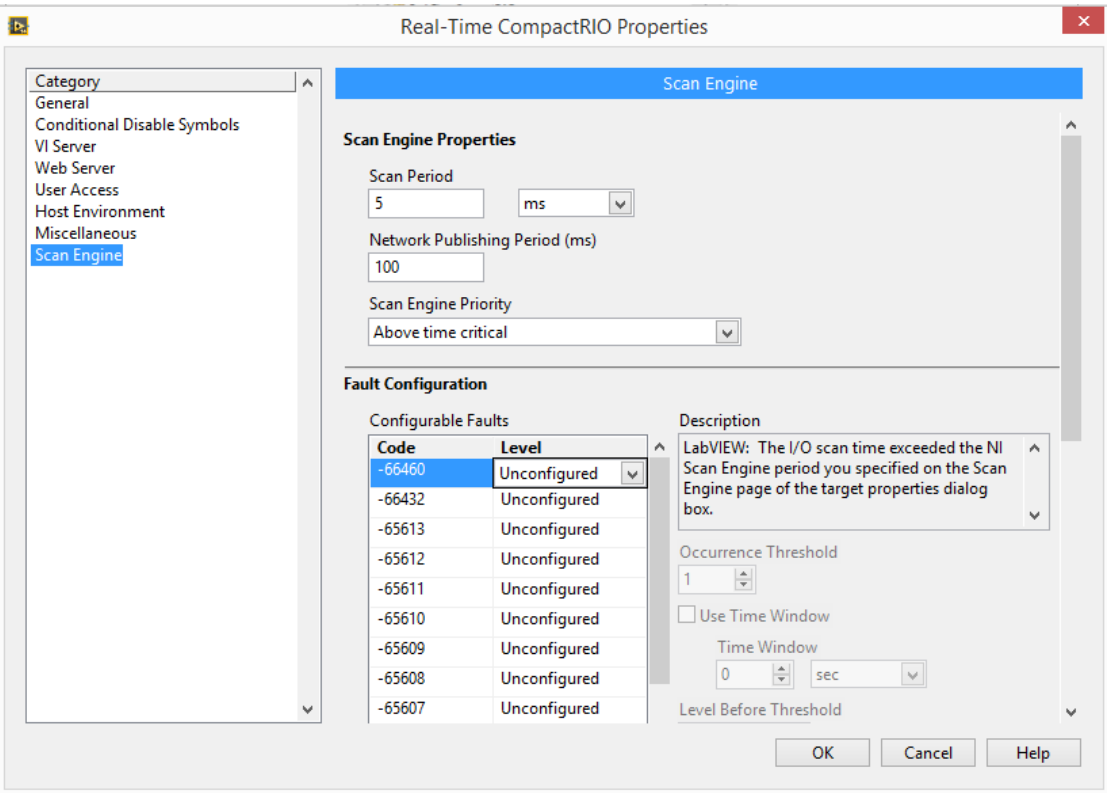


Figura 66. Finestra Real-Time CompactRIO Properties

10. Clic dret sobre el controlador CompactRIO i seleccionem New >> NI SoftMotion Axis.

11. Dins la finestrtra Axis Manager, seleccionem Add New Axis i repetim el procediment 6 vegades (Figura 67).

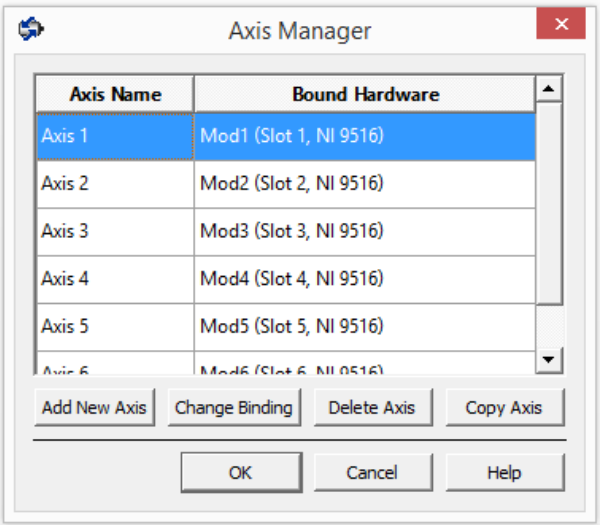


Figura 67. Finestra Axis Manager

12. Finalment seleccionem OK i el projecte hauria de quedar com la Figura 68.

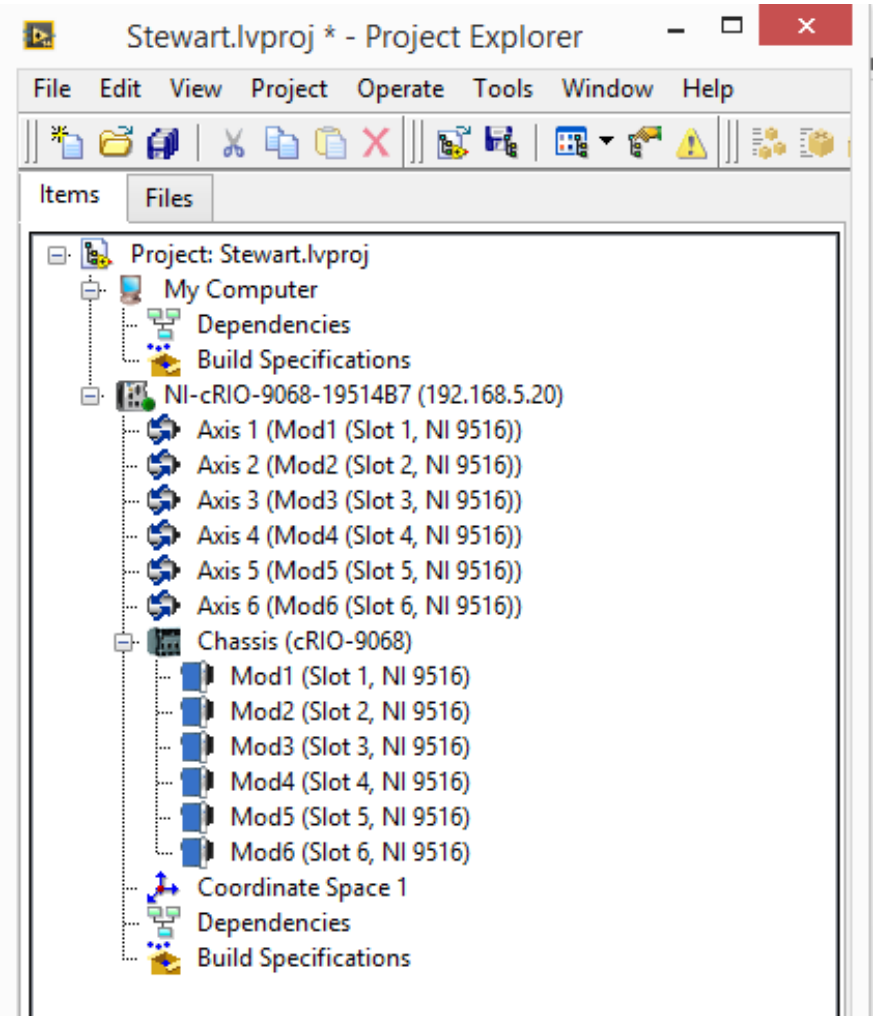


Figura 68. Projecte Stewart

5.3 Configuració del mòdul d'interfície NI 9516 C:

5.3.1 General Settings:

1. Clic dret sobre un dels eixos (per exemple; axis 1), que es troba dins el projecte, i seleccionem properties, seguidament s'obrirà la finestra de configuració del eix (Figura 69).

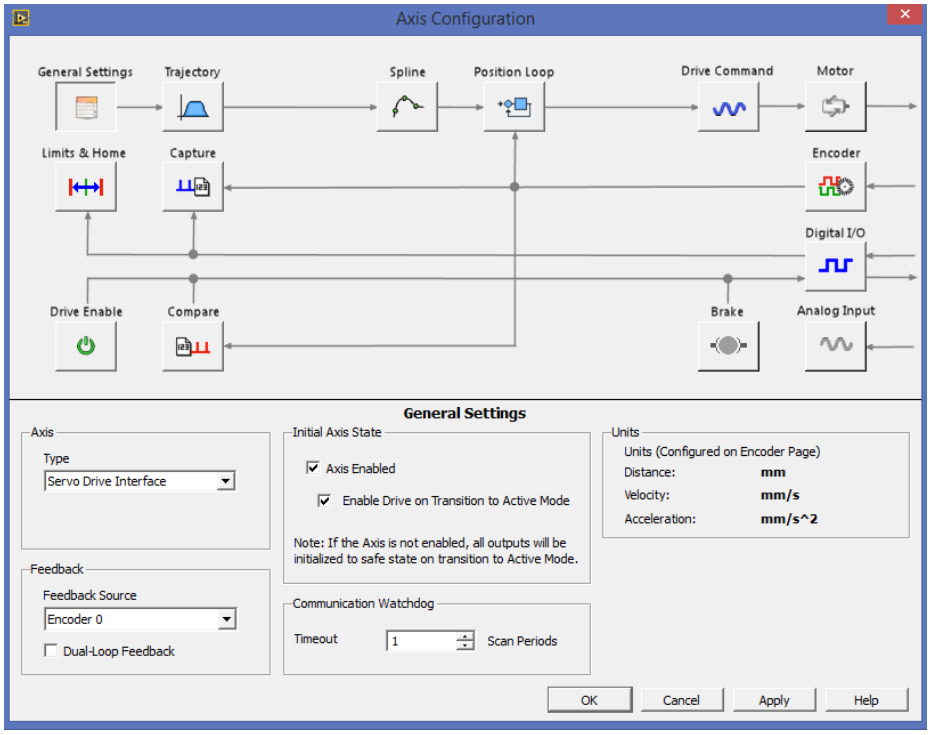


Figura 69. Axis configuration – General Settings

2. El tipus d'eix que tenim és Servo Drive Interface, significa que l'eix està associat a una interfície de Servo drive (mòdul NI 9516).

3. La font del llaç és l'encoder 0, ja que només fem servir un encoder i desmarquem l'opció de la retroalimentació perquè només és possible en el cas d'utilitzar dos sensors/encoders.

4. L'estat inicial de l'eix (*axis enabled*) el marquem com actiu i també marquem l'opció *enable drive on transition to active mode*.
5. La comunicació watchdog ha d'esser de 1 escaneig per període, ja que la pèrdua de dades durant un moviment podria provocar que el motor es pari i/o faci estrebades.

5.3.2 Trajectory:

S'utilitza per configurar els paràmetres de trajectòria.

- Move Complete criteria: Selecciona i configura els criteris complets de moviments opcionals.
- Software límits: S'utilitza per especificar els límits als quals no vols que l'eix superi.

Nosaltres ho deixarem amb la configuració mostrada a la Figura 70 i 71, per què les trajectòries i límits els programarem per software amb LabVIEW ja que l'encoder que tenim és relatiu.

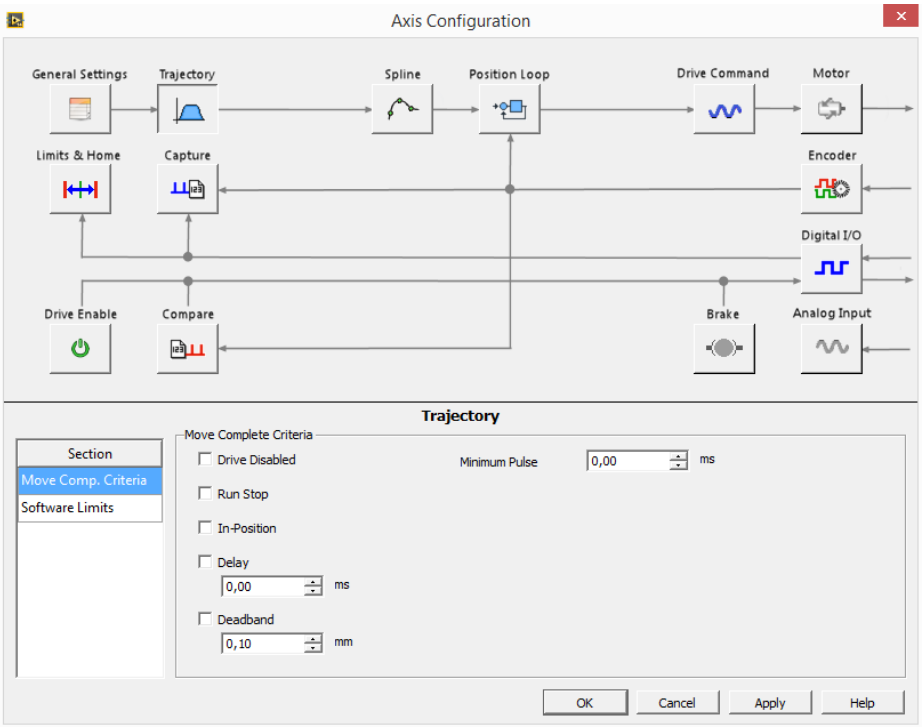


Figura 70. Axis configuration – Trajectory- Move Comp. Criteria

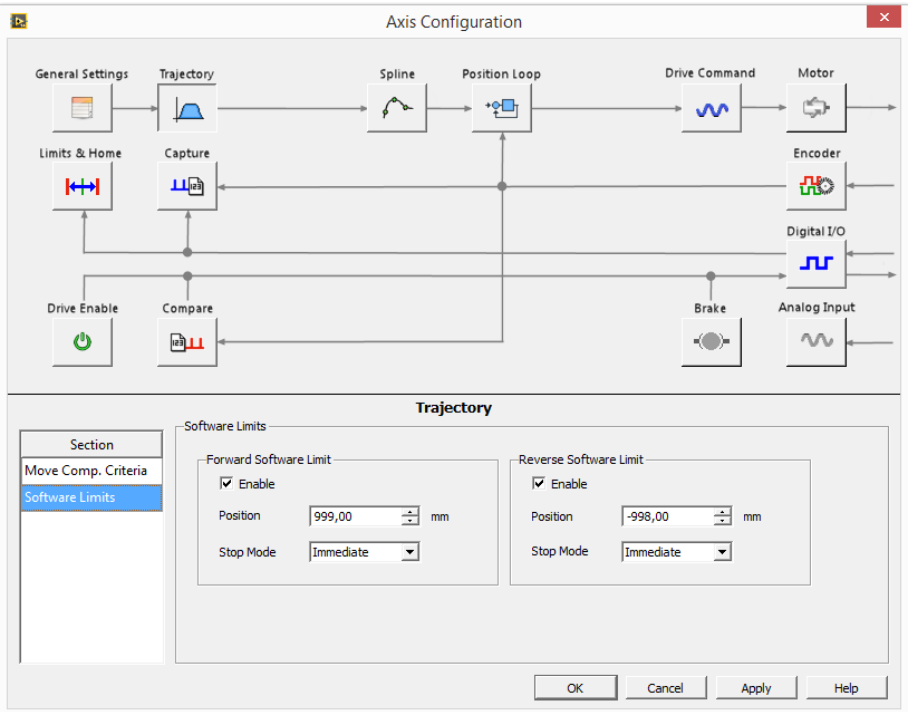


Figura 71. Axis configuration – Trajectory – Software límits

5.3.3 Spline:

S'utilitza per especificar l'algorisme spline a utilitzar per calcular els punts d'ajust. Tenim dues opcions:

- Cubic B Spline: Garanteix suavitat de moviment, però la trajectòria generada no passa necessàriament a través dels punts previstos, és a dir, menys exactitud.
- Atmull-Rom Spline: Garanteix que la trajectòria generada passi exactament pels punts previstos (exactitud), però no et garanteix suavitat de moviment.

Pel nostre cas hem escollit l'algorisme Cubic B Spline ja que és necessari que el moviment sigui suau per no malmetre els components de la plataforma. (Figura 72).

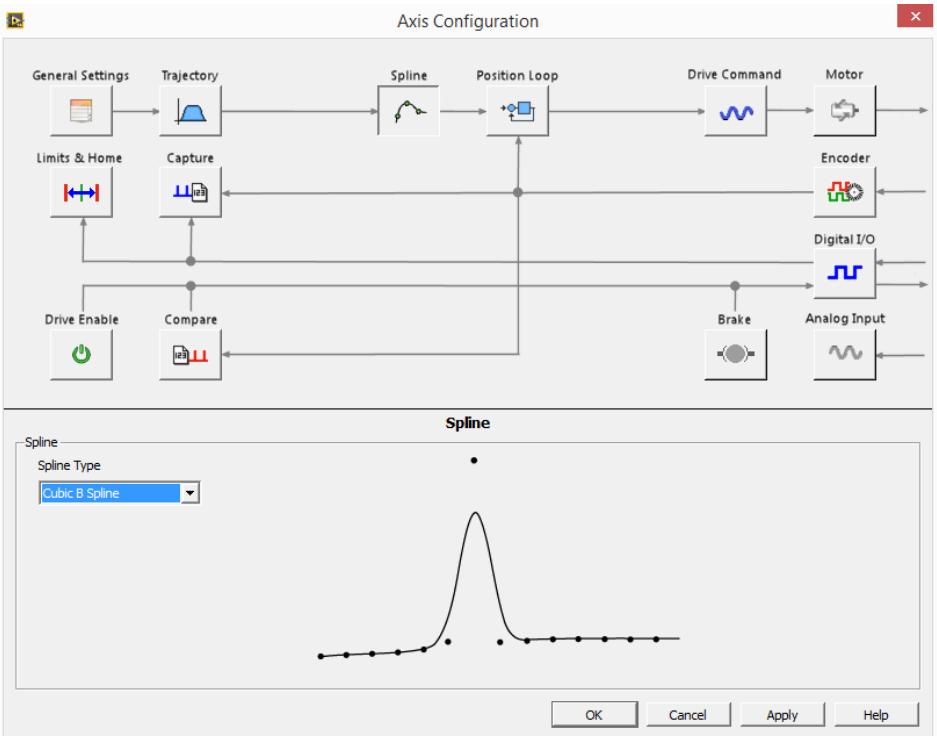


Figura 72. Axis configuration - Spline

5.3.4 Position loop:

1. Inicialment li donem un guany proporcional (Kp) de 3, un guany derivatiu (Kd) de 1000 i un límit integral (ilm) de 1000. La resta de constants les posem a 0. (Figura 73).
2. Més endavant, després de fer el test modificarem els valors segons la nostra conveniència.

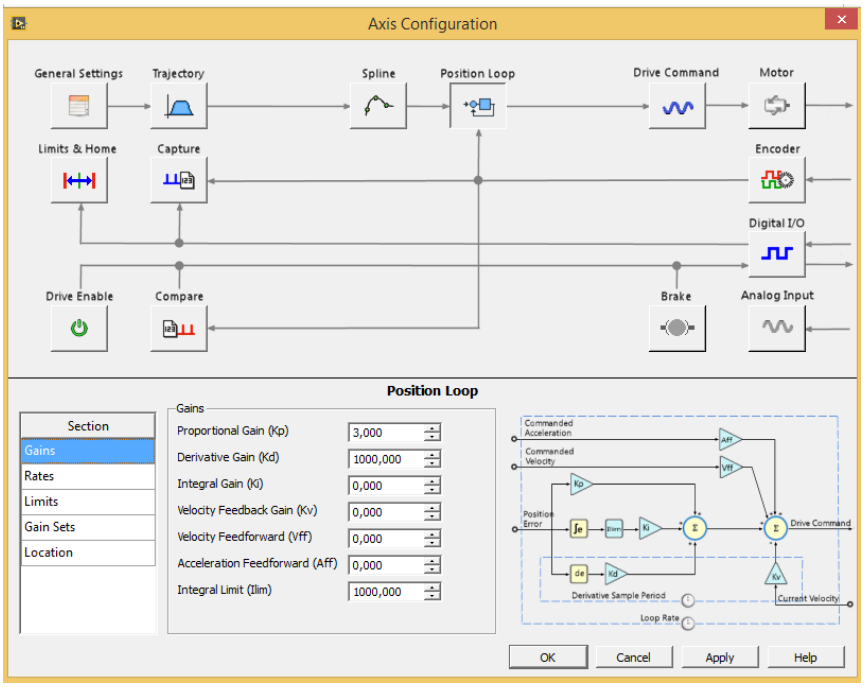


Figura 73. Axis configuration – Position loop – Gains

3. Acotem el límit d'error de posició a 10mm. (Figura 74).

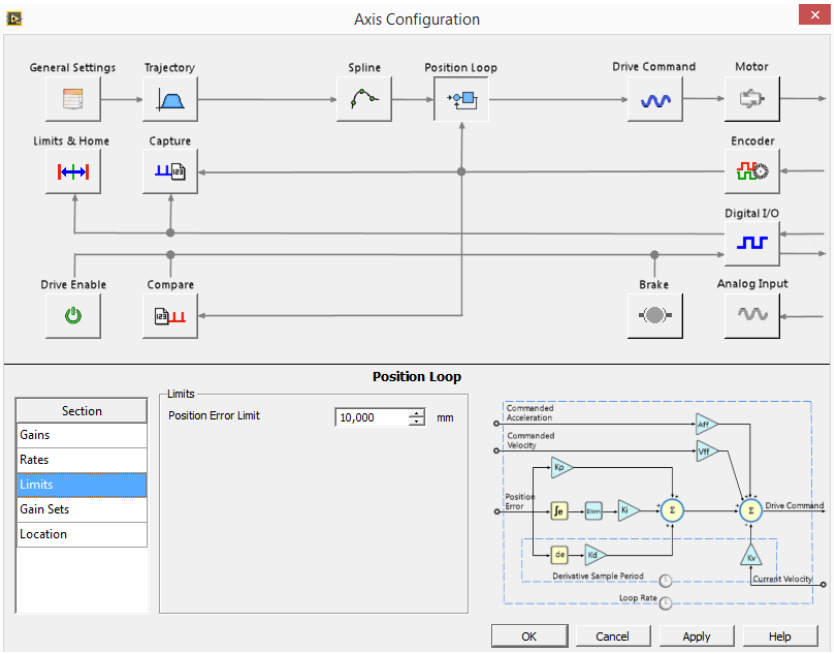


Figura 74. Axis configuration – Position loop – Limits

5.3.5 Encoder:

1. En el requadre de les unitats i posarem mm. (Figura 75).
2. Inicialment posarem 1000 counts per mm i més endavant posarem els counts per mm que necessita cada eix. D'aquesta manera podrem obtenir més precisió.
3. La velocitat màxima a la que hem de limitar l'encoder serà 1000000.

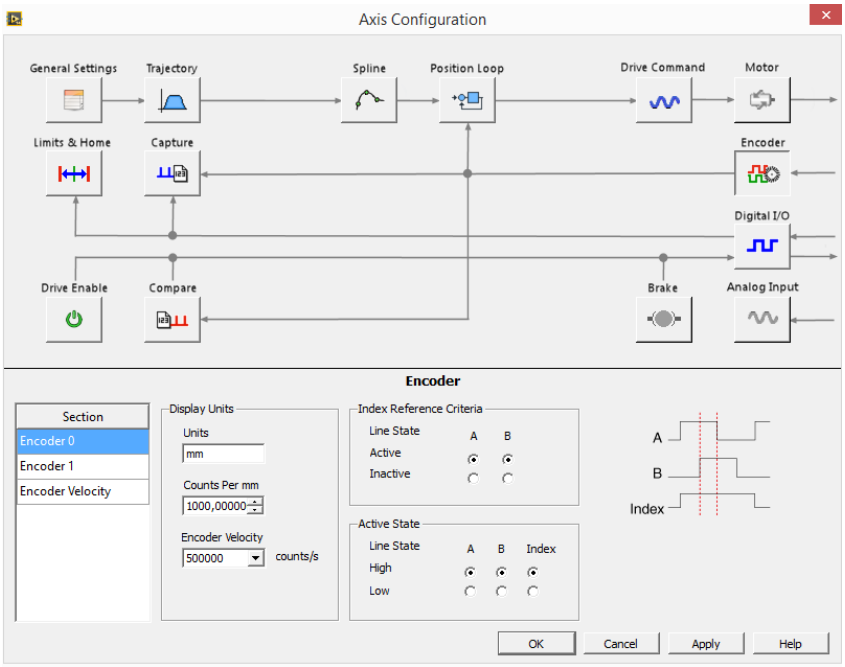


Figura 75. Axis configuration – Encoder

5.3.6 Digital I/O:

1. L'entrada digital DI 0 (MDR Pin 4) no la mapajem ja que no l'utilitzem. És una entrada externa. (Figura 76).
2. L'entrada digital DI 1 (DSUB Pin 8) ens interessa mapejar-la en mode Drive Fault/Alarm. Aquest mode el que fa és desactivar la unitat en cas d'haver-hi un error en aquella unitat. El tipus d'entrada serà Sinking, l'estat actiu serà Off i el filtre digital serà de 50 us, ja que és l'amplada del pols mínima

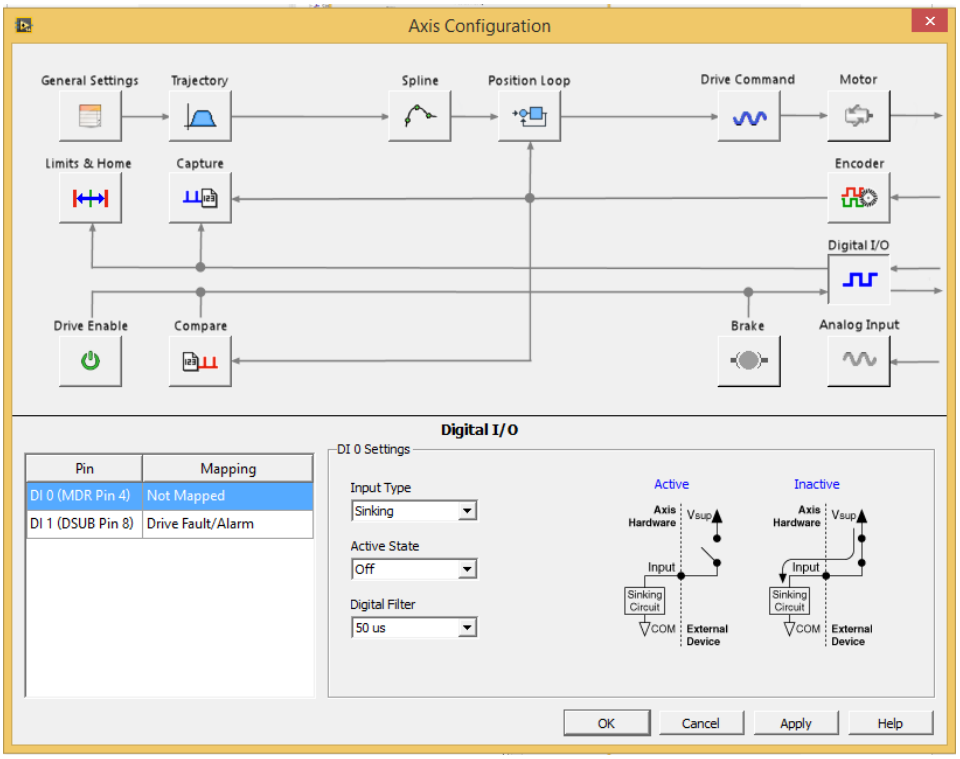


Figura 76. Axis configuration – Digital I/O

5.3.7 Drive Enable:

El drive Enable és un senyal digital de sortida que està en el pin 2 del DSUB. La tindrem activa, i la posarem com a tipus de sortida Sourcing, estat actiu On i estat de seguretat Off. En el nostra cas establim com estat de seguretat el contrari que l'estat actiu, ja que el senyal no estarà activat quan s'hagi produït un fallo de hardware. (Figura 77).

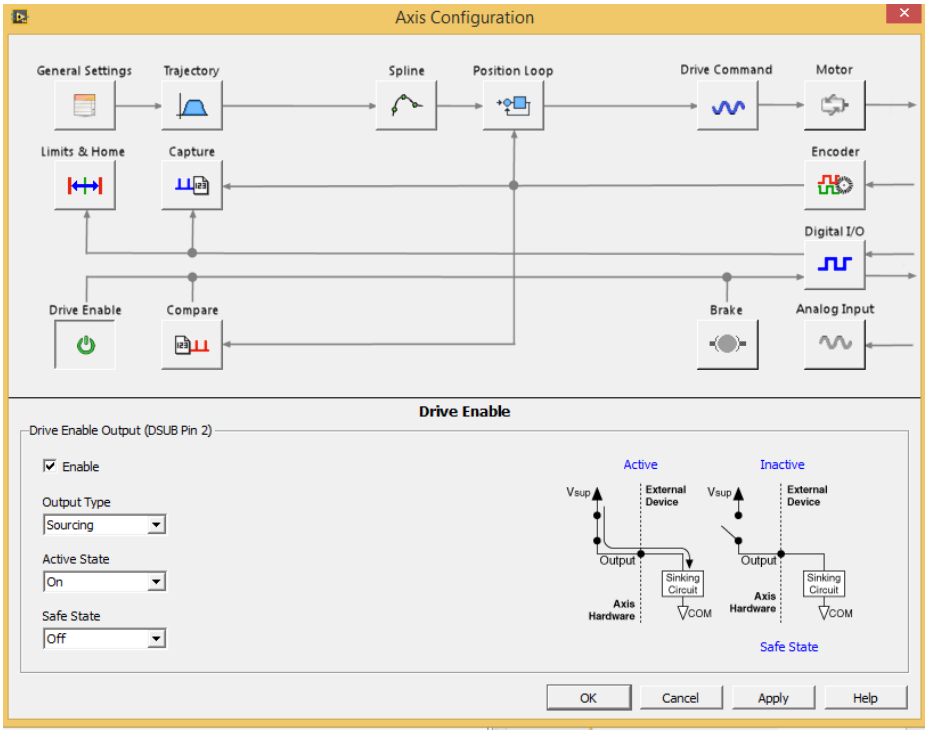


Figura 77. Axis configuration – Drive Enable

5.3.8 Limits & Home:

Nosaltres no farem servir les entrades MDR Pin 1, Pin 2 i Pin 11 ja que són externes i no utilitzarem cap tipus de sensor de final de carrera. Per aquest motiu, hem hagut de desactivar, desmarcar l'enable, del Forward Limit, el Reverse Limit i el Home i en el cas del Forward Limit i Reverse Limit a més de desactivar-los, també hem marcat com a estat actiu Off, ja que d'aquesta manera prevenim warnings. (Figura 78).

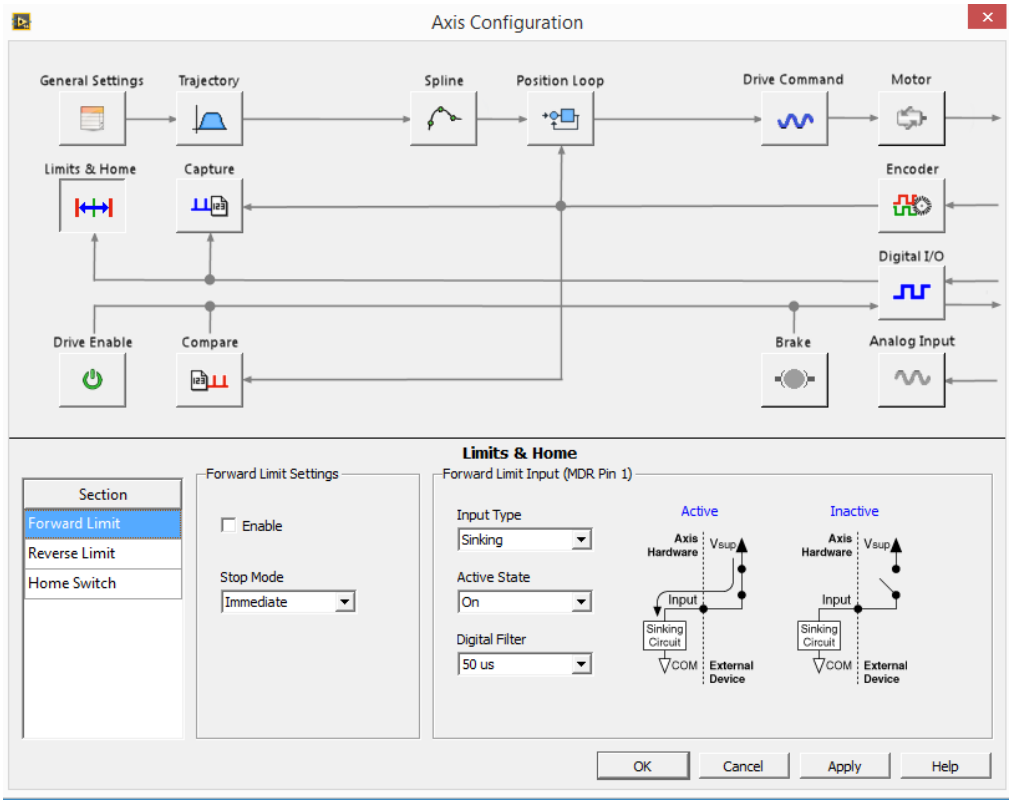


Figura 78. Axis configuration – Limits & Home – Forward Limit

5.4 Configuració del drive AKD a través del programa AKD WorkBench de Kollmorgen:

1. Seleccionem el drive AKD de la pota en concret, en el nostre exemple és la pota 6, i premem a "connect". Seguidament ens apareixerà la Figura 79.

2. Configurarem la font de comandament com a *3 - Analog* i el mode d'operacions com a *0 – Torque mode.* Ja que, el que volem és que treballi en analògic i pel parell de força. (Figura 79)

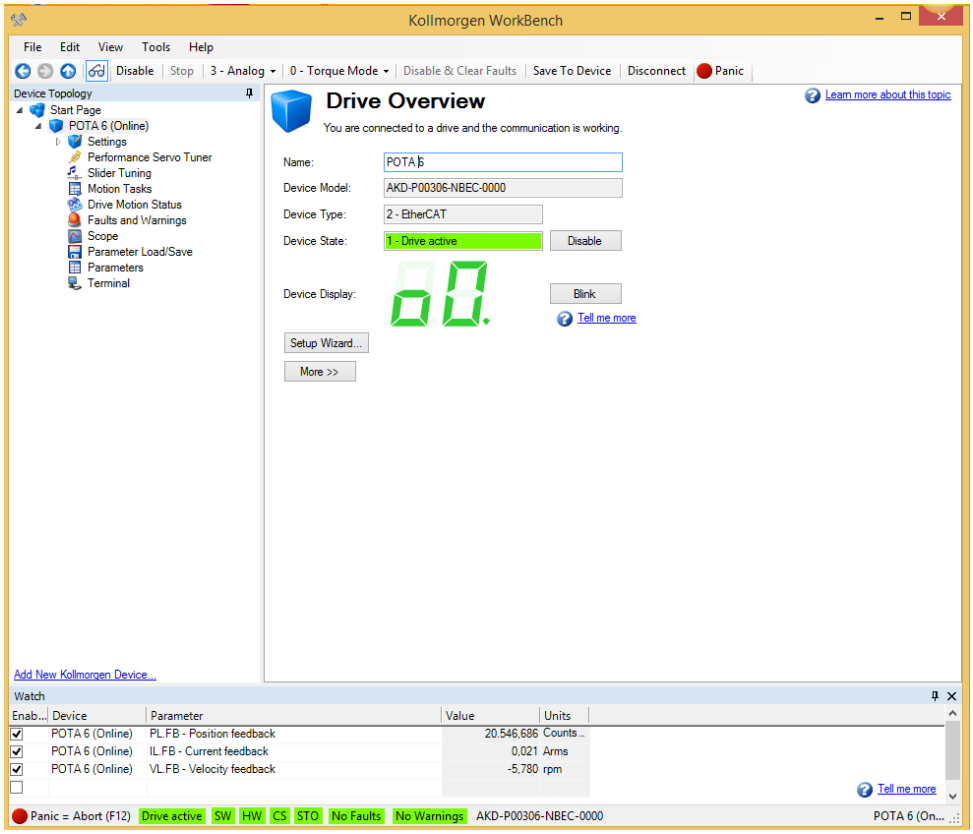


Figura 79. Kollmorgen WorkBench – Drive Overview

3. Seleccionem Settings (a la part esquerra de la finestra) i ens assegurem que la font de comandament estigui en mode analògic i que el mode d'operacions estigui en mode parell. (Figura 80).

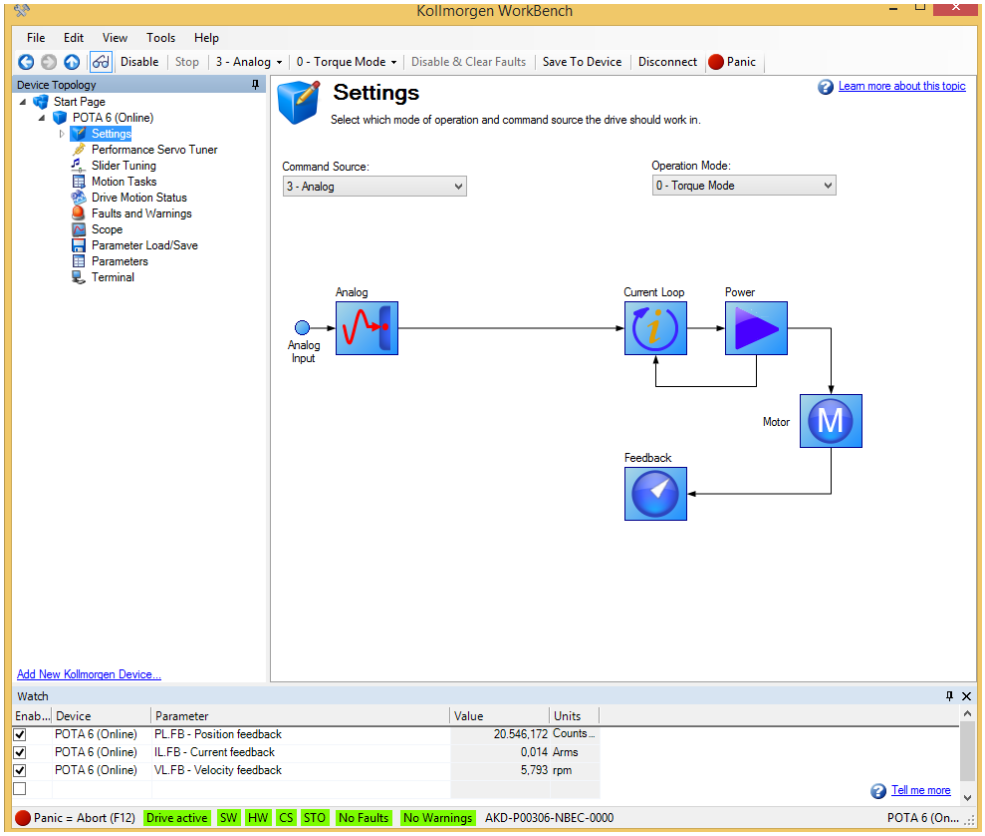


Figura 80. Kollmorgen WorkBench – Settings

4. Expandeix l'opció Settings i obre la pàgina de l'Encoder Emulation. (Figura 81).

5. Selecciona 1 - Output – With once per rev index pulse dins la llista del requadre Emulation Mode.

6. La resolució del encoder la deixarem a 2000 lines/rev. Ja que 2000 lines/rev equival a 1000 counts per mm.

7. Escriurem un 0 a l'index Offset.

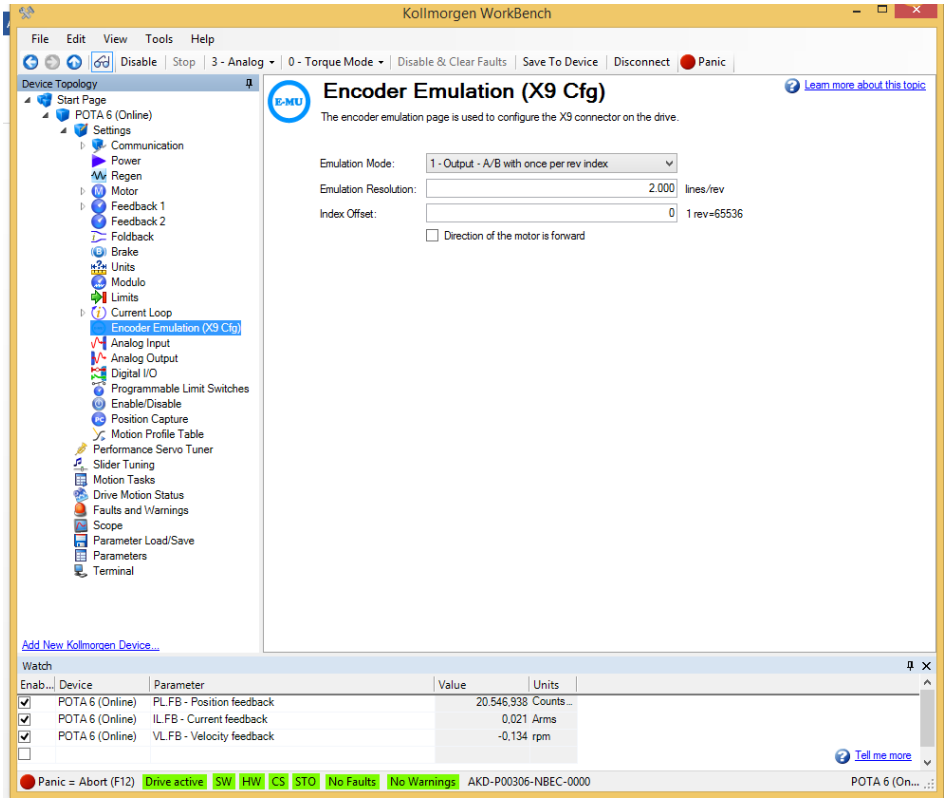


Figura 81. Kollmorgen WorkBench – Encoder Emulation

8. Despleguem l'opció de configuració i obrim la pàgina TCP/IP. (Figura 82).

9. Assignarem una adreça IP fixe per cada pota, d'aquesta manera podrem ressetejar els drives per software. El drive [1] : 192.168.5.31, drive [2]: 192.168.5.32, drive [3] 192.168.5.33, drive [4]: 192.168.5.34, drive [5]: 192.168.5.35, i drive [6]: 192.168.5.36.

10. La màscara de xarxa (per tots: 255.255.255.0).

11. La gateway (per tots: 192.168.5.1).

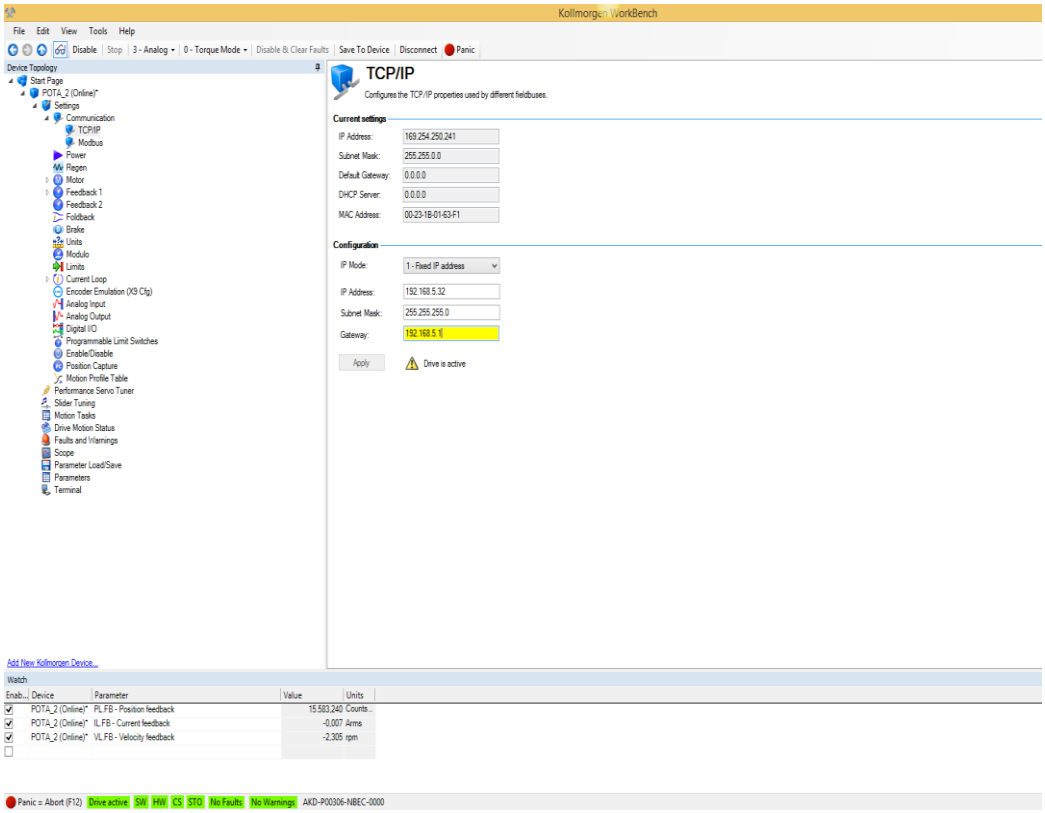


Figura 82. Kollmorgen WorkBench – TCP/IP

12. Obrim la pàgina del motor. (Figura 83).

13. Seleccionem el tipus de motor que tenim AKM23D-EFB2C-00.

14. Seleccionant el tipus de motor, el programa assignarà tots els paràmetres característics d'aquest, seguidament cal comparar-ho amb el manual. En el cas de que hi hagi algun paràmetre que no coincideixi, cal modificar-lo.

15. Ens apuntem el valor del corrent continu del motor, en el nostre cas es, 2.093 Arms.

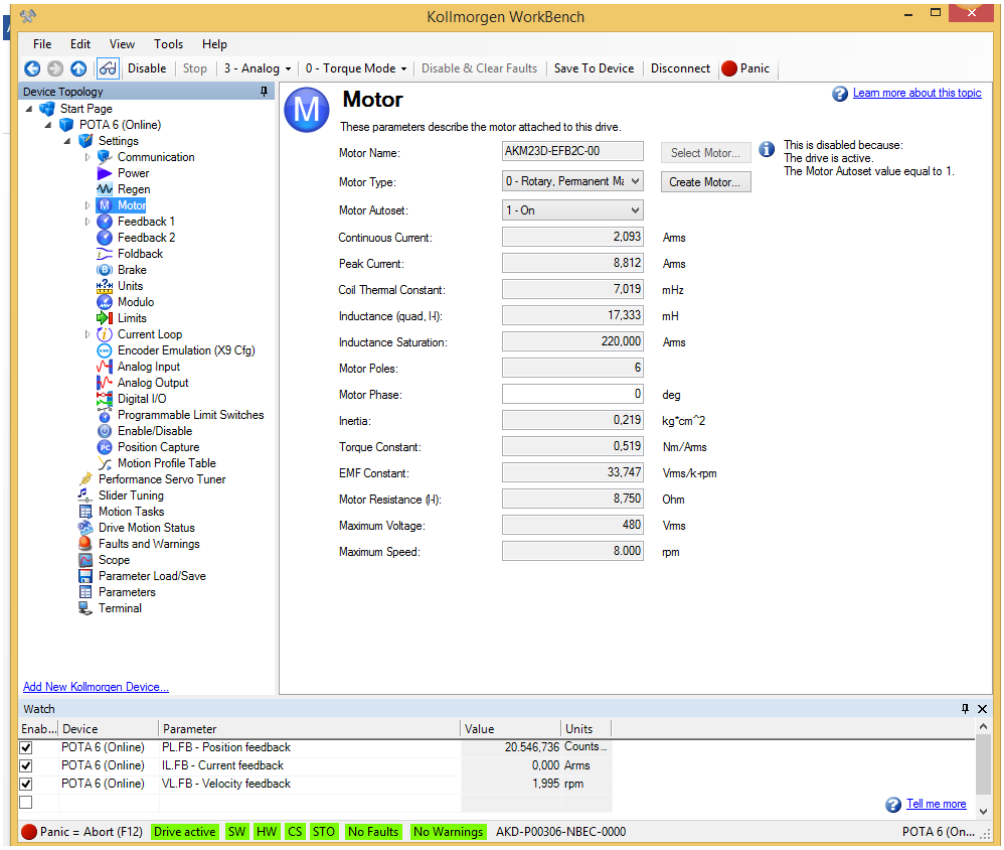


Figura 83. Kollmorgen WorkBench – Motor

16. Obrim la pàgina Analog input. (Figura 84).

17. Scale = Arms/V. Nosaltres com a màxim tindrem 10V de tensió d'entrada analògica així que el valor que hem de posar a Scale serà:

$$Scale = \frac{corrent\ continu\ Motor}{Tensió\ analògica\ màx} = \frac{2.093}{10} = 0.2093\ \simeq 0.209\ Arms/V$$

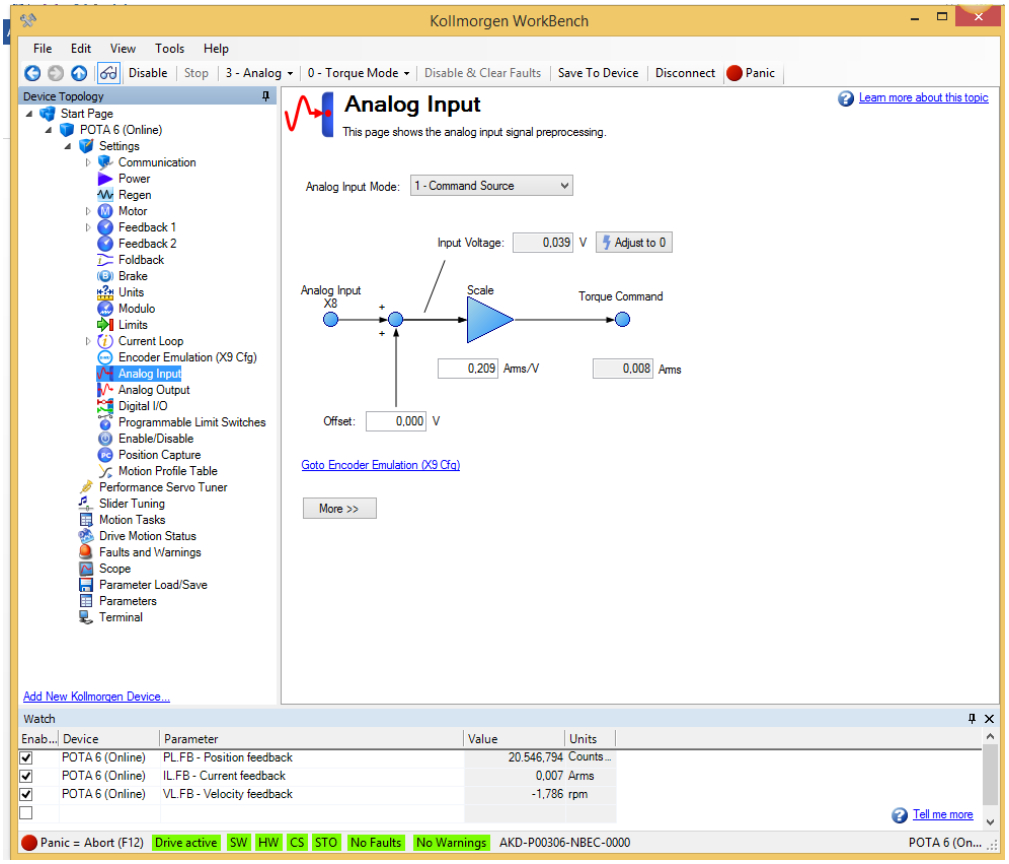


Figura 84. Kollmorgen WorkBench – Analog Input

18. Cliquem sobre Parameters i expandim la secció Drive. (Figura 85).

19. Dins de l'opció Software enable default posem 1.

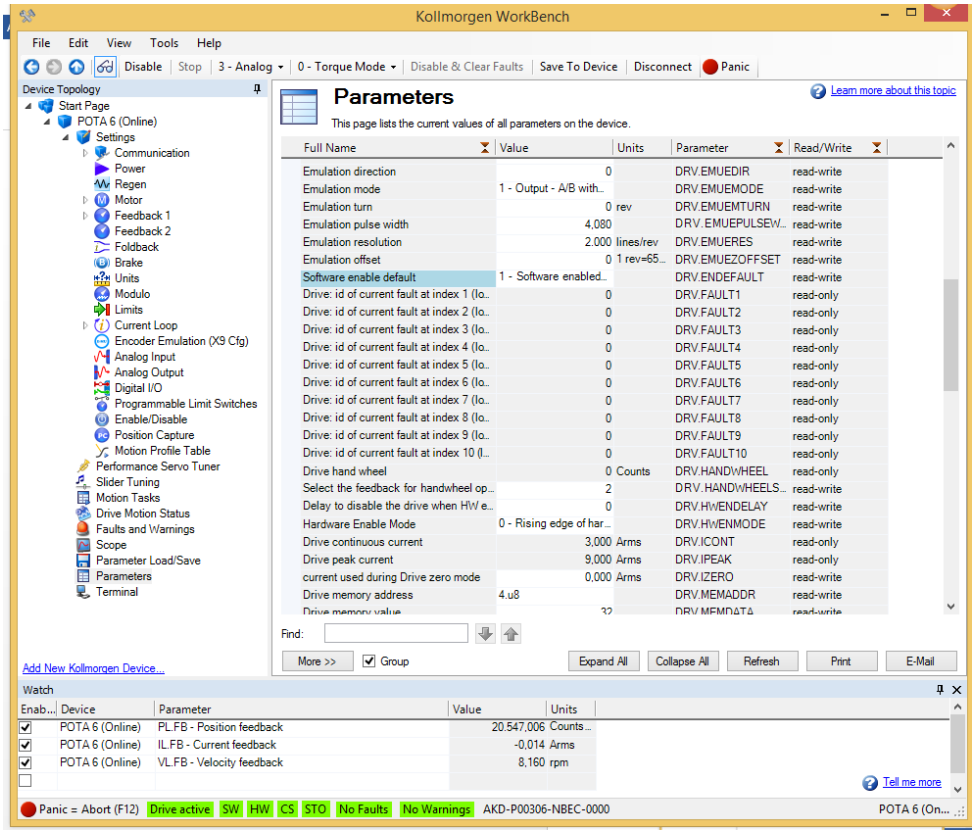


Figura 85. Kollmorgen WorkBench – Parameters

20. Finalment guardem les modificacions (save to Drive) i repetim el procés per a cada drive.

5.5 Test dels Drives utilitzant LabVIEW:

Utilitzarem l'opció Interactive Test Panel per comprovar i depurar el sistema de moviment i els valors de configuració de l'eix seleccionat.

1. Clic dret sobre un eix del projecte i seguidament seleccionem Interactive Test Panel. En obrir aquesta finestra, s'enviarà la configuració de l'eix a la CompactRIO i activarà les E/S del mòdul.

2. En la pestanya Move, establim a 25 mm la posició.

3. En la pestanya Move Constraints, establim a 10 mm/seg la velocitat.

4. Fem clic sobre el botó Start, que està situat a la part inferior de la finestra, per iniciar el moviment amb les opcions configurades.Haurem de comprovar que realment el cilindre avanci 25mm, si no es així haurem de modificar el valor de counts per mm, situat dins del quadre Axis configuration – Encoder, d'unitat en unitat.

Així que els eixos després de les modificacions pertinents tenen els següents valors en el camp de counts per mm:

- Eix 1 → 1000 counts/mm
- Eix 2 → 1004 counts/mm
- Eix 3 → 1002 counts/mm
- Eix 4 → 1003 counts/mm
- Eix 5 → 1000 counts/mm
- Eix 6 → 1003 counts/mm

Com es pot veure s'ha hagut d'estudiar eix per eix per obtenir el valor adequat per cada un d'ells. D'aquesta manera aconseguim que tots tinguin un error de posició de +/- 1 mm.

5.6 Modificació del PD:

Utilitzarem el Gain Tuning Panel per determinar la estabilitat relativa d'un sistema servo i ajustar les constants del llaç de control. Un sistema es considera estable si la posició resultant del motor i la posició de consigna acaben sent una única posició.

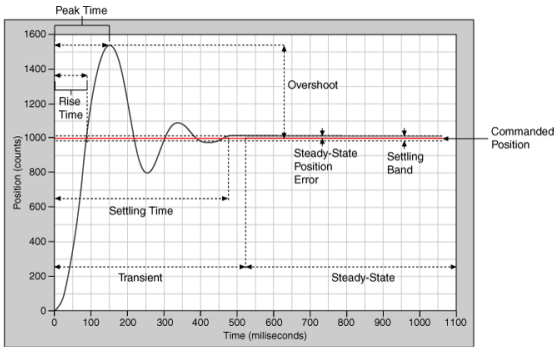


Figura 86. Esquema d'una resposta del sistema

Posteriorment explicarem els 6 tipus de resposta més comuns versos una entrada graó.

- **(Figura 87) Inestable:** Aquesta resposta és inestable, de fet, les oscil·lacions tendeixen a empitjorar amb el temps.

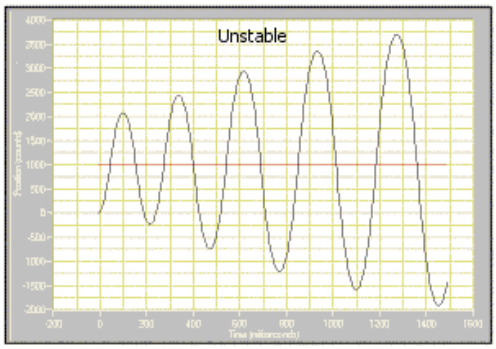


Figura 87. Resposta Inestable

- **(Figura 88) Sobre- esmorteït:** Produeix una resposta més lenta i més suau. Aquest tipus de sistemes es caracteritzen per tenir un temps de pujada molt llarg i per no traspassar la consigna.

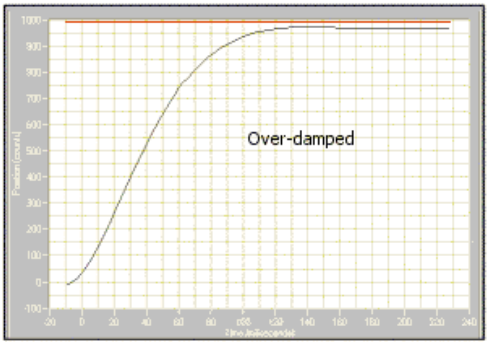


Figura 88. Resposta sobre-esmorteït

- **(Figura 89) Sub-esmorteït:** Produeix una resposta oscil·latoria que amb el temps s'amortitza.

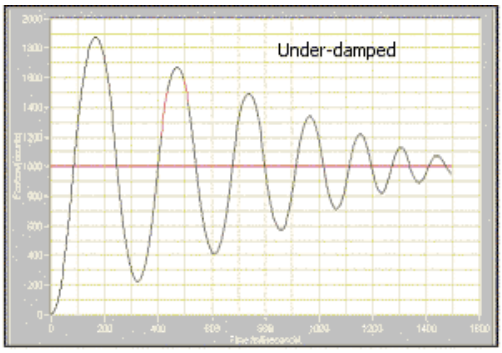


Figura 89. Resposta Sub-esmorteït

- **(Figura 90) Críticament esmorteïda:** Proporciona un equilibri mig entre el sobre i el sub-esmorteït. Aquest tipus de resposta del sistema equilibra el temps de resposta i els efectes d'amortització. Es caracteritza per tenir una resposta ràpida.

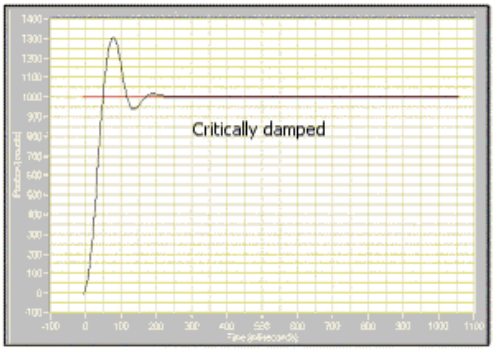


Figura 90. Resposta críticament esmorteïda

- **(Figura 91) Oscil·latòria:** És una oscil·lació contínua, amb una amplitud constant. Però el temps d'estabilització és infinit.

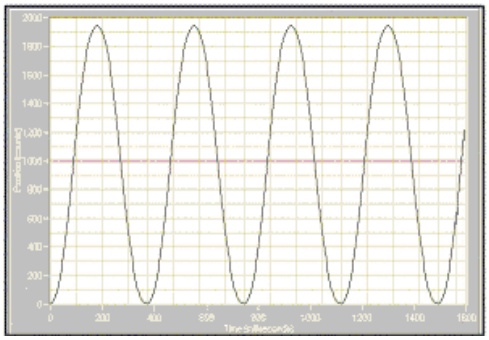


Figura 91. Resposta oscil·latòria

Tenim tres constants a modificar; constant proporcional (Kp), Constant derivativa (Kd) i Constant integral (Ki). A l'augmentar la Kp s'apropa més ràpid a la posició ordenada i el cilindre té més força (pot moure més pes), per contra es produeix un pic més alt. Però si aquesta tendeix a 0, el cilindre no tindrà força per moure's. La Kd redueix les oscil·lacions durant un període de temps després del pic inicial.

A l'ajustar un sistema és necessari trobar el punt d'equilibri entre Kp i Kd, per tal que hi hagi suficient temps de resposta (principalment Kp) sobre pic mínim (principalment Kd), sense haver d'augmentar o disminuir massa els guanys. Augmentar o disminuir massa els guanys podrien malmetre el motor. La Ki s'utilitza per corregir l'error de posició d'estat estacionari, i és típicament l'últim pas.

1. Fem clic dret sobre, per exemple, el primer eix del projecte i seleccionem Gain Tuning Panel.
2. Fem clic sobre el botó Control Loop Gains, que ens mostrarà el quadre de guanys del llaç de control.
3. Comprovem que els valors introduïts en el apartat 5.3 configuració del eix siguin els següents; Kp 50, Kd 1000, i Ki 0.
4. Cliquem acceptar.
5. A la pestanya move introduirem els valors mostrats a la Figura 92.

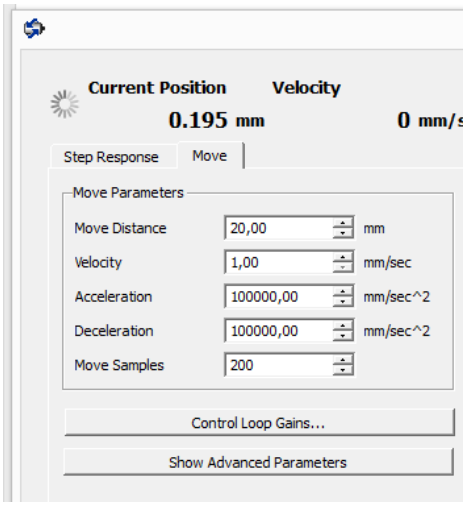


Figura 92. Pestanya move del Gain Tuning Panel

6. A la pestanya Step Response introduirem els valors mostrats a la Figura 93.

Figura 93. Pestanya Step Response del Gain Tuning Panel

7. Premem el boto inici, i veureu la resposta del sistema en vers una entrada graó.
8. La resposta més òptima que hem trobat és amb un disseny PD de valor Kp 10 i valor Kd 1100 (Figura 92).

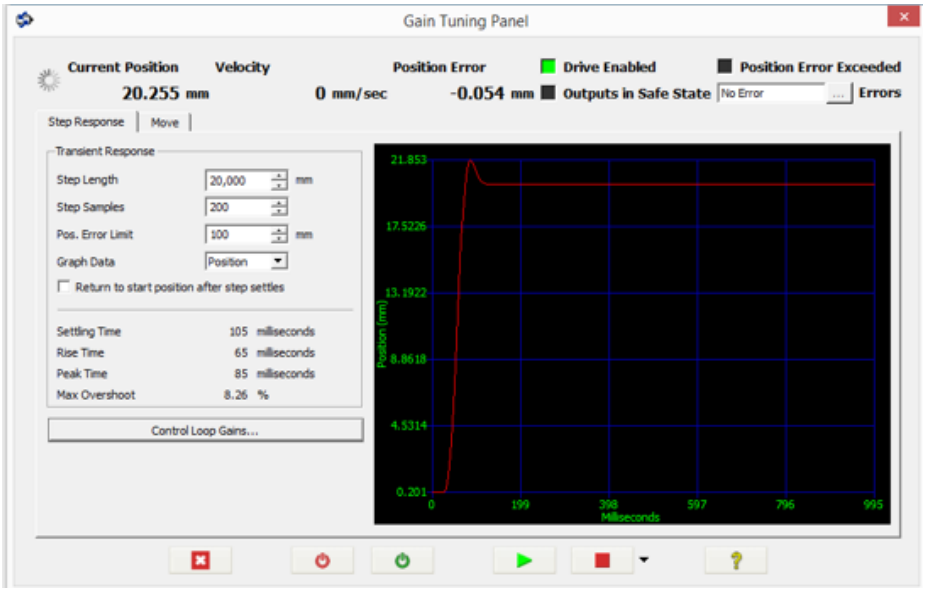


Figura 94. Resposta del sistema

Com podem observar l'error de posició és de 0.054 mm, per tant, no dissenyarem un PID ja que afegir-li a aquest sistema un guany integratiu empitjoraria la resposta.

El nostre disseny final doncs és un PD de valors:

- Kp → 10
- Kd → 1100
- Ki → 0

9. S'hauran de modificar aquests valors a tots els motors.

6 PROGRAMA LABVIEW:

En aquest apartat s'explicaran tots els VI's i SubVI's que conformen el projecte Stewart 2. A la Figura 95 es mostra l'aspecte general que té el nostre projecte.

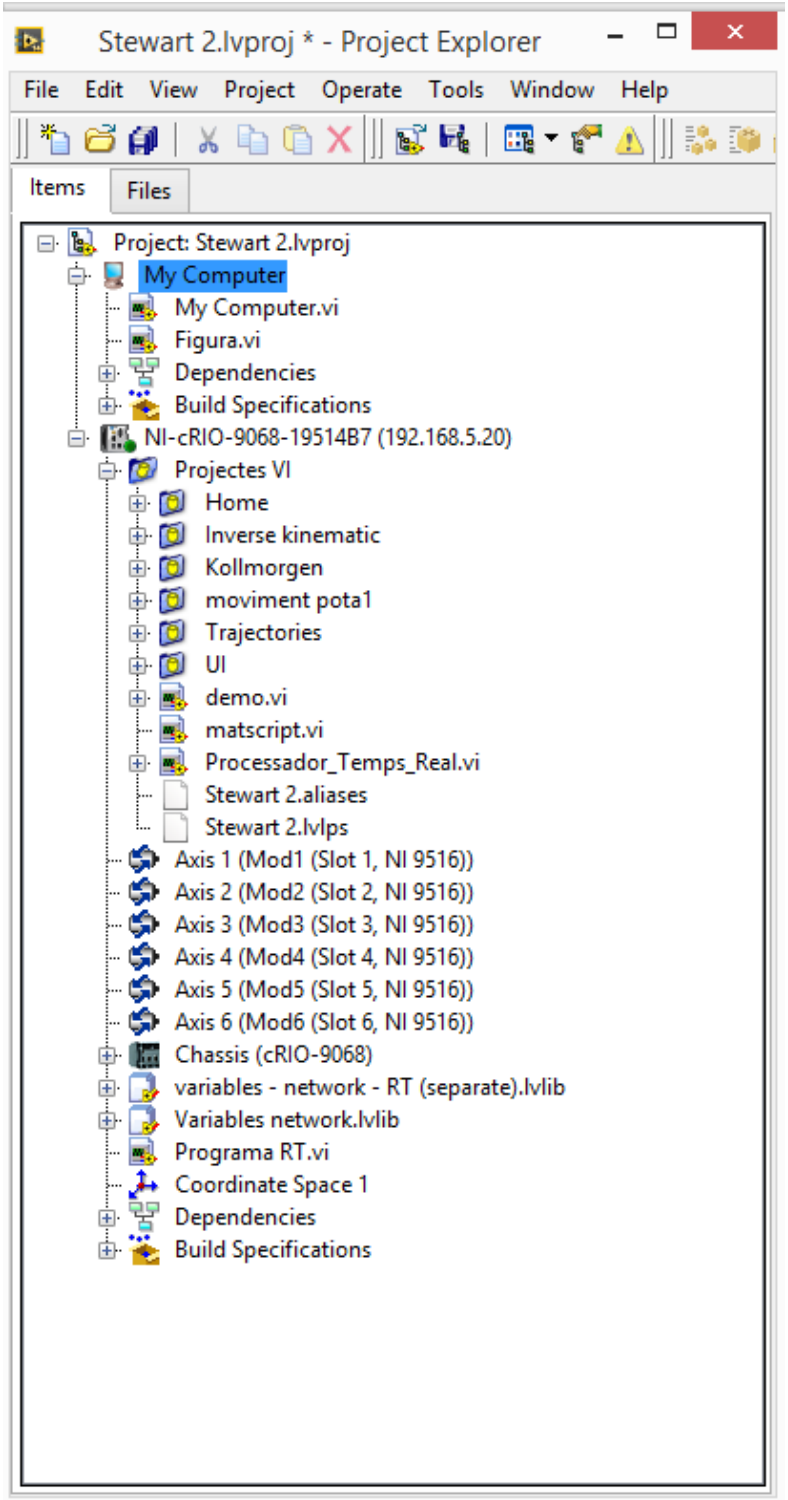


Figura 95

6.1 My Computer:

El VI My Computer és el VI utilitzat per controlar la plataforma des de l'ordinador, és on hi figura el panell d'usuari de control.

6.1.1 Panell Frontal (Figura 96):

- **Botó Home:** la plataforma es col·loca a la posició de treball, en el nostre cas el 0,0,0 és el mig.
- **Botó Go!:** Es troba situat en el requadre Move to position, on pots seleccionar Centre (Home), Extended o Retracted, i al prémer GO! la plataforma anirà a la posició indicada a 20 mm/s que és la velocitat pre programada.
- **Botó apply IK?:** Aquest botó té la funció d'activar o no la cinemàtica inversa, en vers les dades introduïdes en el requadre Stewart i en el requadre de trajectòries.
- **Botó go! ST:** Aquest botó es troba dins el requadre Stewart el qual tens l'opció d'introduir uns valors en la matriu que fan referència al valor absolut el qual vols que vagi cada pota (en cas de tenir el apply IK? Desactivat) o bé, fa referència a les coordenades i els angles els quals vols que vagi la plataforma (en cas de tenir el apply IK? Activat). Al prémer el botó go! ST la plataforma anirà a la posició indicada.
- **Botó Automatic move:** Al prémer aquest botó la plataforma comença a executar la trajectòria escollida en les pestanyes de trajectòria (Sine, Espiral o File).
- **Botó SORTIR:** Surt de l'execució del programa.
- **Botons motors/potes:** Aquests botons serveixen per indicar sobre quins motors actuar.
- **Botó STOP & RESET:** Aquest botó para/frena els motors per software i reseteja els drivers, ja que quan frenes els motors, es desactiven els drivers, i d'aquesta manera els tornem a activar.
- **Requadre Position:** Dins aquest requadre es troben 6 indicadors de posició visual de cada pistó.
- **Gràfica pos (mm):** Es troba dins el requadre de visualització gràfica i els 6 primers valors d'aquesta gràfica, mostra la posició real de cada

cilindre i els 6 últims valors, mostra la posició desitjada de cada cilindre.

- **Gràfica vel (mm/s):** Es troba dins el requadre de visualització gràfica i els 6 primers valors d'aquesta gràfica, mostra la velocitat real a la que es mou cada cilindre i els 6 últims valors, mostra la velocitat desitjada a la que voldries que es mogués cada cilindre.
- **Gràfica ERRORS1:** Es troba dins el requadre de visualització gràfica i mostra l'error de posició en valor absolut de cada cilindre.
- **Gràfica Consum CPU:** Es troba dins el requadre de visualització gràfica i mostra el consum de cada nucli de la CPU (2 nuclis).

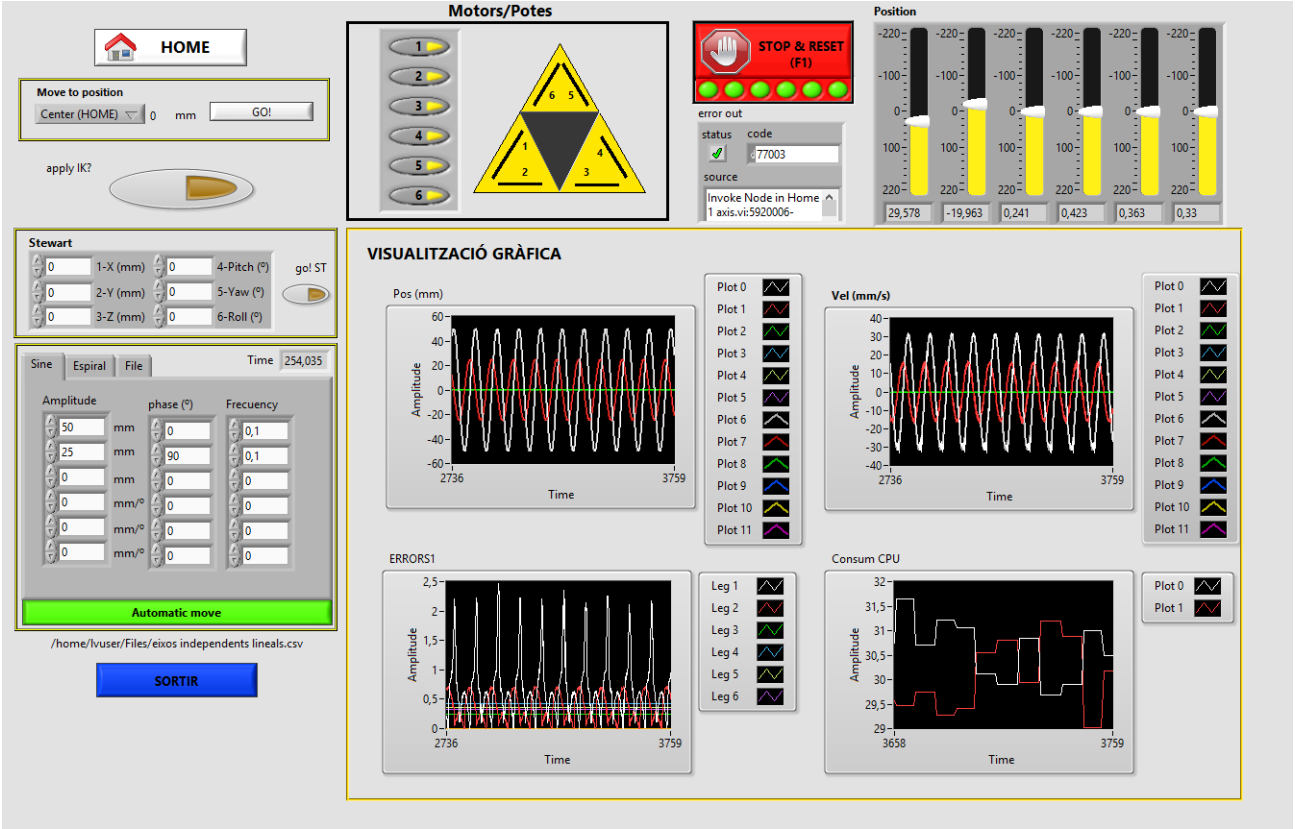


Figura 96. Pantalla principal

6.1.2 Diagrama de blocs:

Utilitzarem variables network, perquè d'aquesta manera tindrem un programa (Progrma RT) que s'executarà a la CompactRIO i un programa (My Computer) que s'executarà a l'ordinador i es transferirà la informació a través de les variables network. (Figura 97).

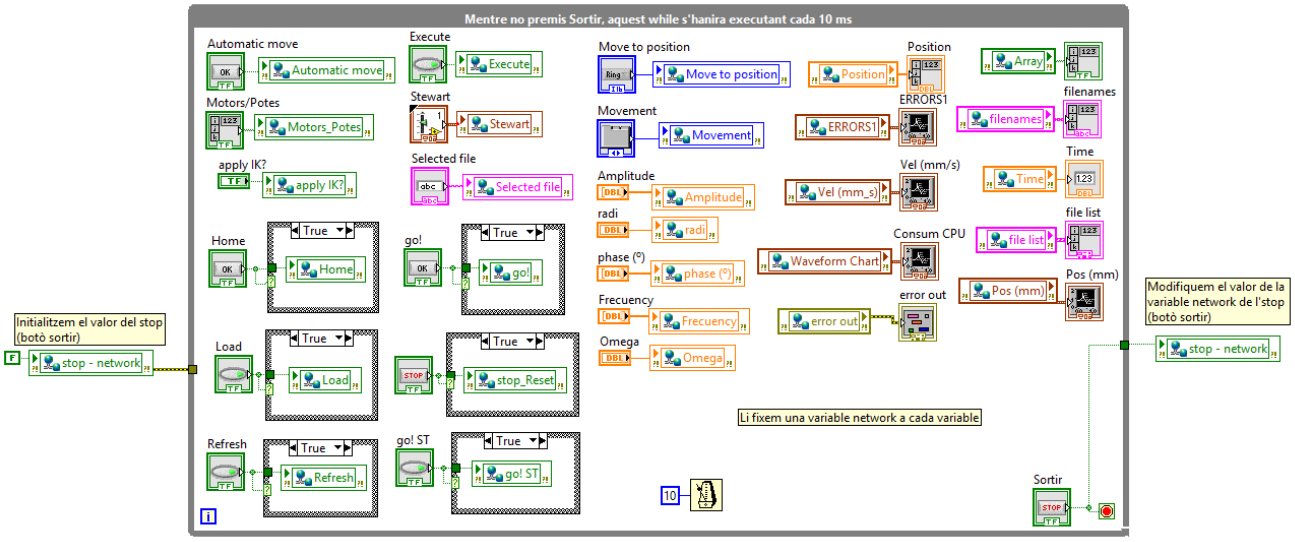


Figura 97

6.2 Programa RT:

VI on hi ha escrit el programa principal, el programa que s'executa constantment a la CompactRIO.

L'explicarem amb tres parts (Figura 98):

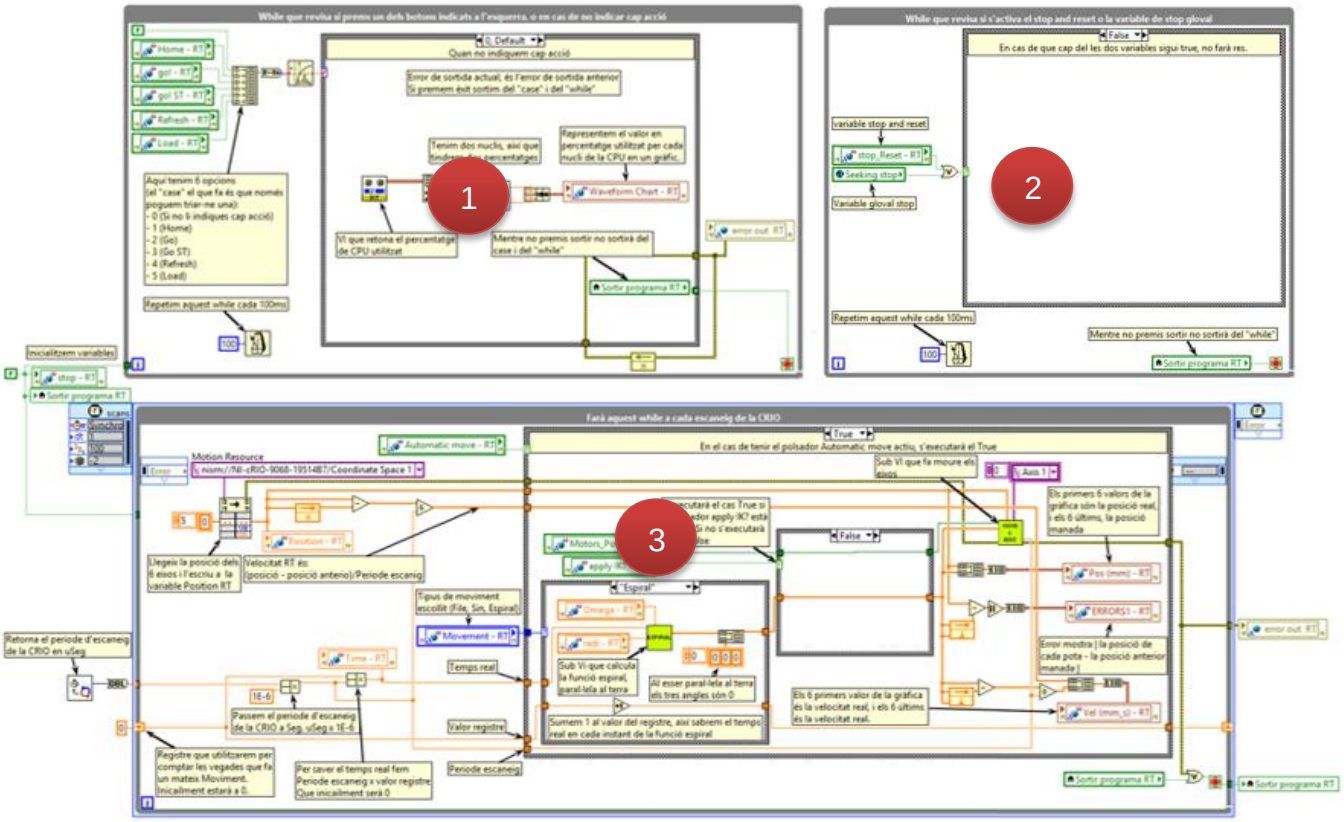


Figura 98. Program RT

- **1ª part del Programa RT:**

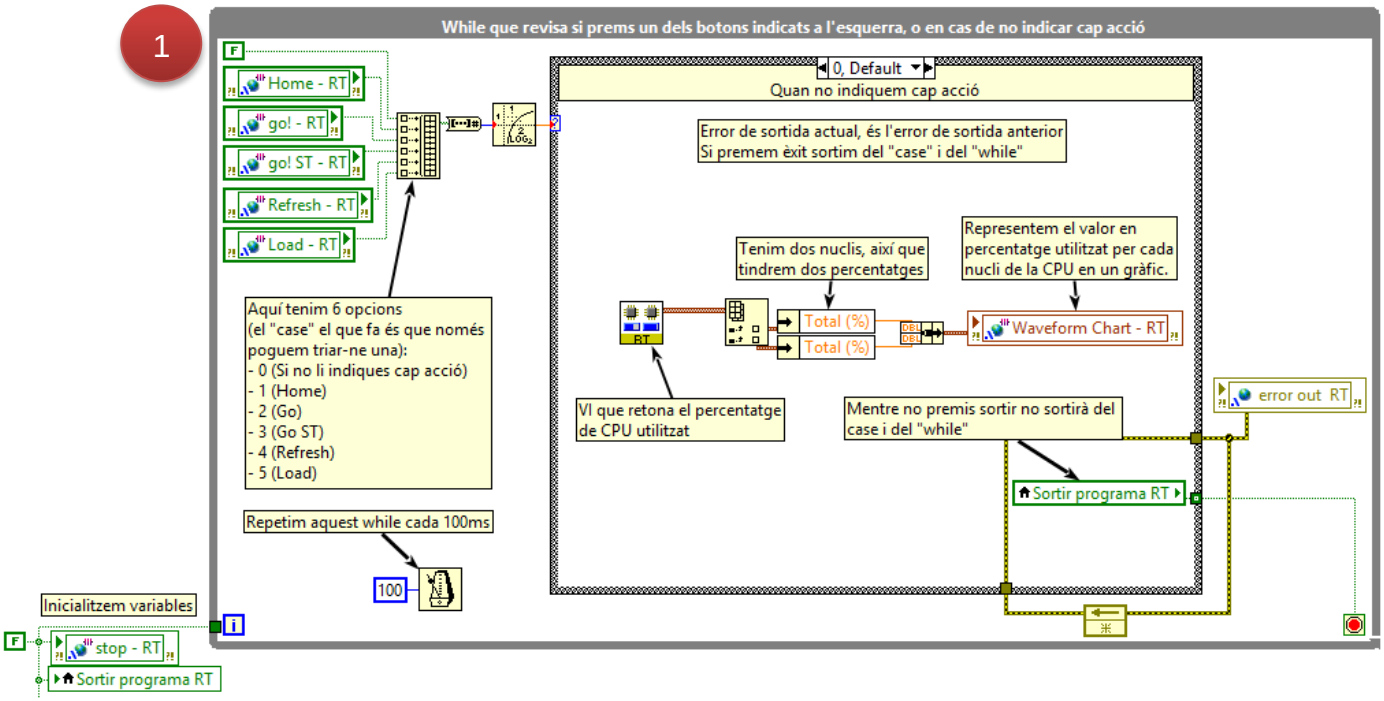


Figura 99. 1ª part del Programa RT

- Dins el "while" (Figura 99) ens trobem un "case" de 6 opcions:

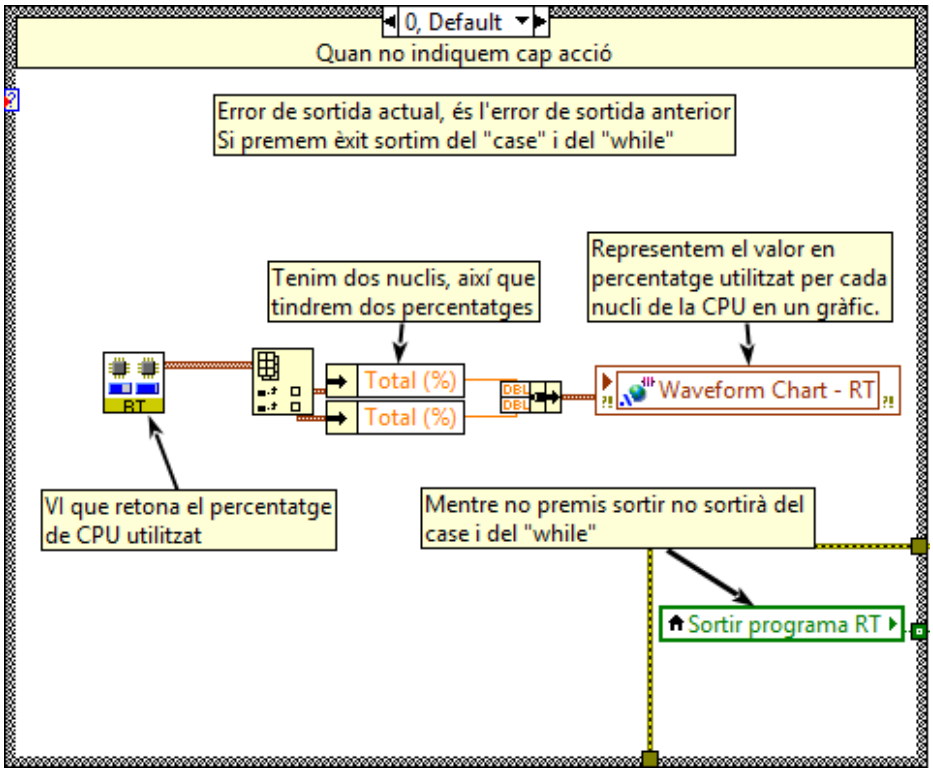


Figura 100. "Case" 0, cap acció (1ª part Programa RT).

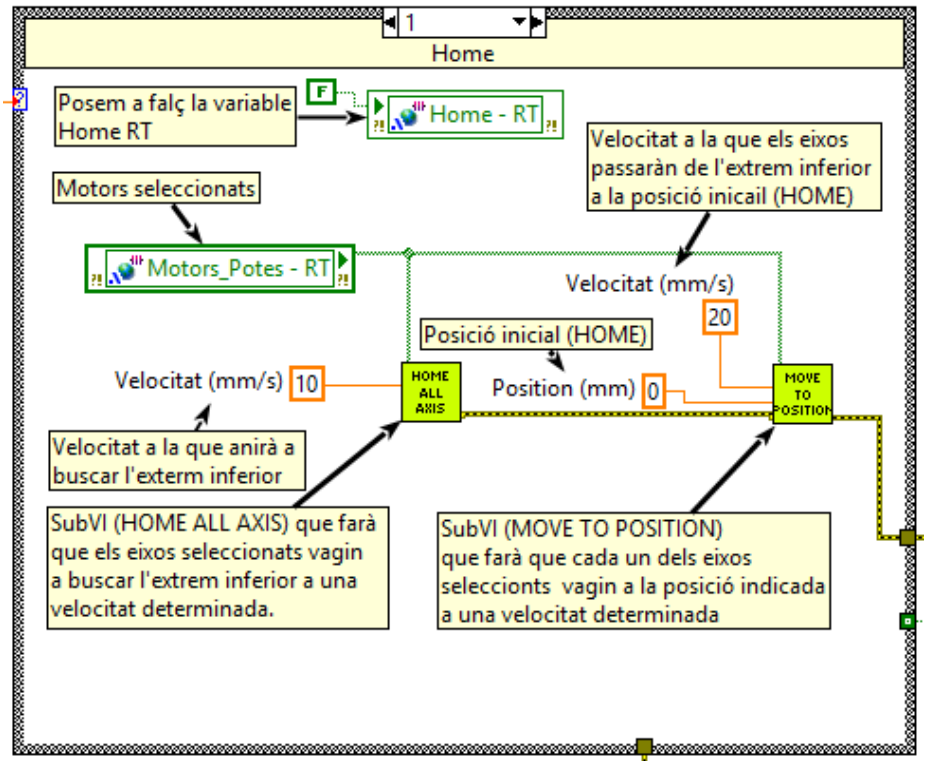


Figura 101. "Case" 1, maniobra Home (1ª part Programa RT)

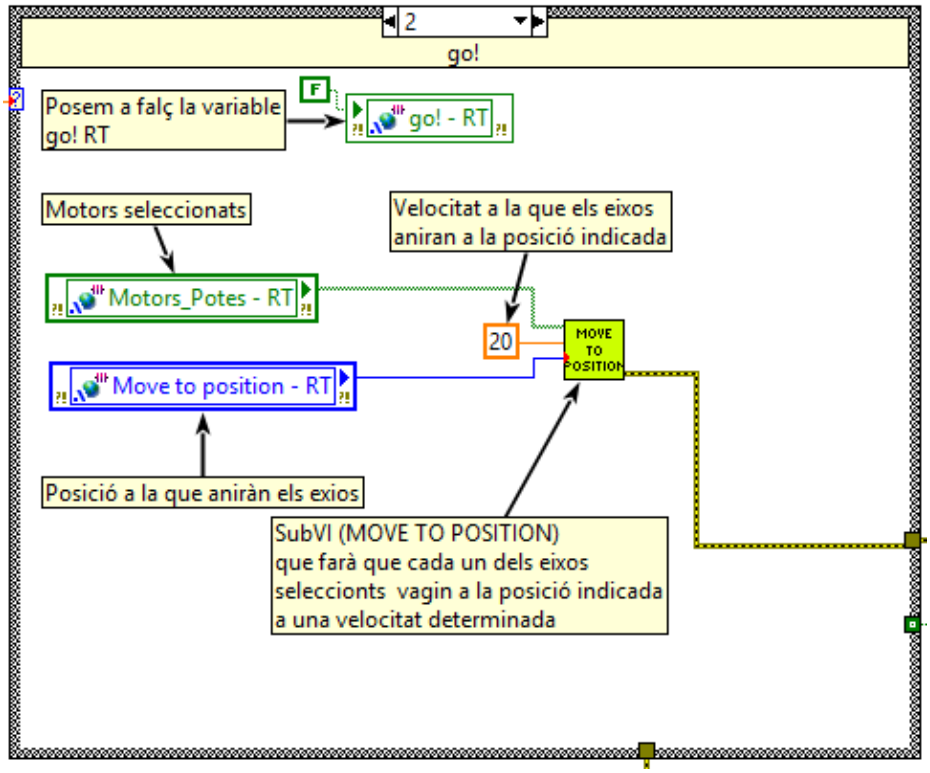


Figura 102. "Case" 2, maniobra go! (1ª part Programa RT).

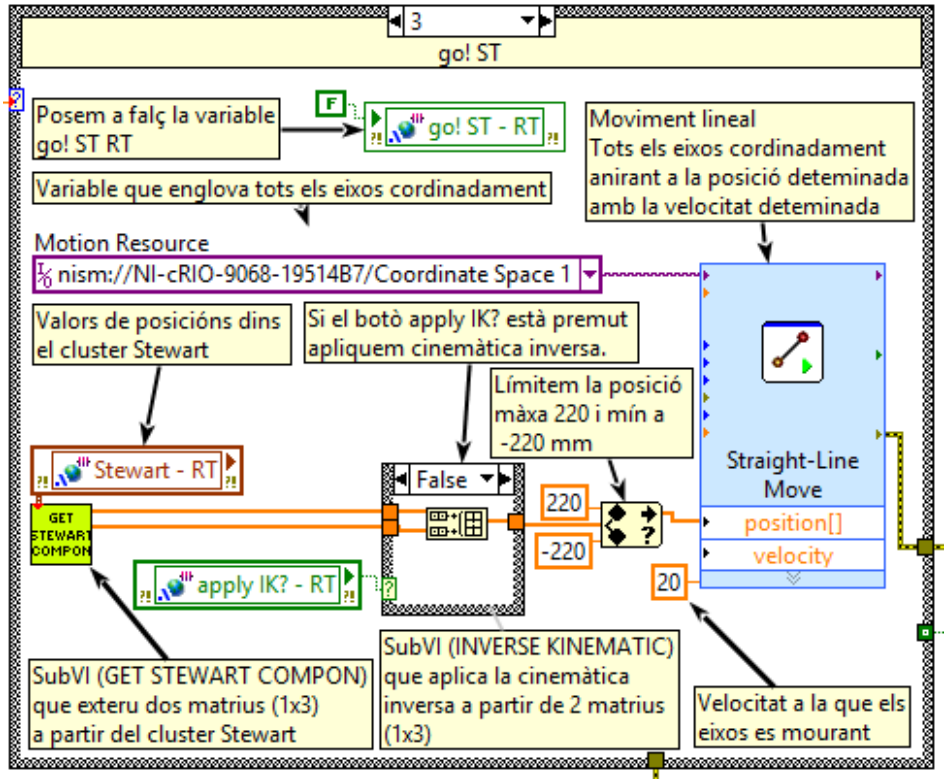


Figura 103. "Case" 3, maniobra go! ST (1ª part Programa RT).

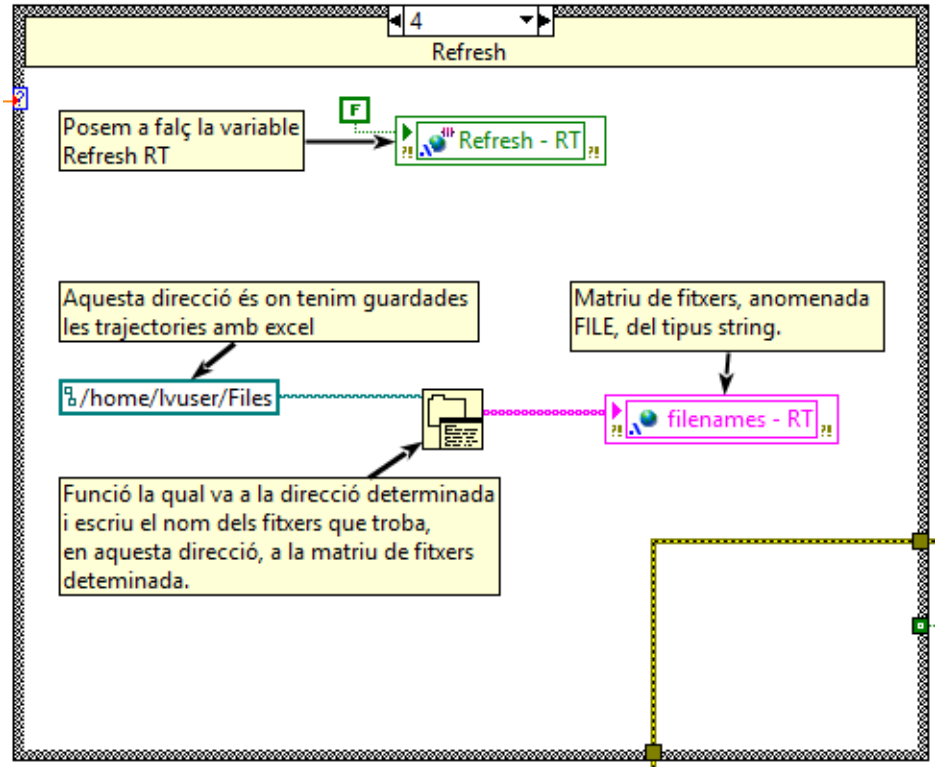


Figura 101. "Case" 4, Refresh (1ª part Programa RT).

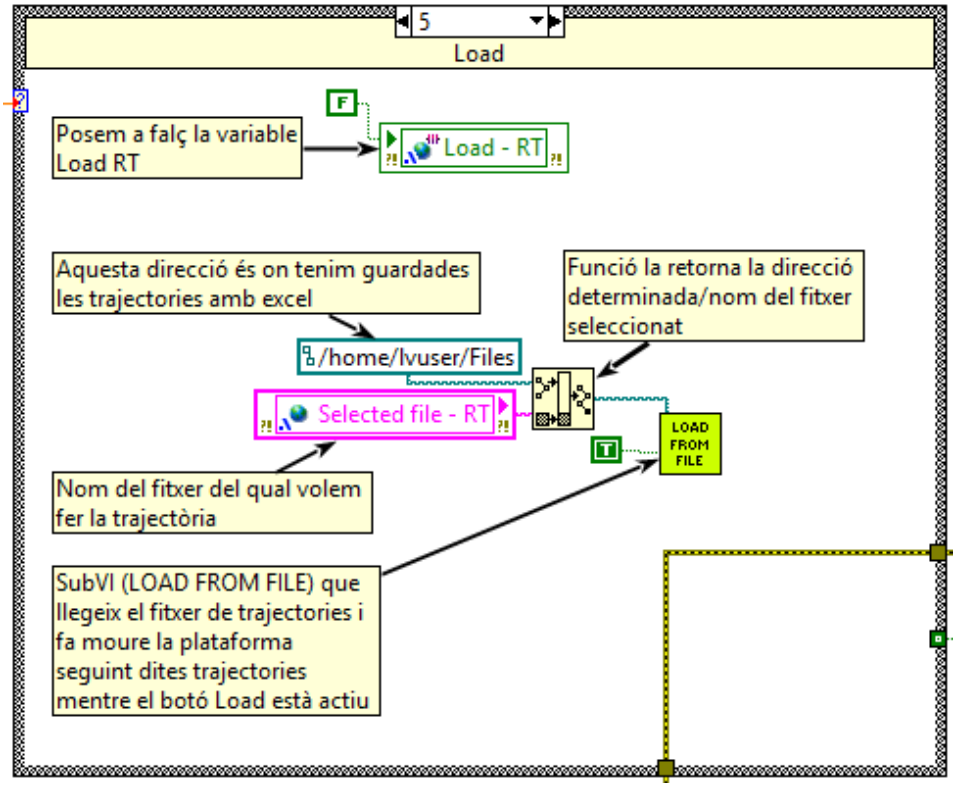


Figura 104. "Case" 5, Load (1ª part Programa RT).

- **2ª part del Programa RT:**

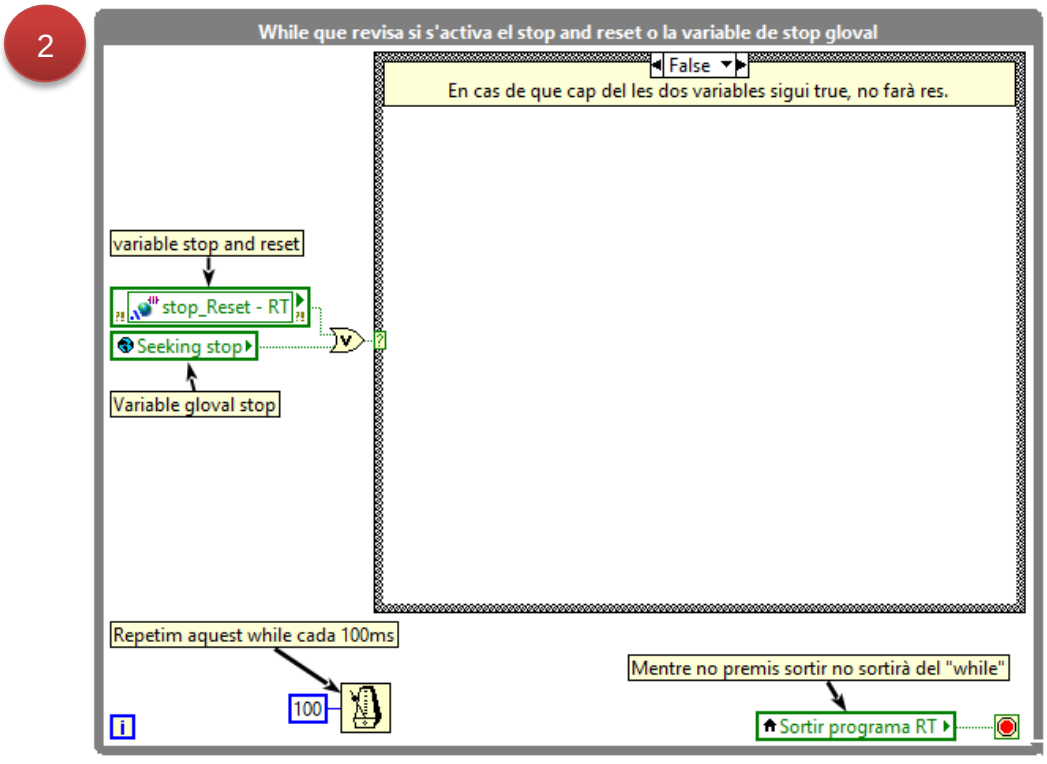


Figura 105. 2ª part del Programa RT

- Dins el "while" (Figura 105) ens trobem un "case" de 2 opcions (True i False):

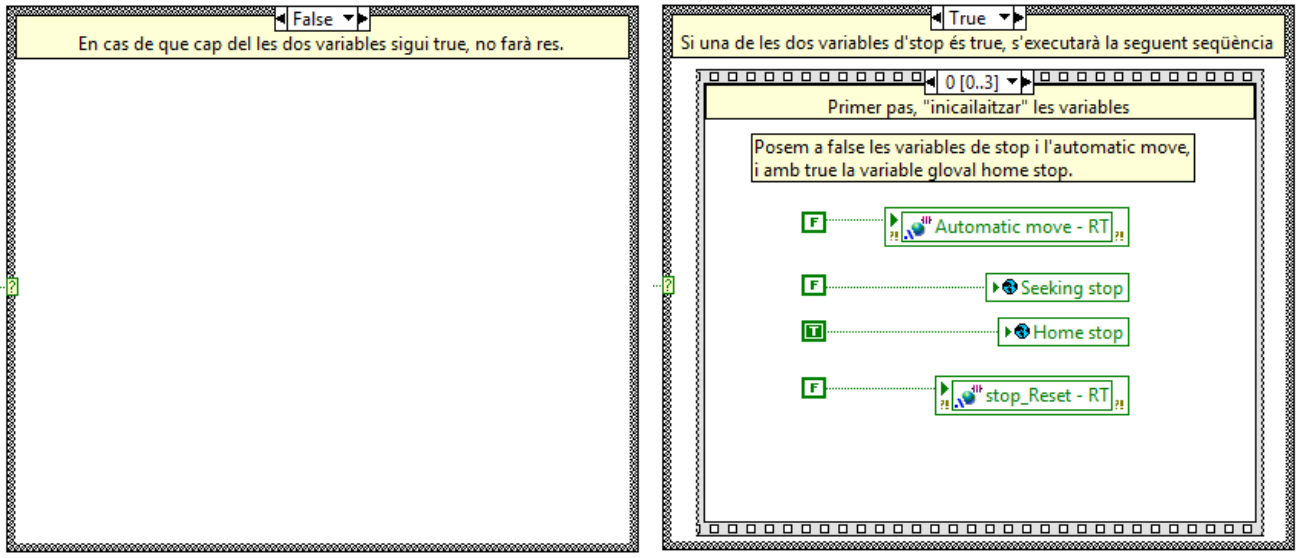


Figura 106. "Case" True i "case" False (2 ª Part del Programa RT)

- Dins el "case" True (Figura 106) ens trobem una seqüència de 4 fases:

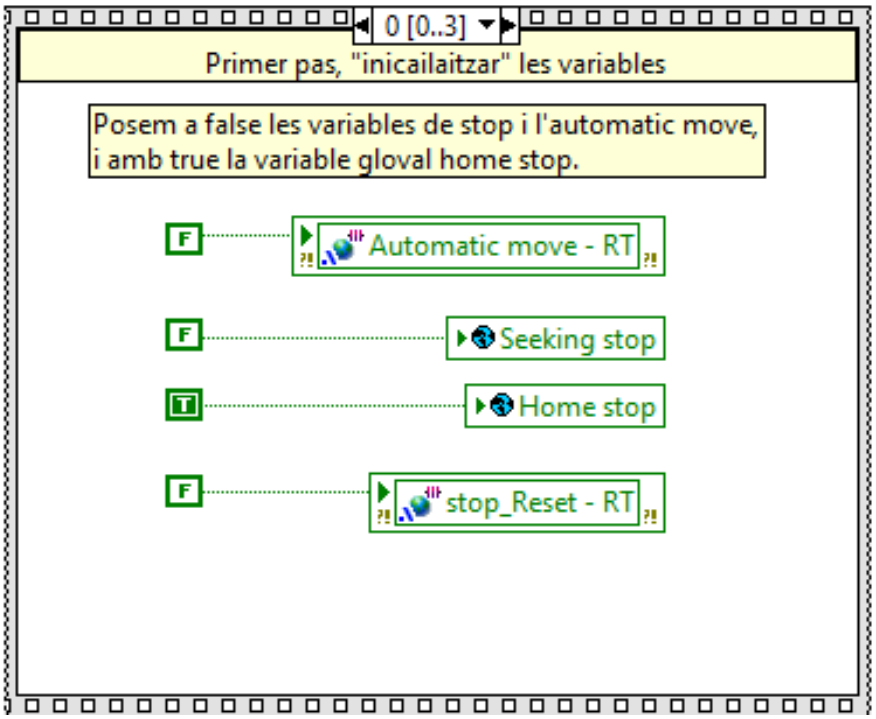


Figura 107. Seqüència 0 (2ª Part del Programa RT)

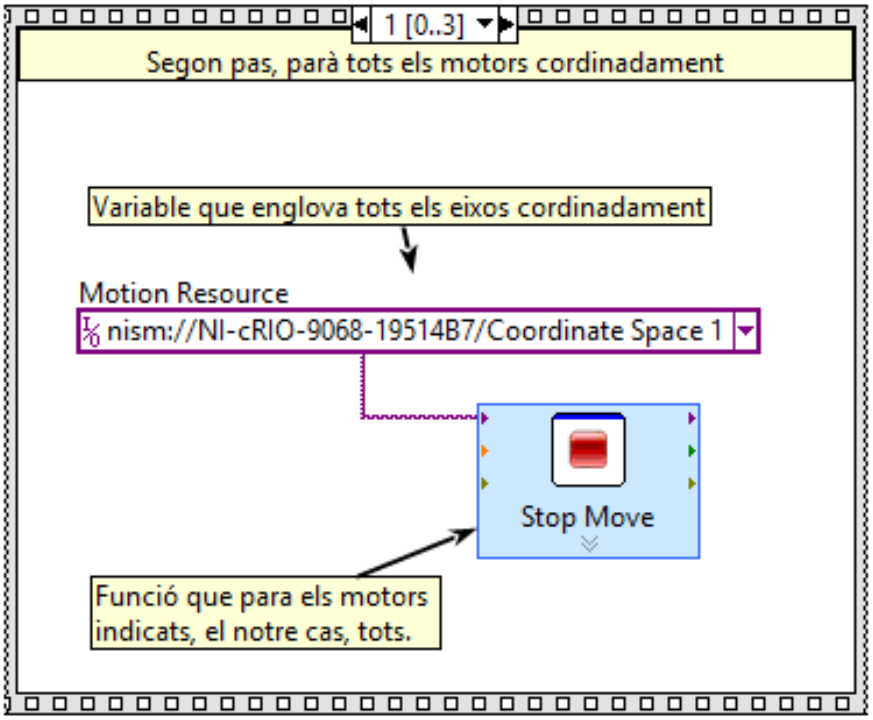


Figura 108. Seqüència 1 (2ª Part del Programa RT)

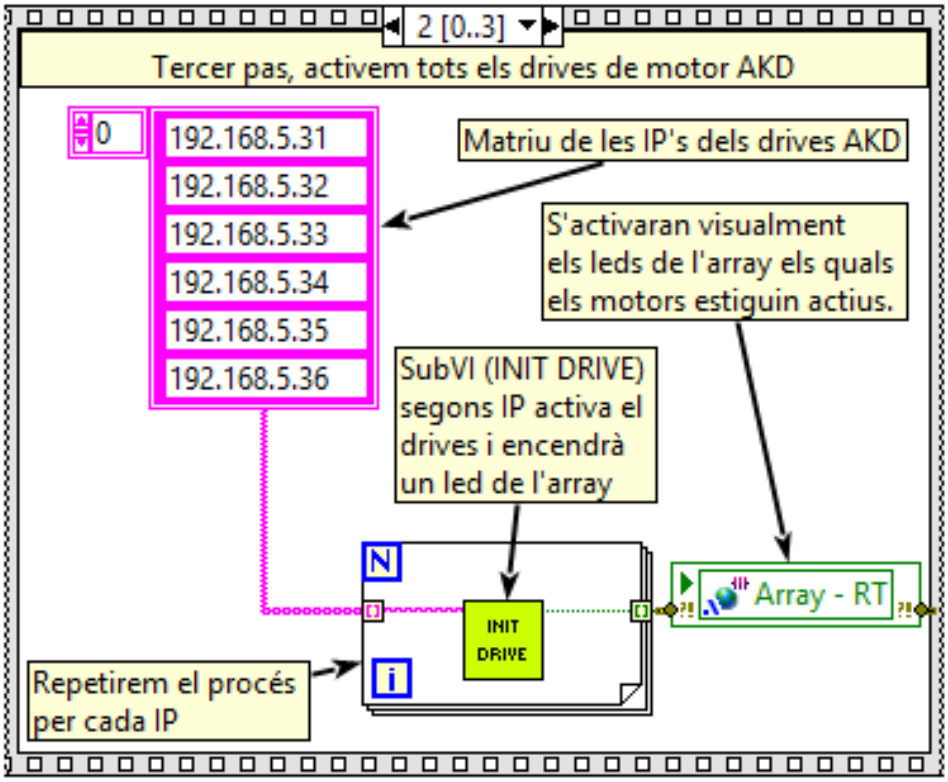


Figura 109. Seqüència 2 (2ª Part del Programa RT)

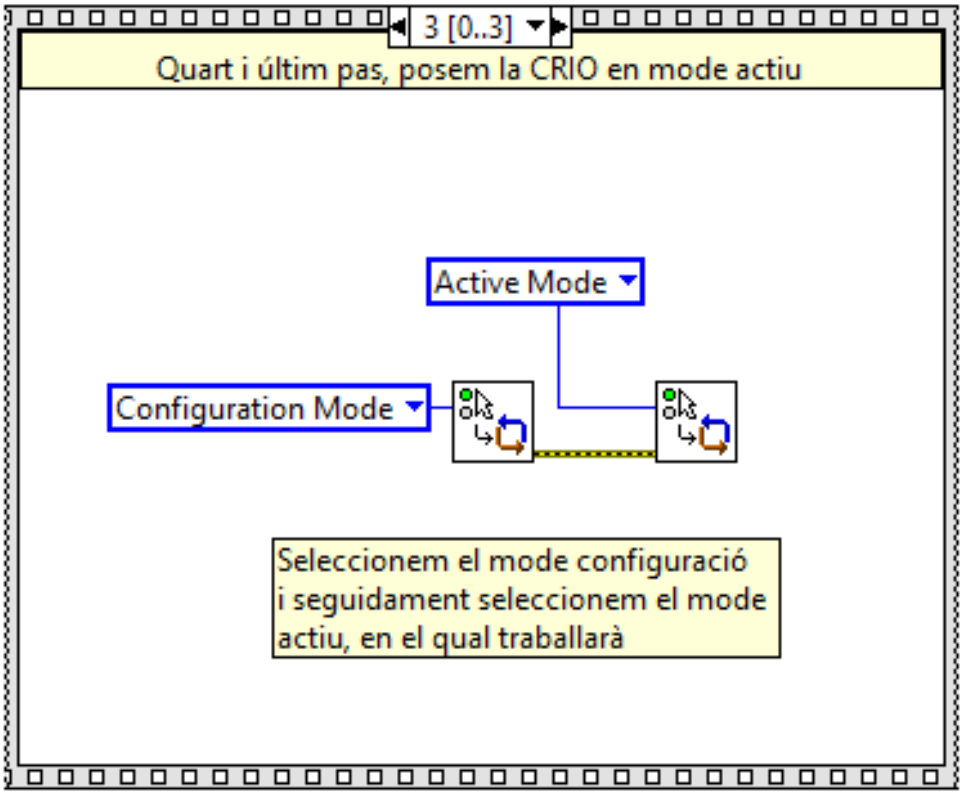


Figura 110. Seqüència 3 (2ª Part del Programa RT)

- **3ª part del Programa RT:**

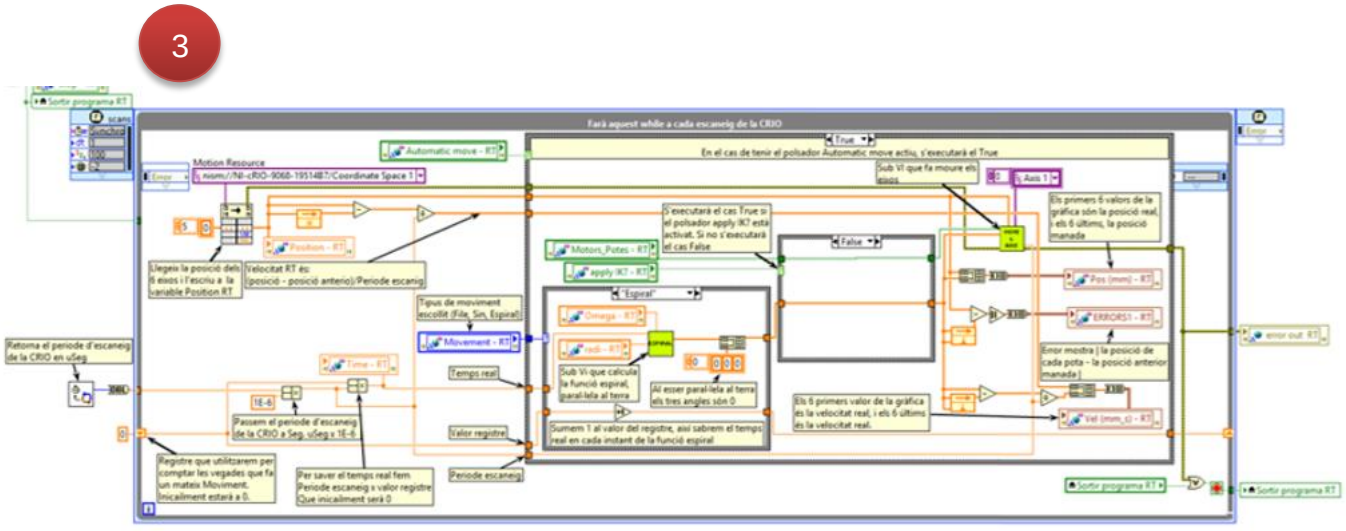


Figura 111. 3ª part del Programa RT

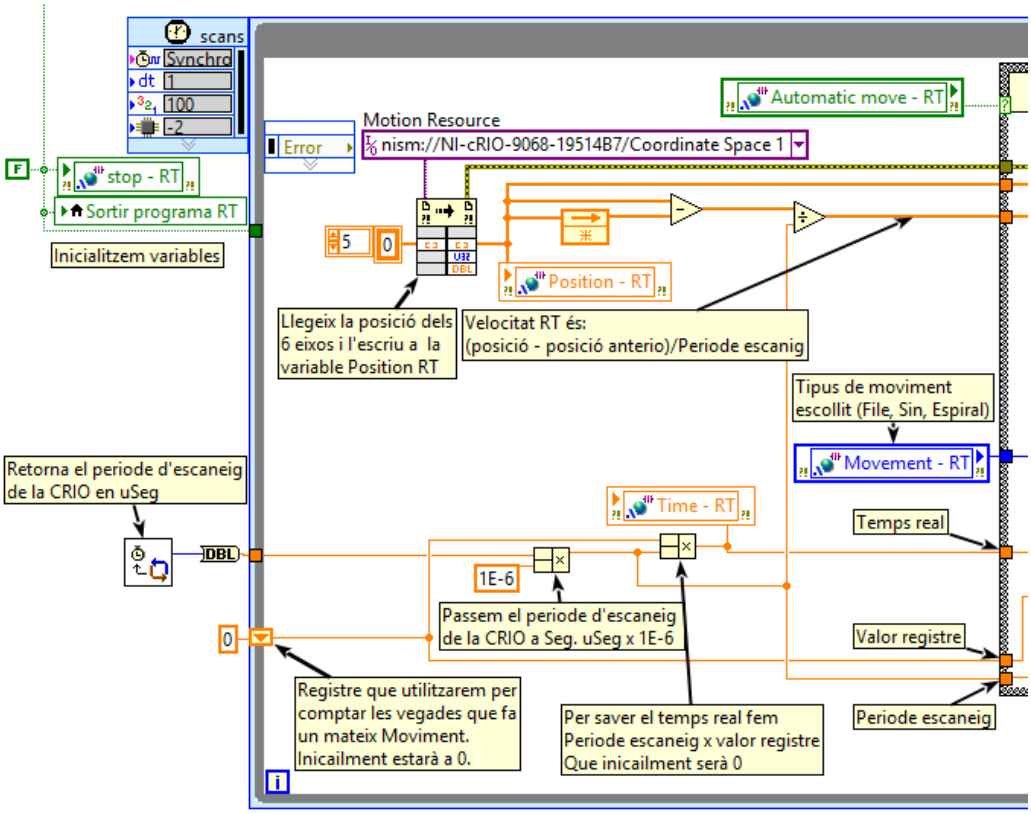


Figura 112. 3ª part del Progrma RT

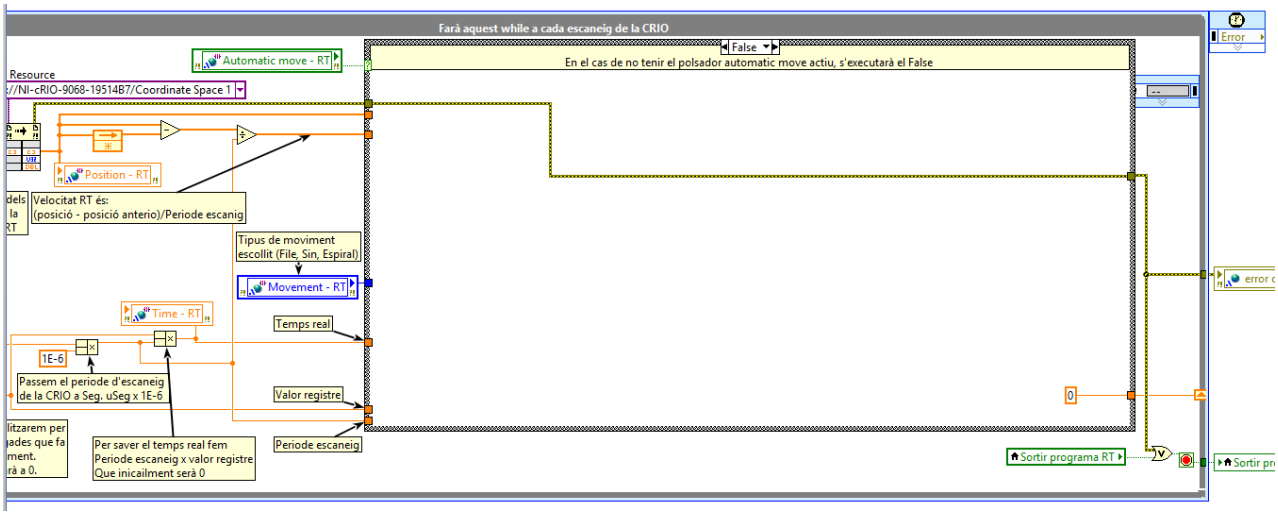


Figura 113; 3ª part del Programa RT

Dins el "while" de la Figura 113 hi ha un "case" de 2 opcions (True i False):

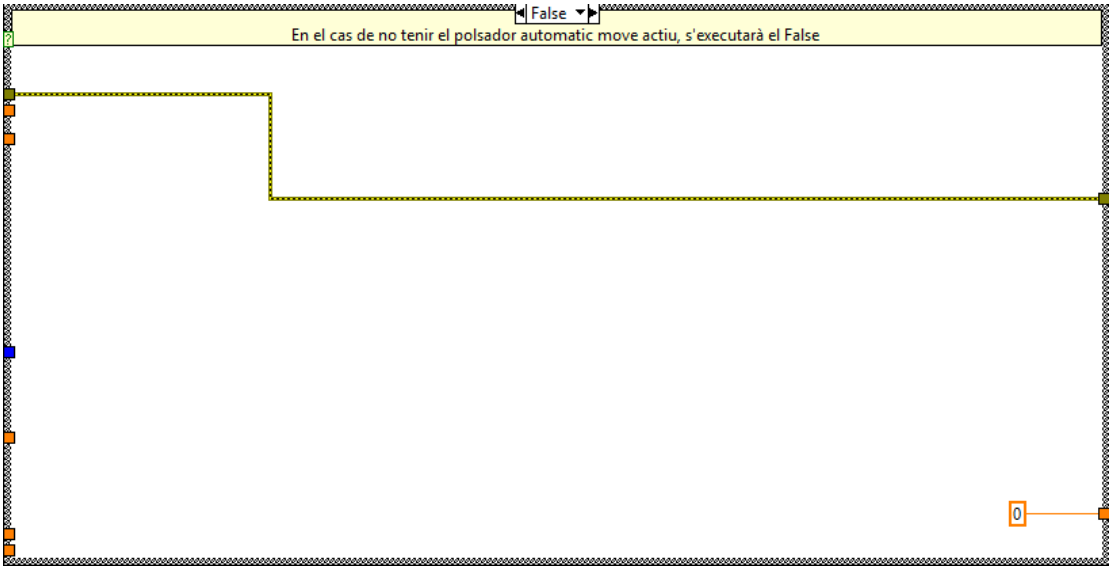


Figura 114. "Case" False (3ª part del Programa RT)

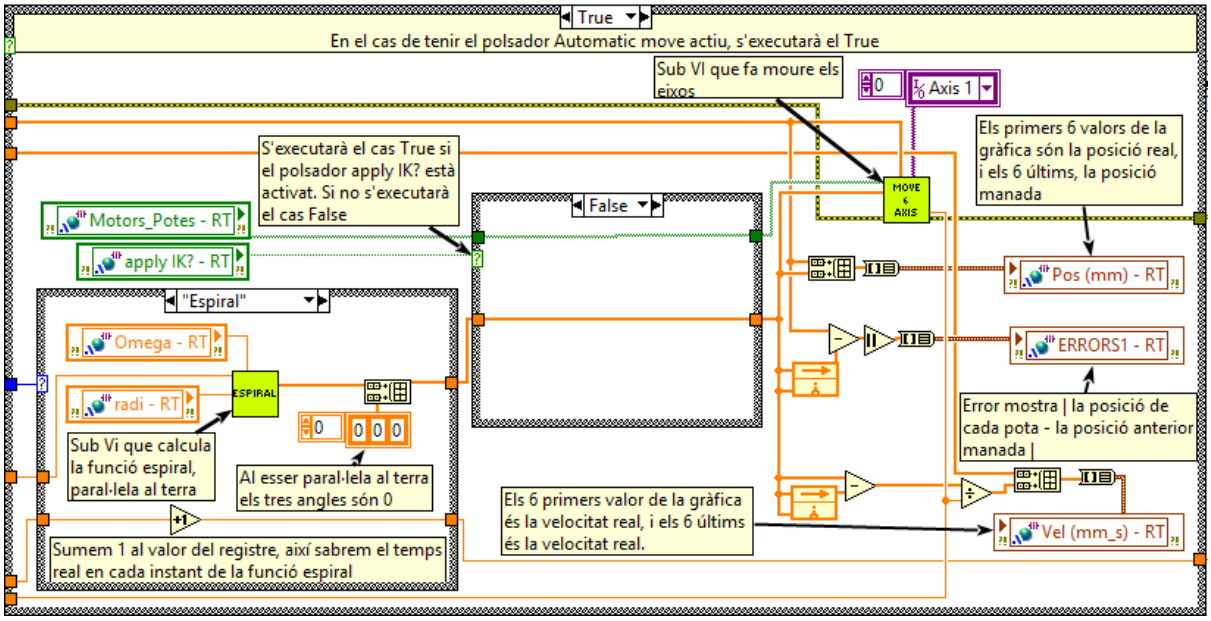


Figura 115. "Case" True (3ª part del Programa RT)

- Dins el "case" True de la Figura 115 trobem un "case" de 3 opcions (Sine, Espiral i File) i un "case" de 2 opcions (True i False).

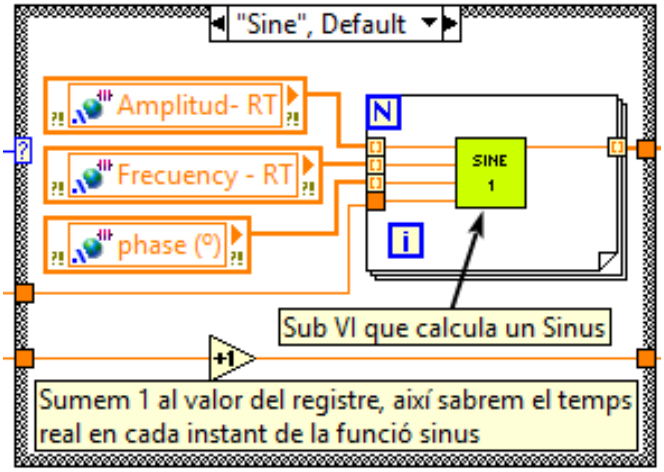


Figura 116. "Case" Sine (3ª Part del Programa RT)

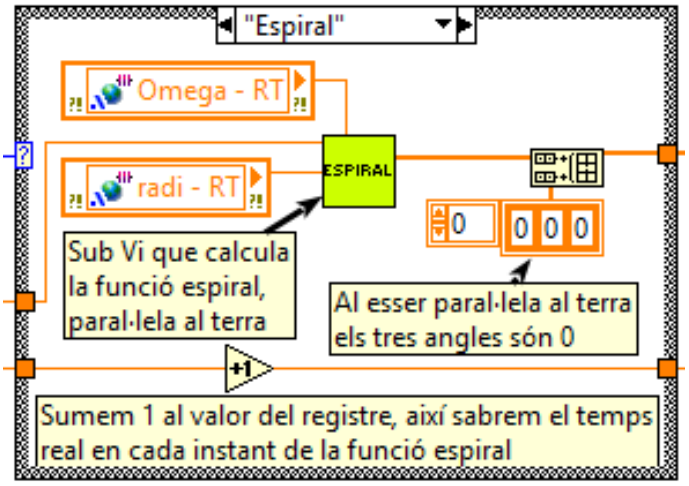


Figura 117. "Case" Espiral (3ª part del Programa RT)

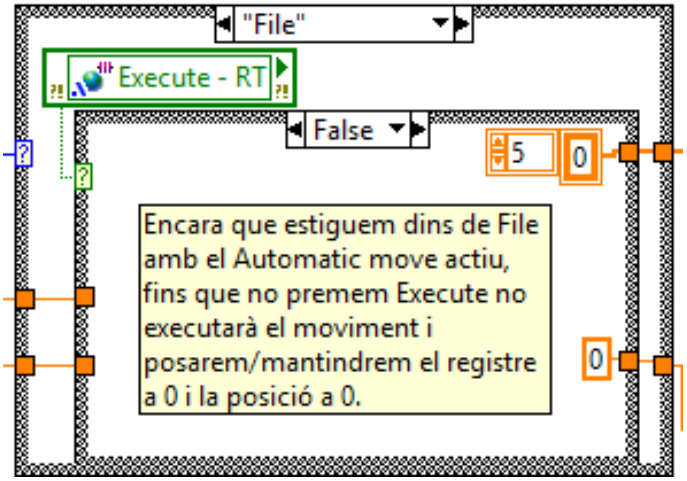


Figura 118. "Case" File (3ª part del Programa RT)

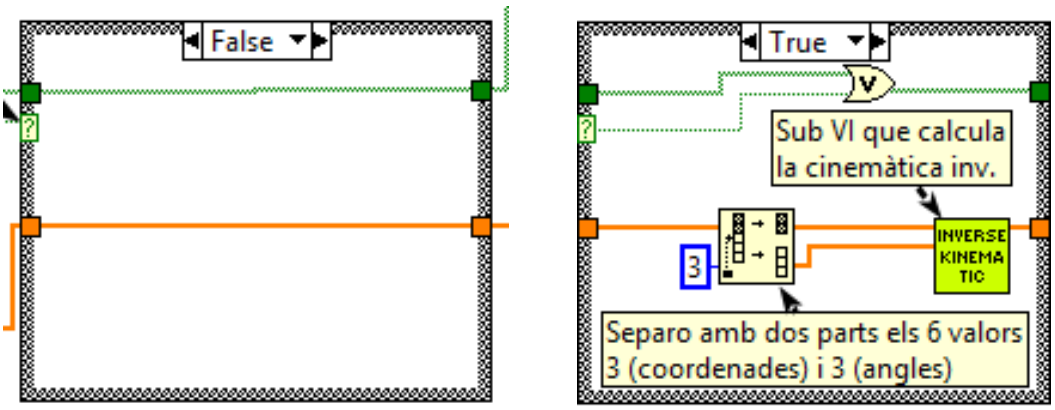


Figura 119. "Case" True i False (3ª part del Programa RT)

- **SubVIs que hi ha dins el programa principal que s'executa en temps real:**

Find SubVIs of "Programa RT.vi"

List of subVIs: (Found 15 subVIs of "Programa RT.vi")

Name	Location in Project
maniobra home.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Get Scan Engine Period.vi	NI-cRIO-9068-19514B
FileInfo.ctl	NI-cRIO-9068-19514B
Global UI.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Set Scan Engine Mode.vi	NI-cRIO-9068-19514B
RT Get CPU Loads.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Init drive.vi	NI-cRIO-9068-19514B
nimclv.dll	NI-cRIO-9068-19514B
File.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Sine 1.vi	NI-cRIO-9068-19514B
mou 6 eixos.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Get Stewar coordinates.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Move to position.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Inverse Kinematic.vi	NI-cRIO-9068-19514B
Espiral.vi	NI-cRIO-9068-19514B

Figura 120. Llista de SubVI que hi ha en el Programa RT

6.2.1 Maniobra home:

VI que fa que els cilindres seleccionats vagin fins l'extrem inferior i guarda la posició de l'extrem inferior, com la posició 225 mm.

- **Panell Frontal:**

  Seleccionem els eixos que volem moure i especifiquem la velocitat a la qual volem anar.

  Ens retorna els errors produïts en aquesta maniobra, en cas d'haver-ne.

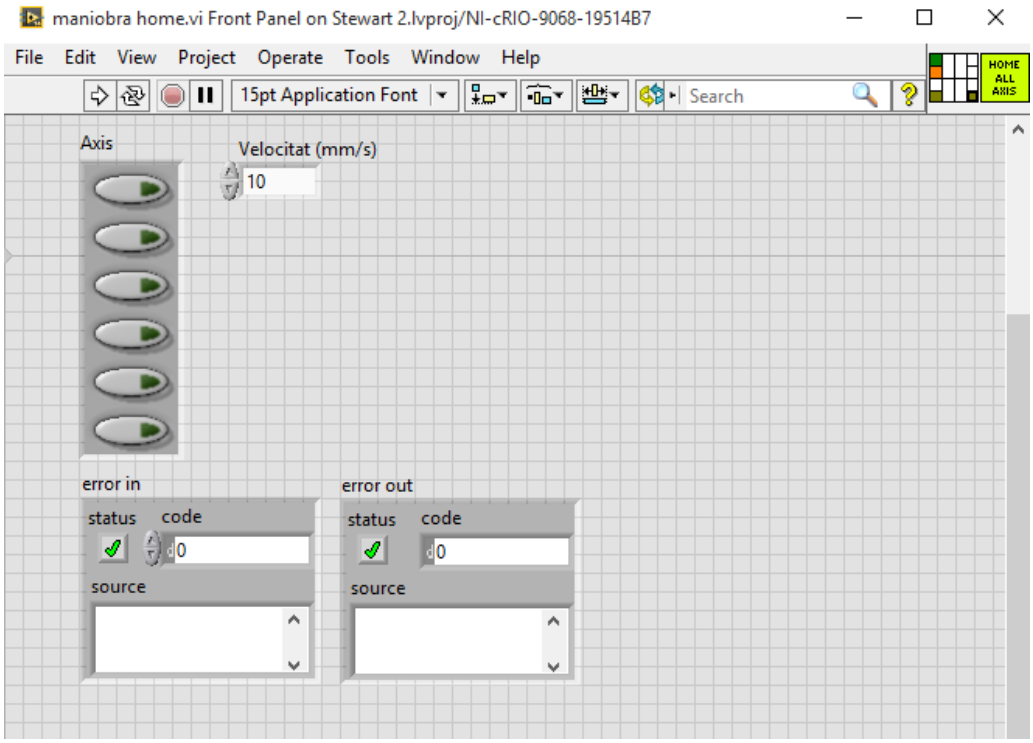


Figura 121. Panell Frontal maniobra home

➢ **Diagrama de blocs:**

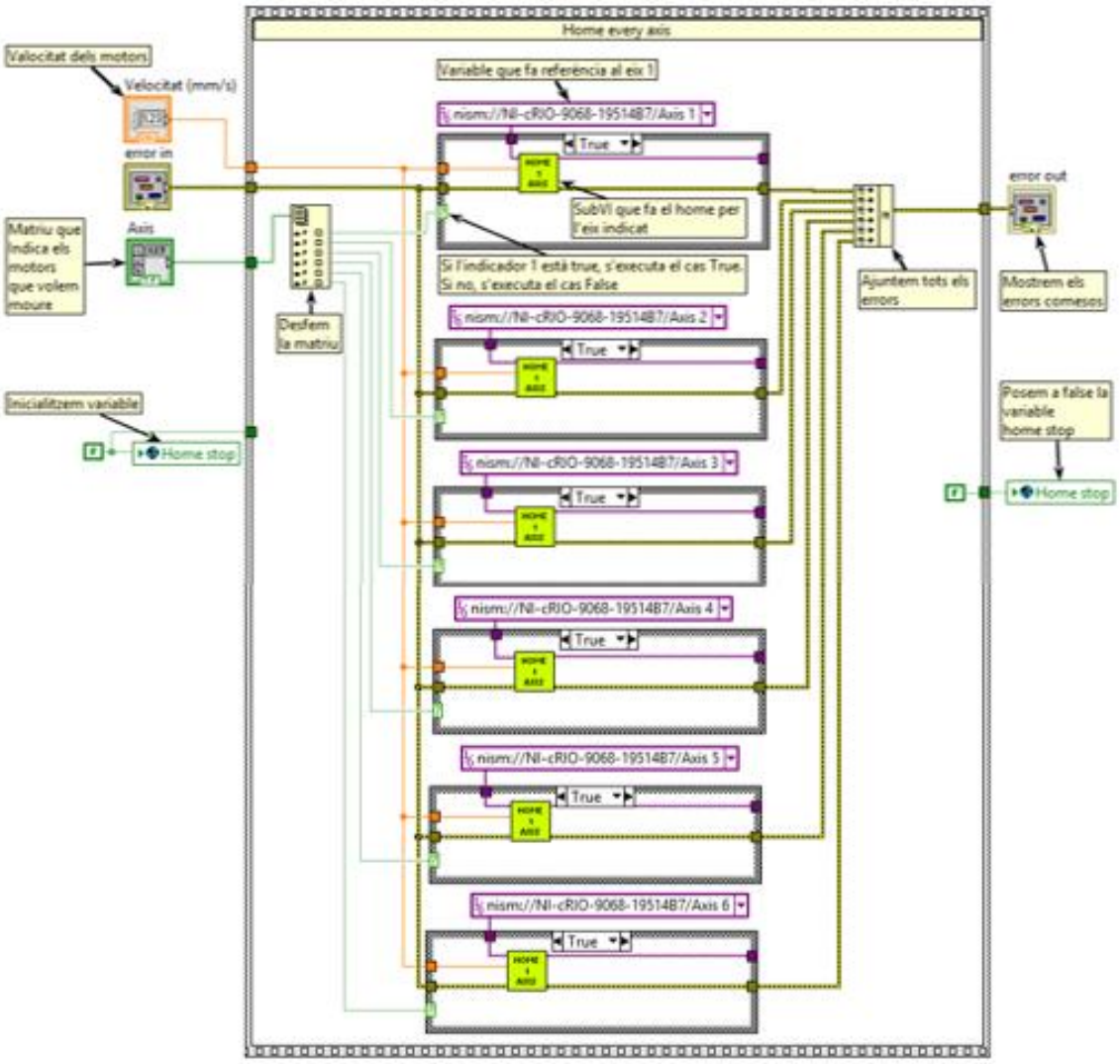


Figura 122. Diagrama de blocs de la manobra Home

- Dins la seqüència de la Figura 122 trobem 6 casos iguals, de 2 opcions (True i False)

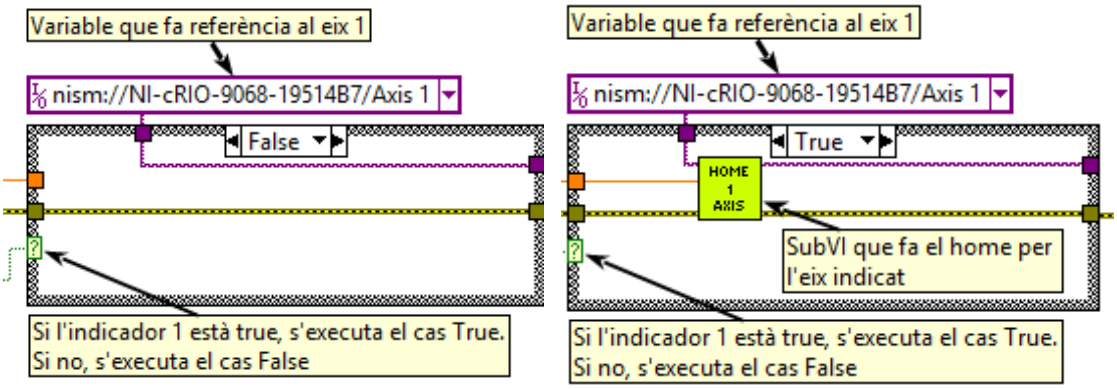


Figura 123. "Case" False i True (maniobra Home)

- **SubVIs que hi ha dins del VI Maniobra home:**

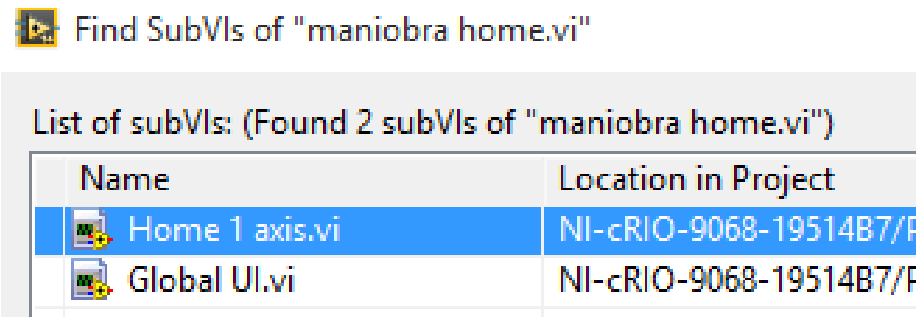


Figura 124. SubVI dins el VI Maniobra Home

6.2.2 Home 1 axis:

VI que fa que un cilindre vagi fins l'extrem inferior i guarda l'extrem inferior com la posició que es troba a 225 mm.

- **Panell Frontal:**

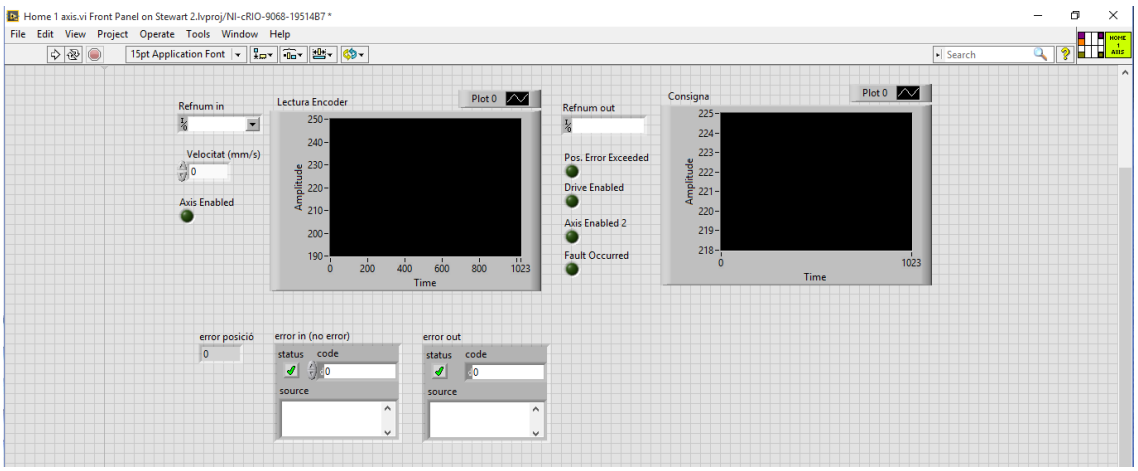


Figura 125

- **Diagrama de blocs:**

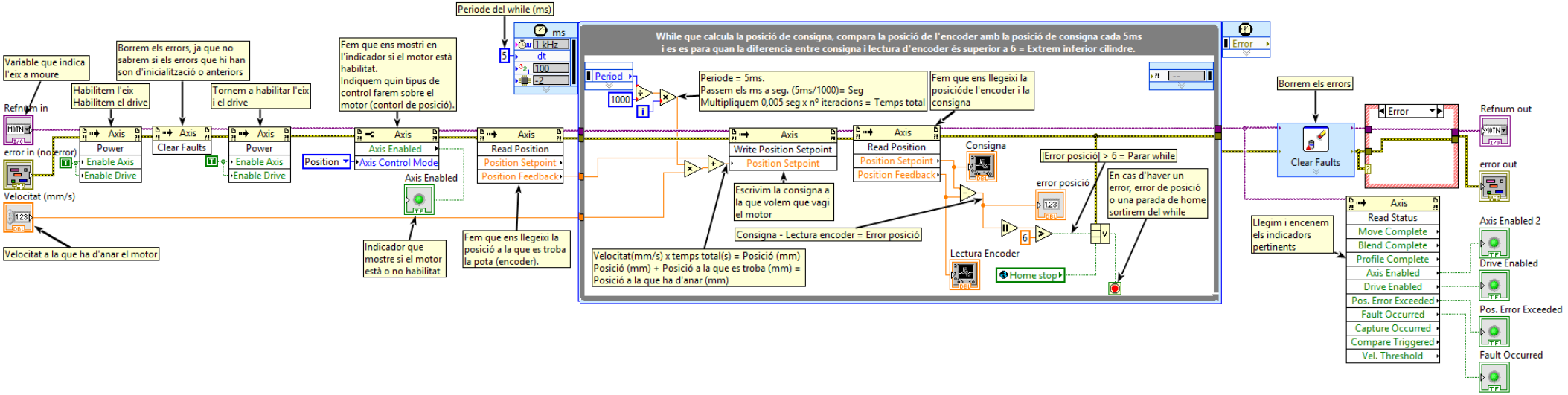


Figura 126

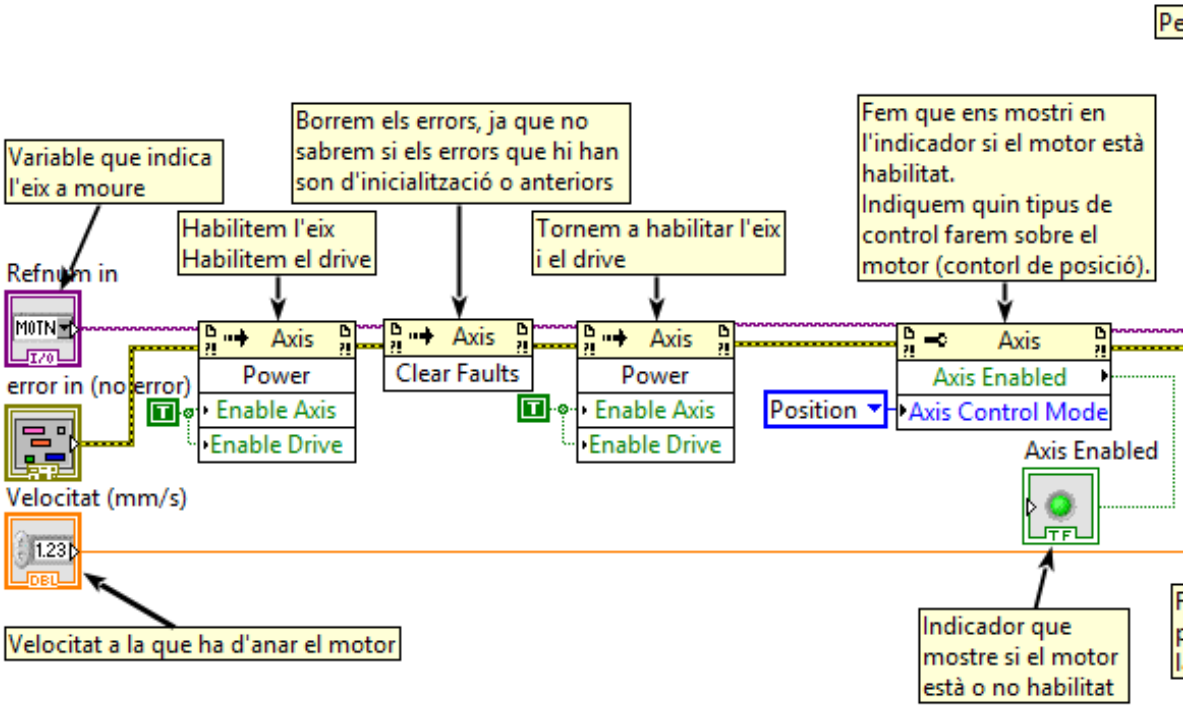


Figura 127

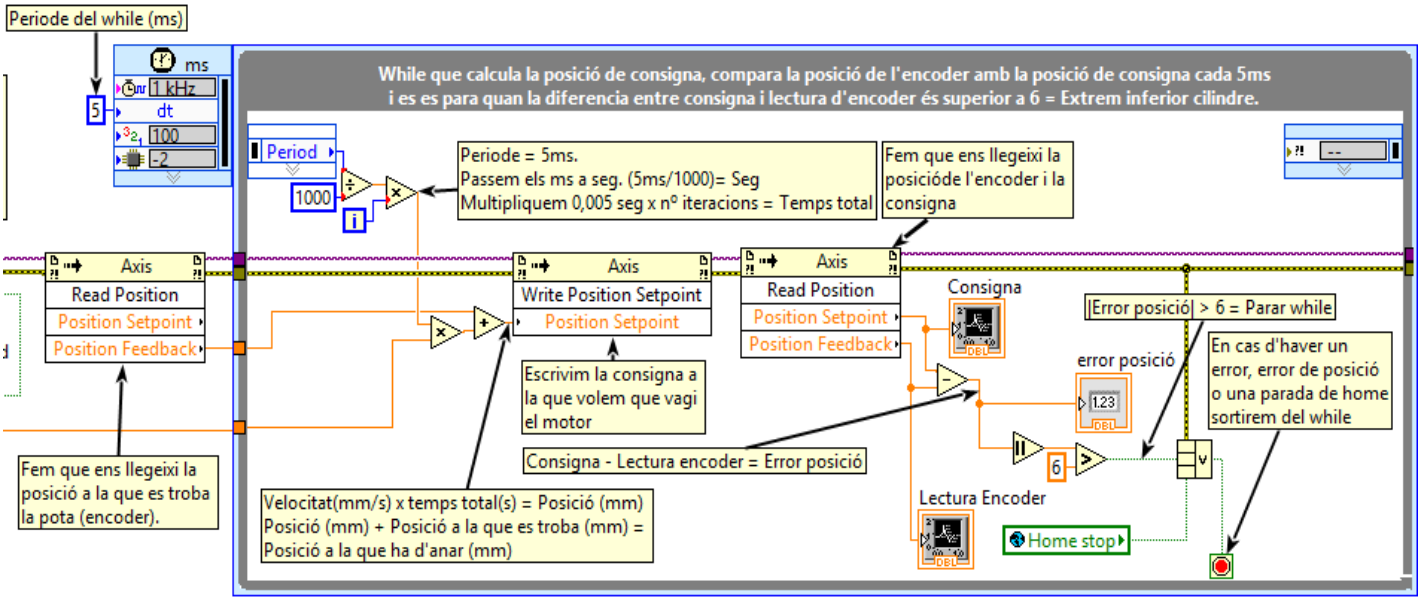


Figura 128

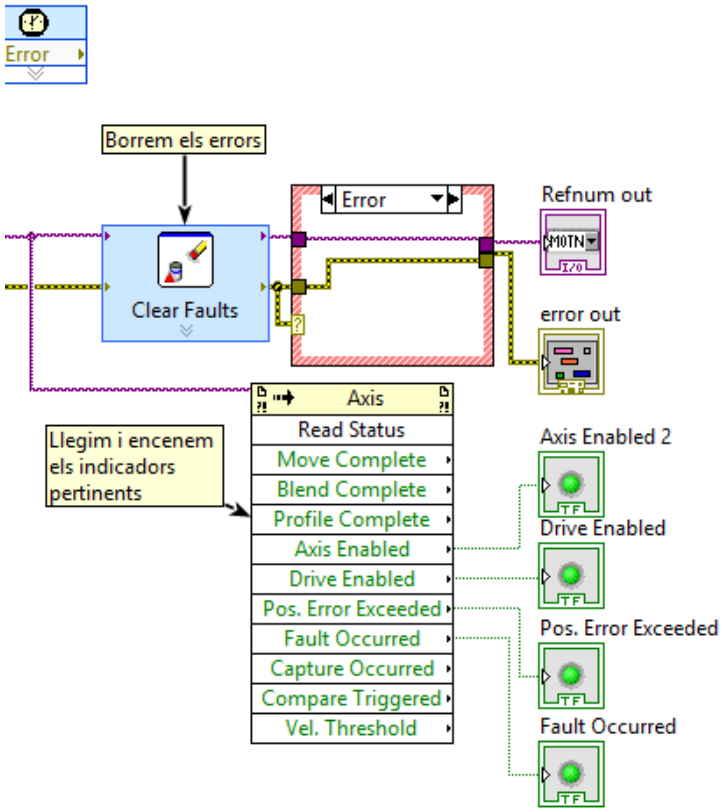


Figura 129

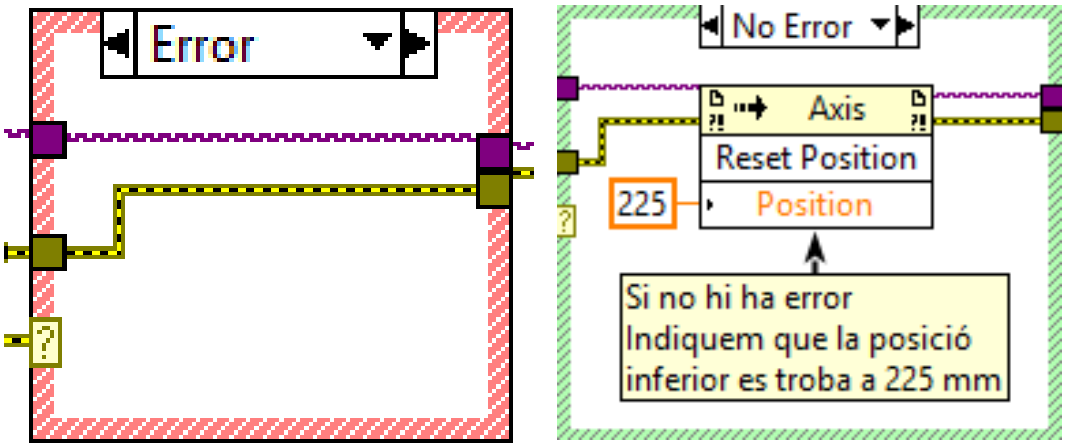


Figura 130

6.2.3 Global UI:

Definim les variables globals del nostre programa

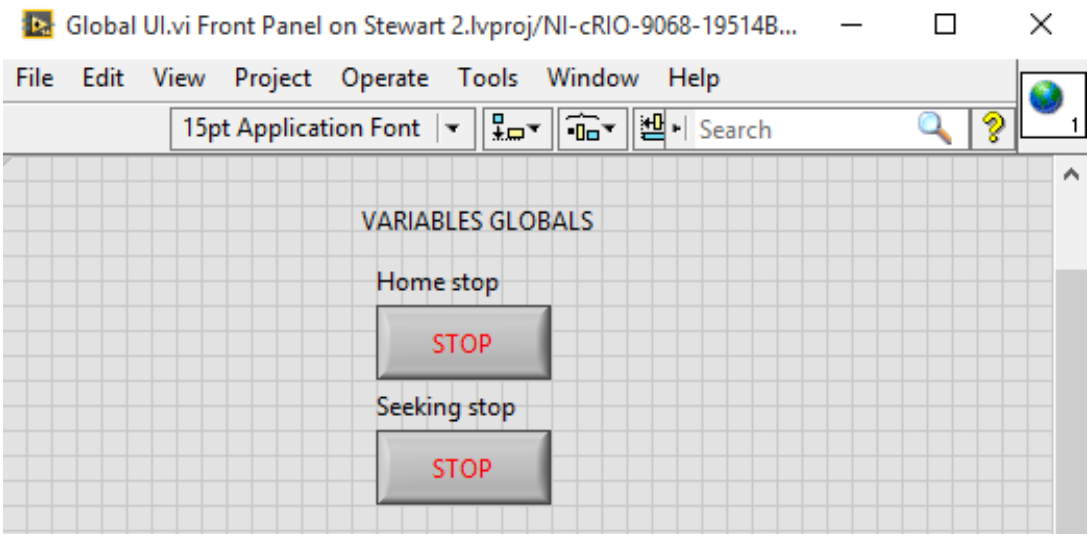


Figura 131

6.2.4 Get Scan Engine Period:

És un VI que ja està preprogramat per National Instruments. Aquest VI et retorna el període per escaneig que fa la CompactRIO.

6.2.5 FileInfo:

És un VI que ja està preprogramat per National Instruments. Aquest VI et dona informació del fitxer, com per exemple l'hora i el dia de creació, la mida del fitxer, el tipus de fitxer, etc.

6.2.6 Set Scan Engine Mode:

És un VI que ja està preprogramat per National Instruments. Aquest VI et permet canviar el mode del Scan Engine a mode configuració o actiu. Això ens serà útil a l'hora d'activar o ressetejar els motors, ja que per activar o ressetejar els motors sempre s'ha de posar en mode configuració i seguidament canviar-ho a mode actiu. Si ho poses directament en mode actiu, com hauria de ser, no s'engegaran els motors.

6.2.7 RT Get CPU Loads:

És un VI que ja està preprogramat per National Instruments. Aquest VI et retorna el valor en percentatge de CPU utilitzat en temps real. La CPU del nostre ordinador té dos nuclis, per tant, tindrem dos percentatges. Utilitzarem aquest VI per poder saber si estem saturant o no els recursos de l'ordinador.

6.2.8 Init drive:

Aquest VI habilita els drivers

- **Panell frontal:**

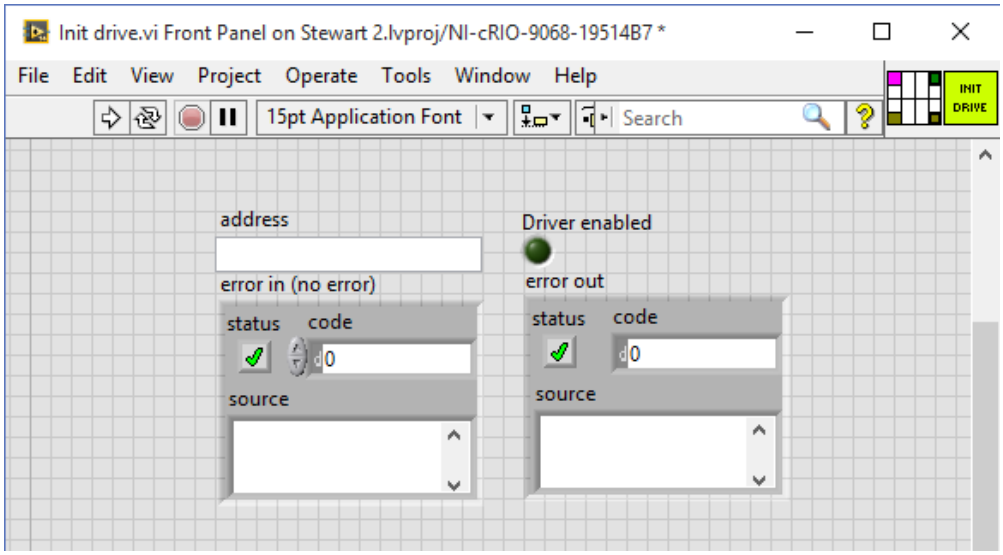


Figura 132

➢ **Diagrama de blocs:**

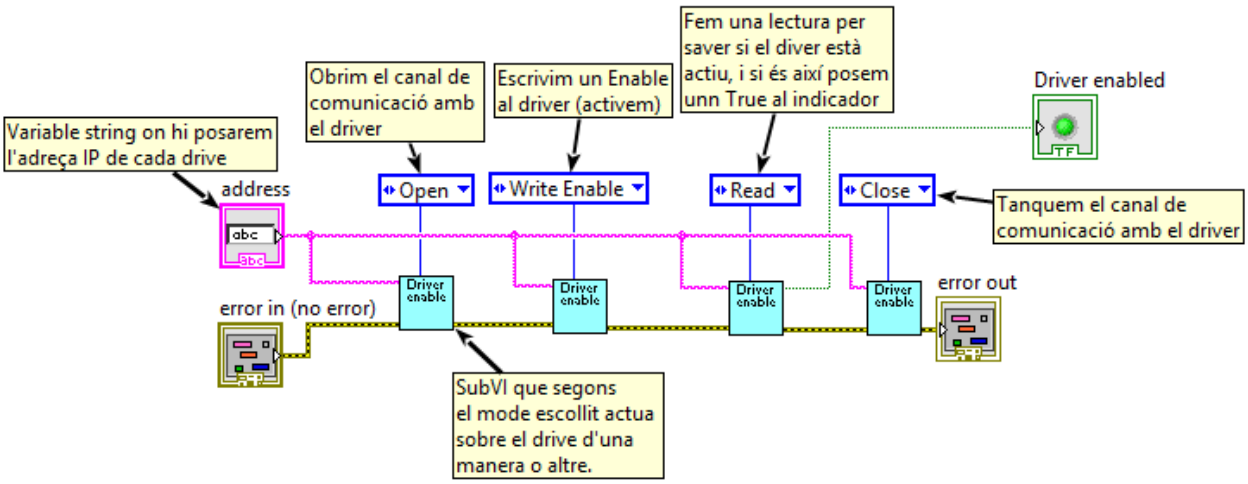


Figura 133

6.2.9 Drive enable:

VI que segons el mode escollit actua sobre el drive d'una manera o altra. Per dissenyar aquest VI hem hagut de mirar el manual de programació del drive AKD ja que necessitàvem saber els valors de les adreces per unes ordres determinades (annex 2).

- DRIV. ACTIV → Adreça 220 → Per fer la lectura de si el drive està actiu.
- DRIV. EN → Adreça 254 → Per activar el drive.
- DRIV. DIS → Adreça 236 → Per desactivar el drive.

➢ **Panell Frontal:**

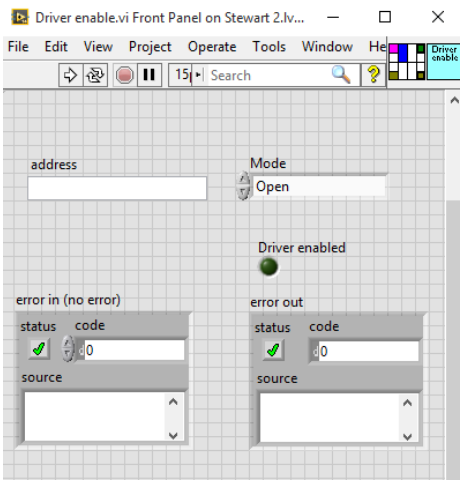


Figura 134

➢ **Diagrama de blocs:**

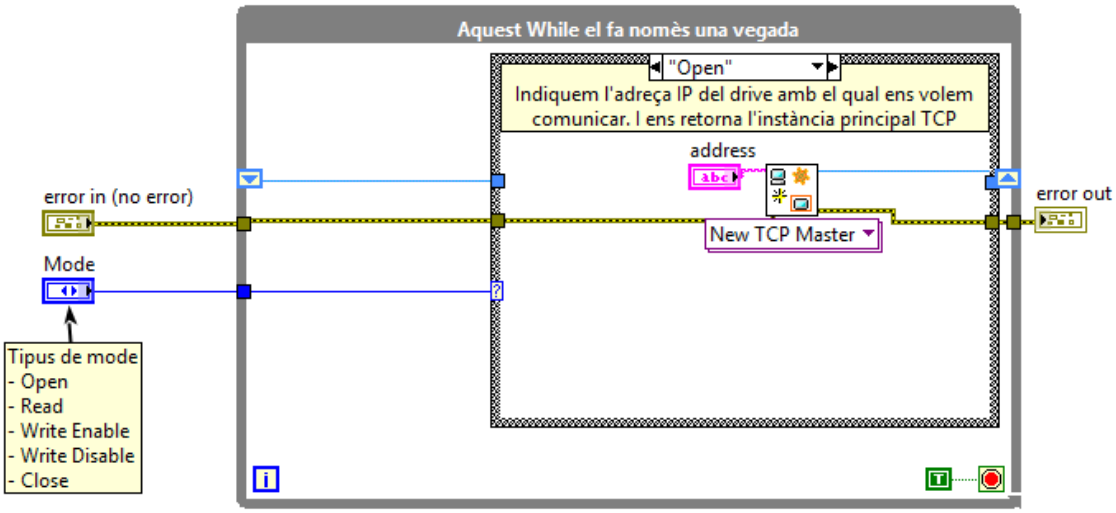


Figura 135

- Dins el "while" de la figura 135, hi ha un "case" de 5 opcions (Open, Read, write Enable, write Disable i Close):

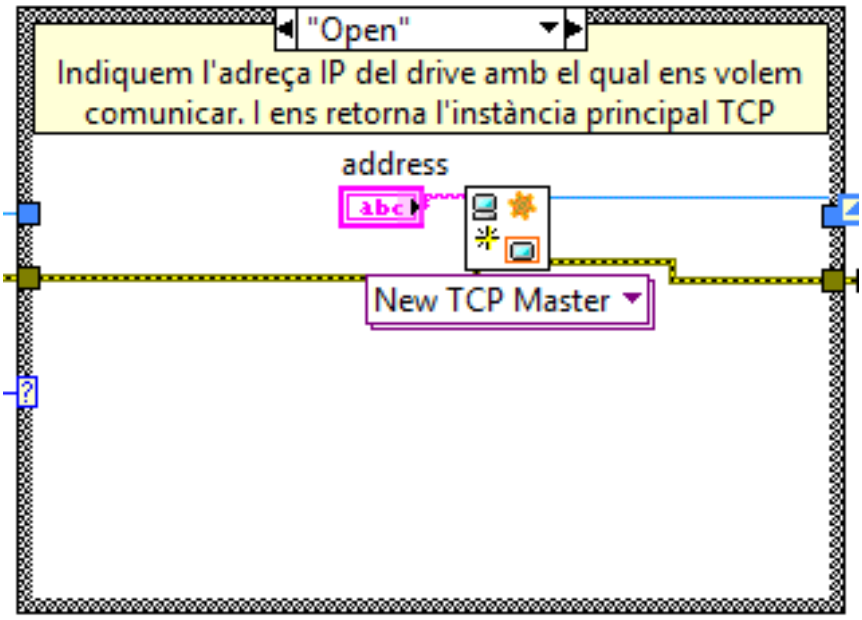


Figura 136. "Case" Open del VI Drive Enable

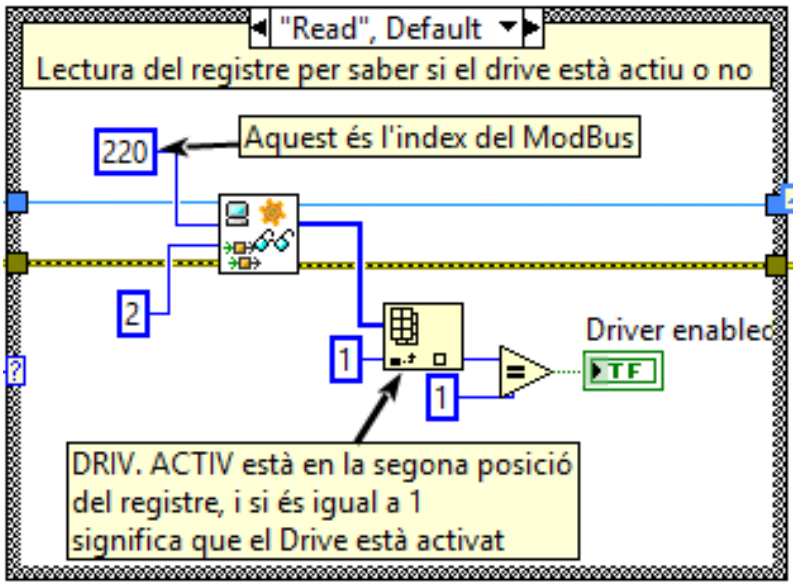


Figura 137. "Case" Read del VI Drive Enable

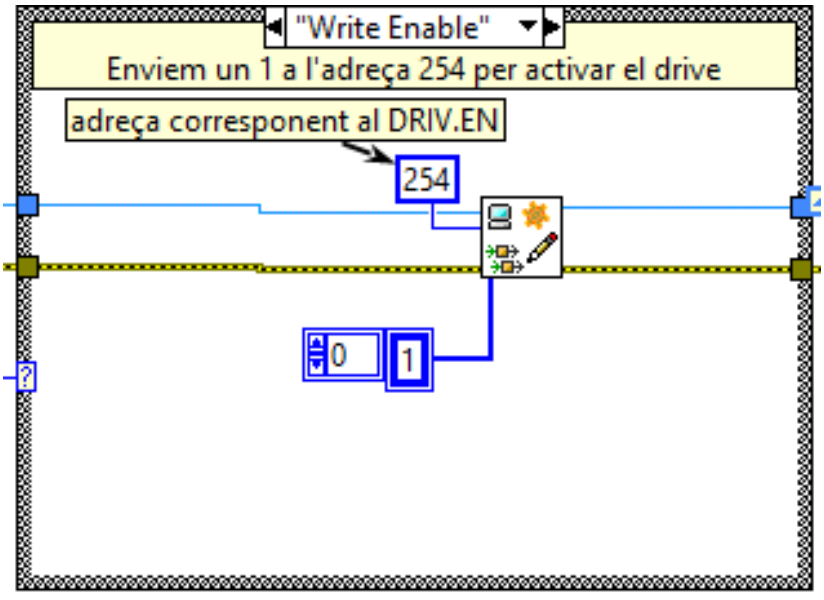


Figura 138. "Case" Write Enable del VI Drive Enable

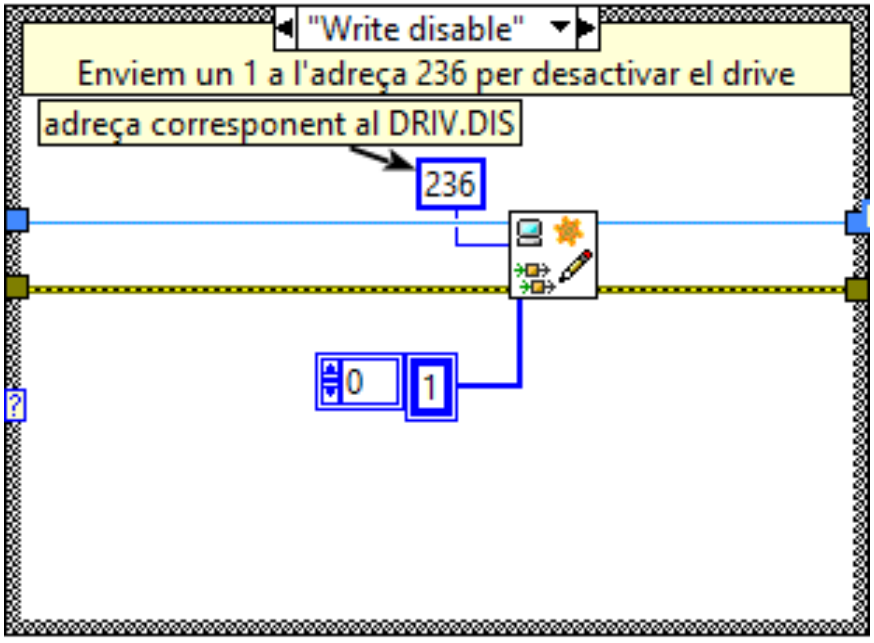


Figura 139. "Case" Write disable del VI Drive Enable

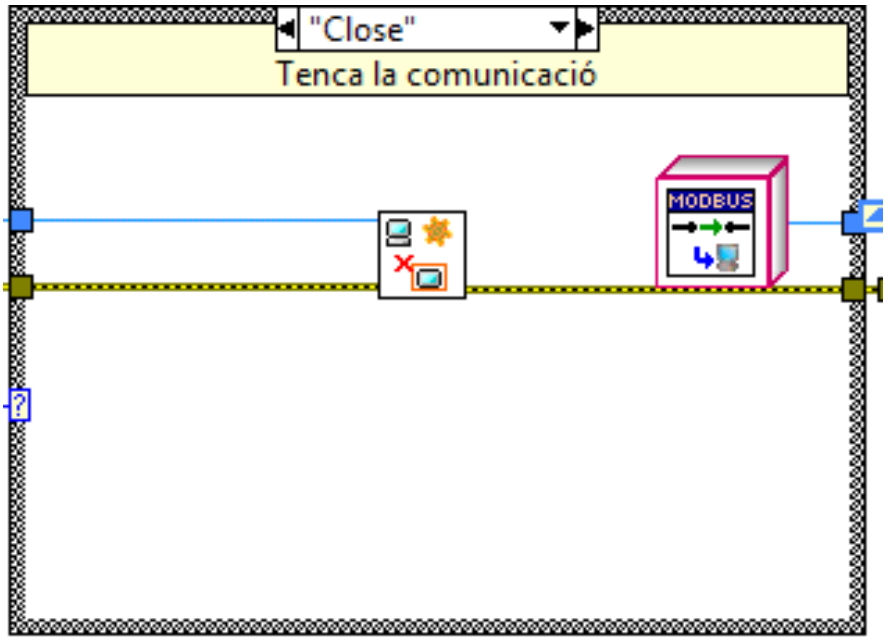


Figura 140. "Case" Close del VI Drive Enable

6.2.10 File:

Aquest VI l'utilitzem per llegir les fulles d'Excel de trajectòries. Aquestes fulles sempre han de tenir el mateix disseny i guardar a la mateixa carpeta, ja que sinó el programa File que hem dissenyat no funcionarà correctament. Més endavant, a l'apartat 7 (Posar en marxa la plataforma), s'explicaran els passos a seguir per crear i guardar aquestes fulls d'Excel de trajectòries.

- **Panell Frontal:**

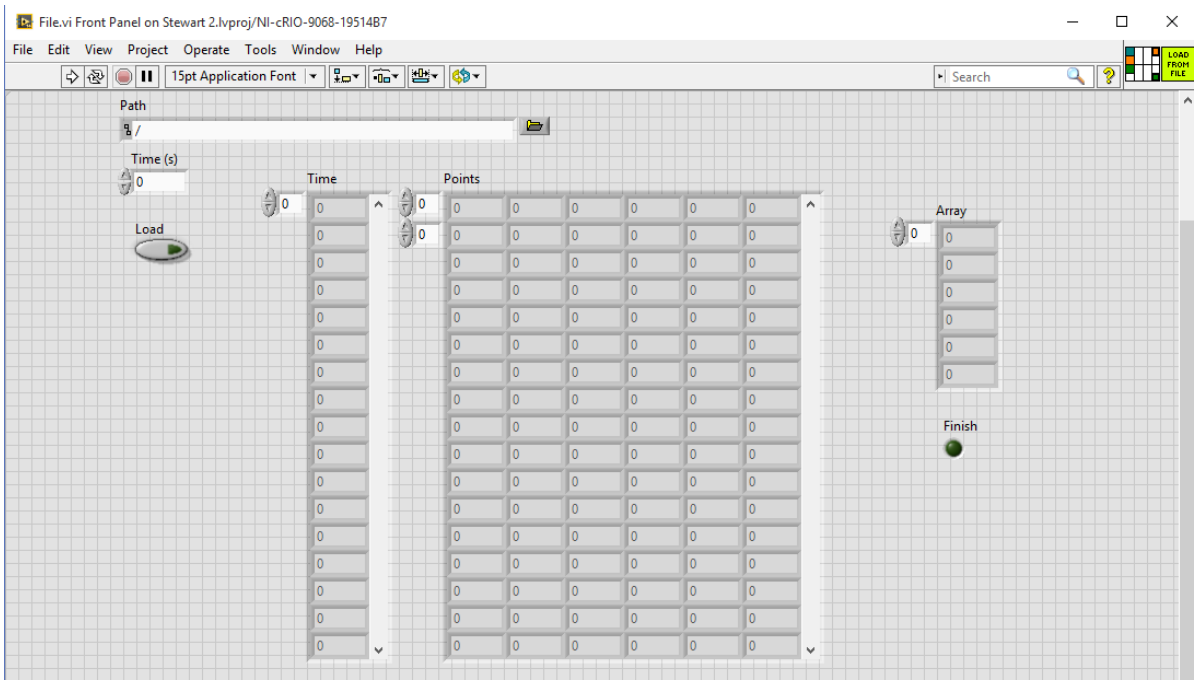


Figura 141

- **Diagrama de blocs:**

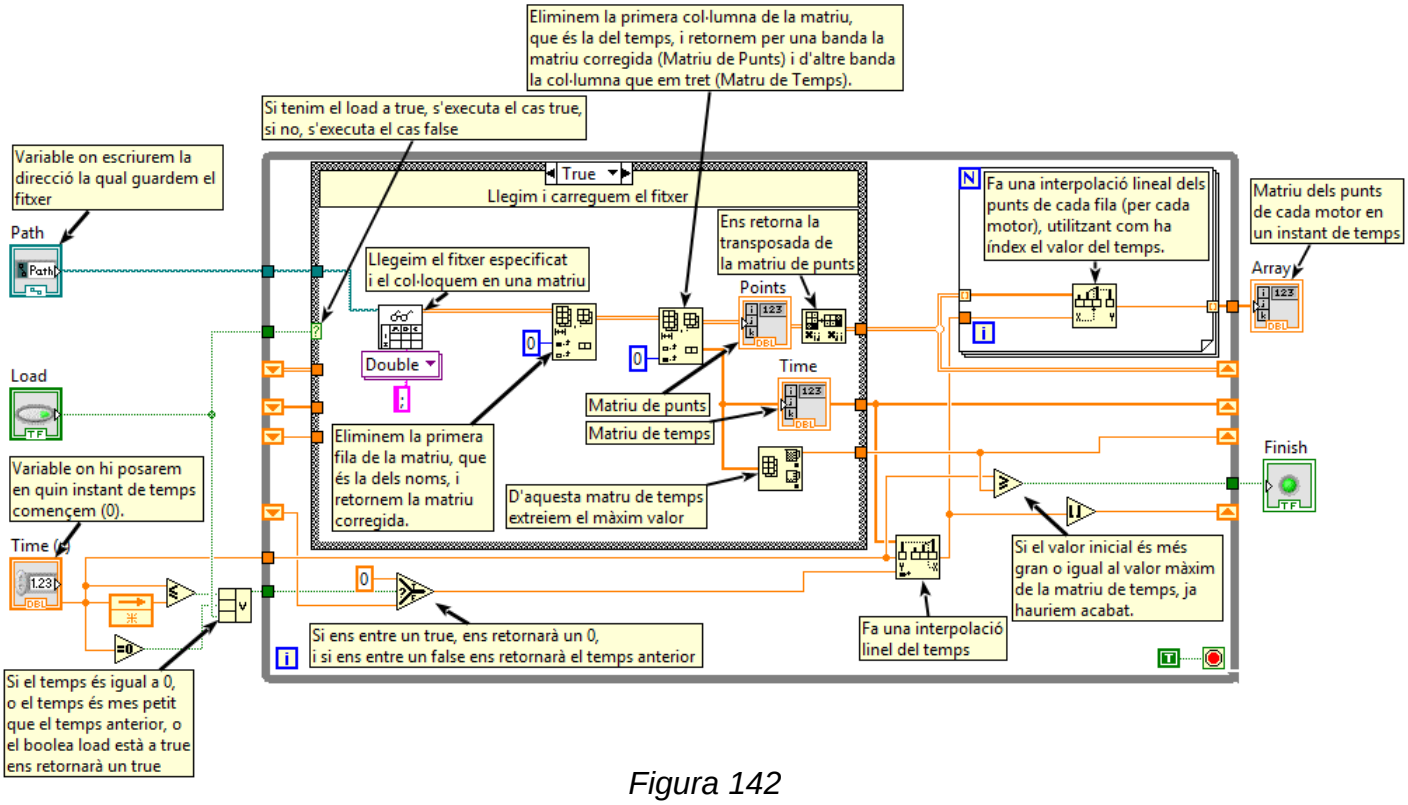


Figura 142

- Dins el "while" de la Figura 142, hi ha un "case" de dos opcions (True i False):

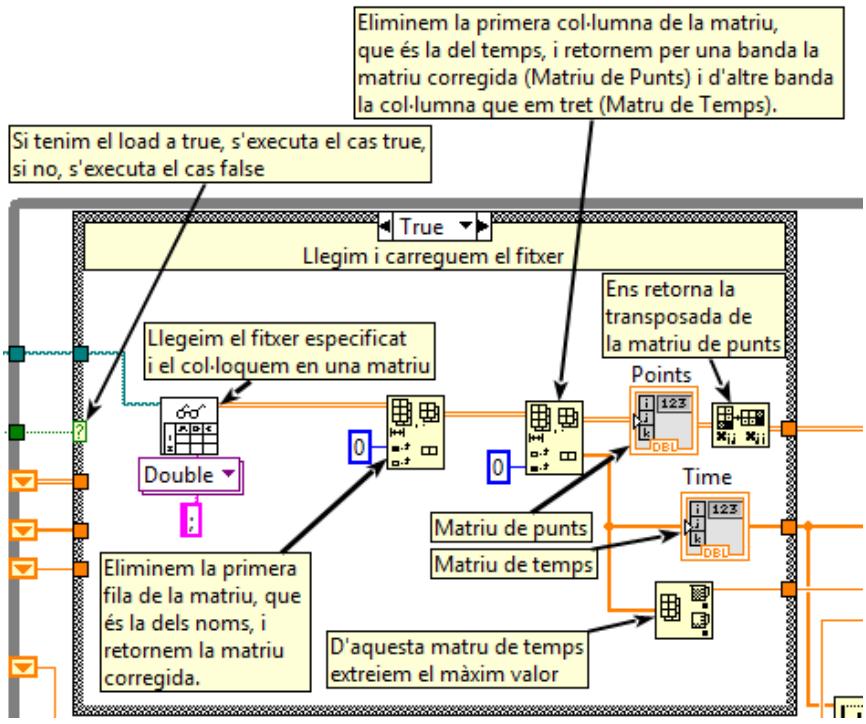


Figura 143. "Case" True del VI File

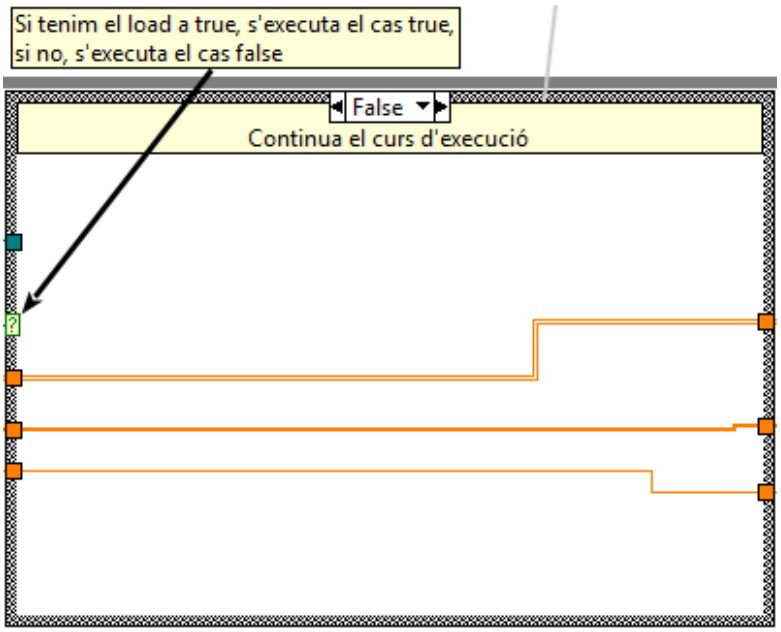


Figura 144. "Case" False del VI File

6.2.11 Sine 1:

Calcula la funció sinus.

- **Panell frontal:**

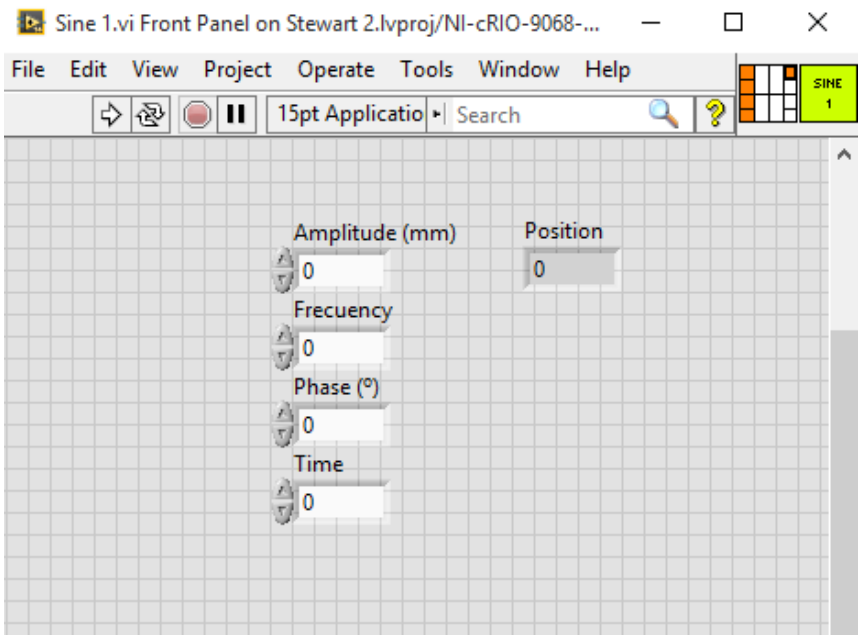


Figura 145

➢ **Diagrama de blocs:**

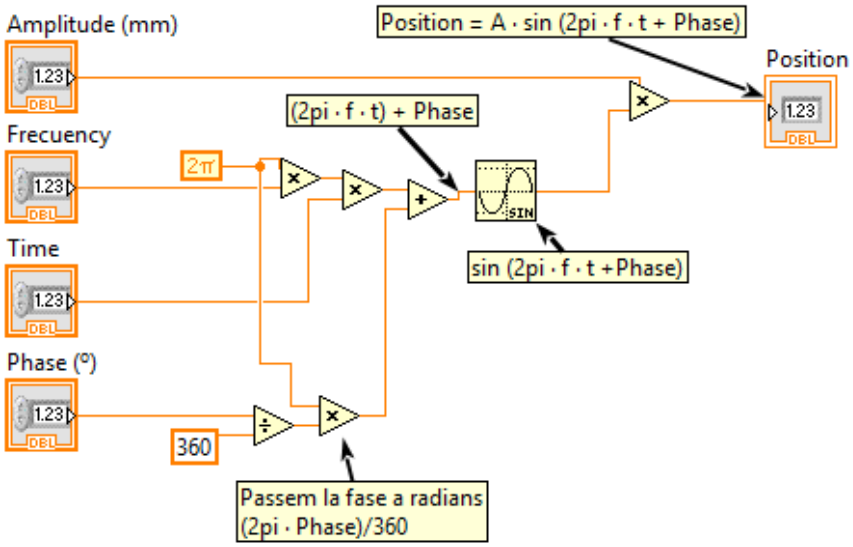


Figura 146

6.2.12 Mou 6 eixos:

Fa anar tots els eixos a la posició indicada, però no sense haver verificat que la velocitat no sobrepassi la màxima permesa i que no hi hagi error de seguiment. Dins aquest VI hi ha un SubVI anomenat bloque conductor.

➢ **Panell frontal:**

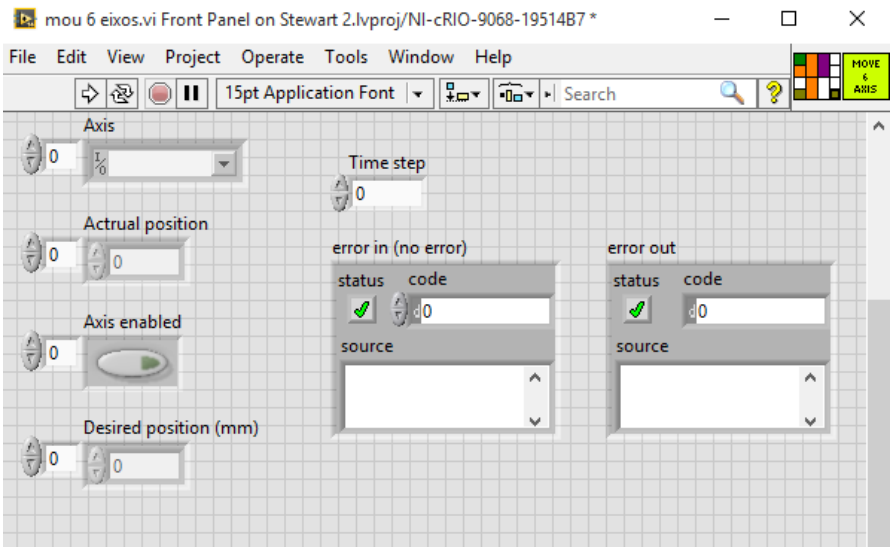


Figura 147

- **Diagrama de blocs:**

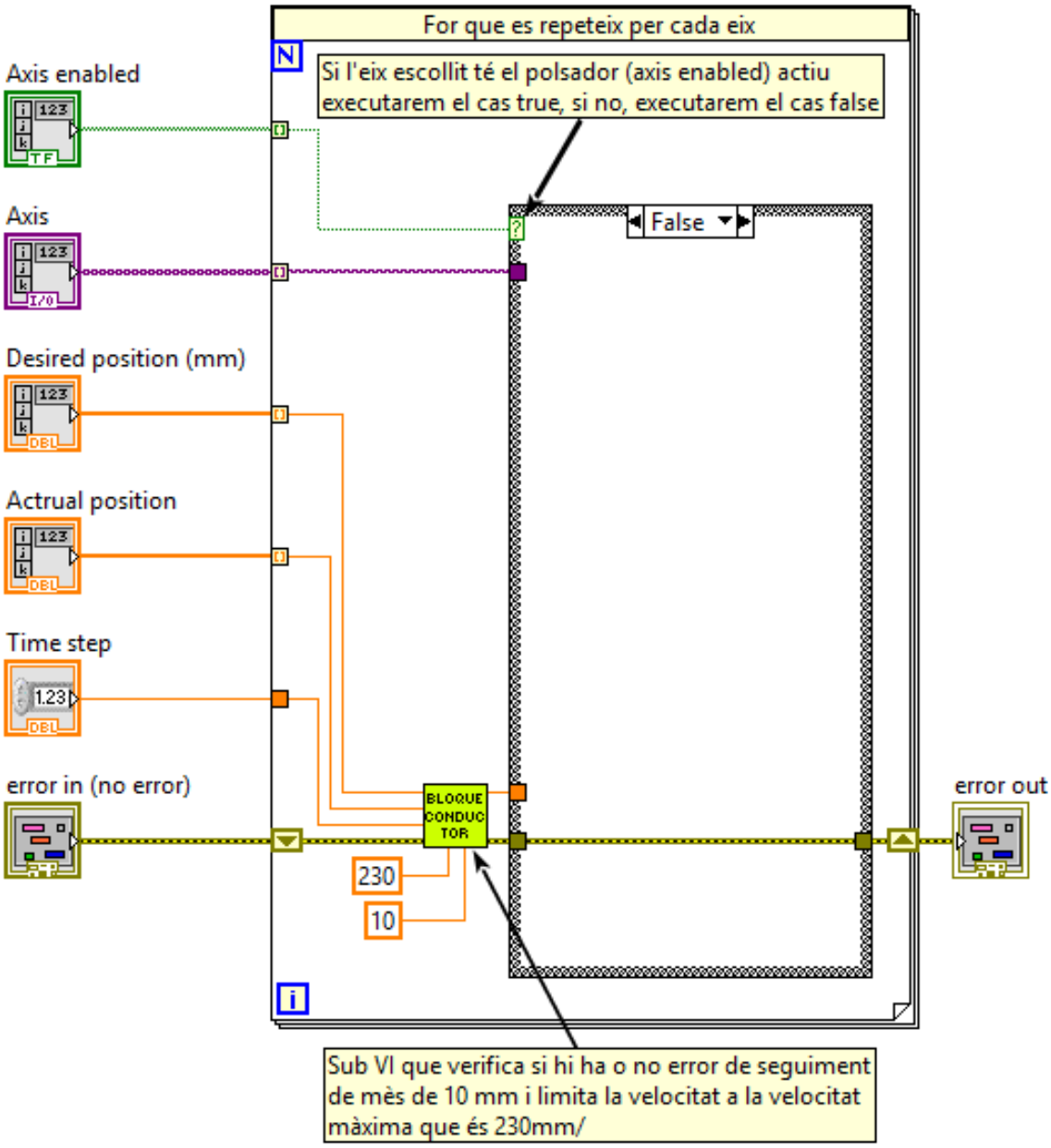


Figura 148

- Dins el "For loop" de la Figura 148 hi ha un "case" de dos opcions (True i False):

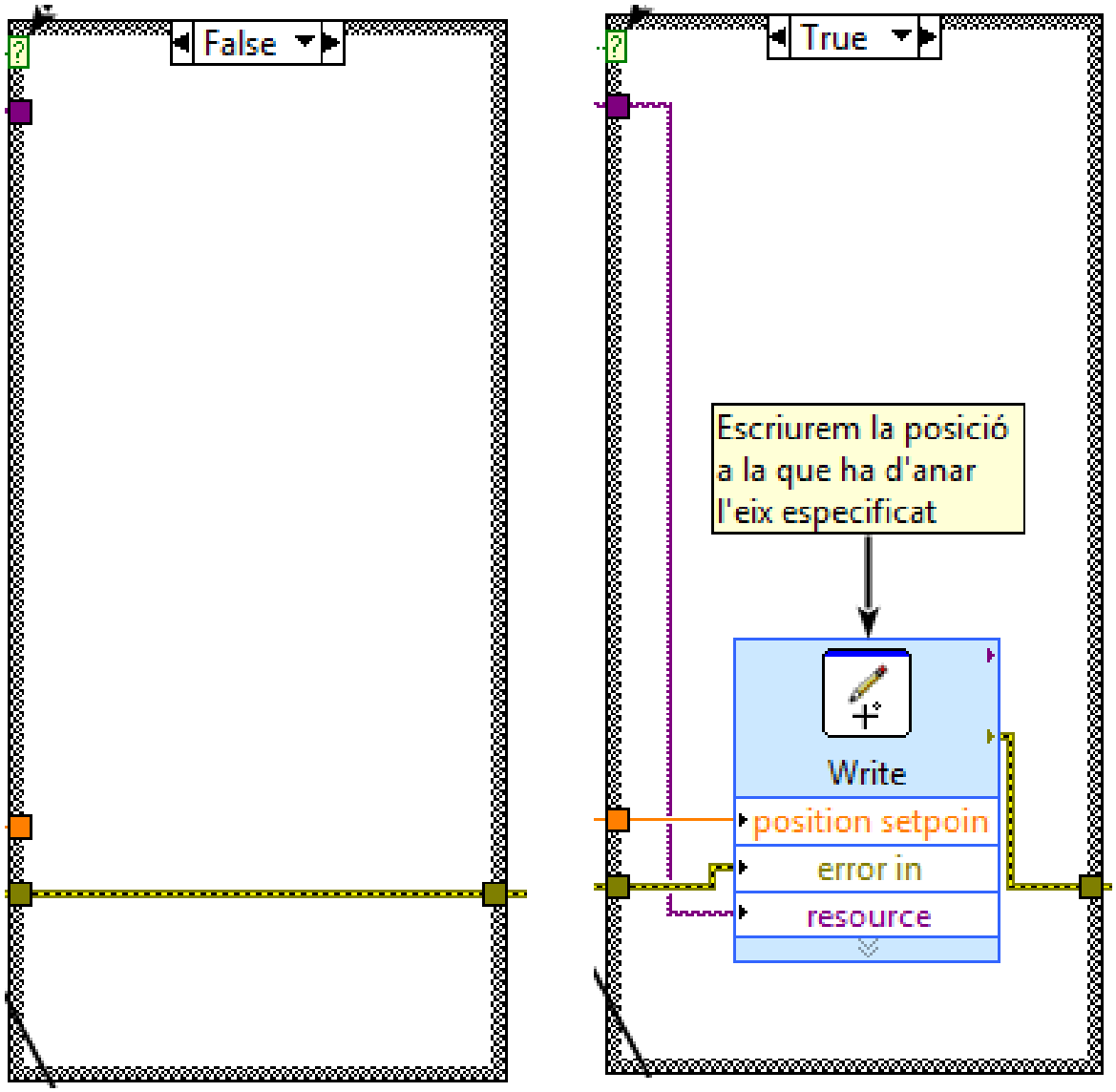


Figura 149. "Case" True i False del VI Mou 6 eixos.

6.2.13 Bloque conductor:

Verifica si hi ha o no error de seguiment i limitem la velocitat a la velocitat màxima a la que pot anar la màquina, que és 230mm/s.

- **Panell frontal:**

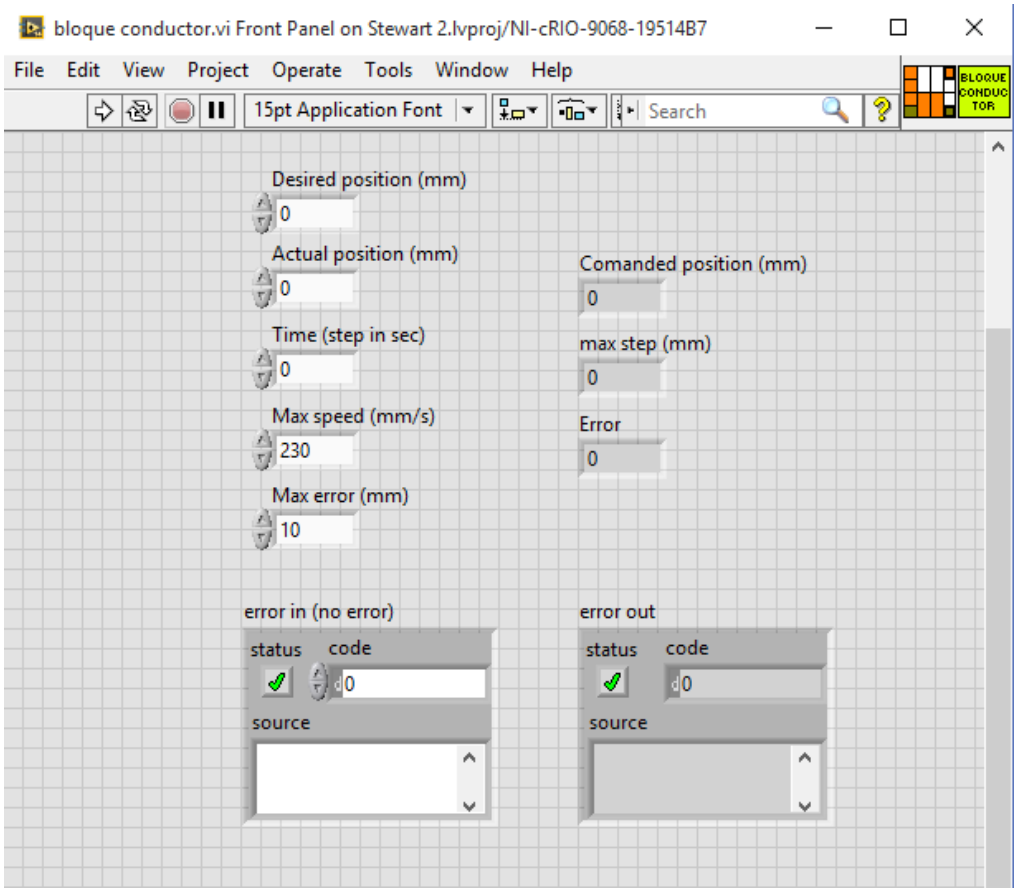


Figura 150

➢ **Diagrama de blocs:**

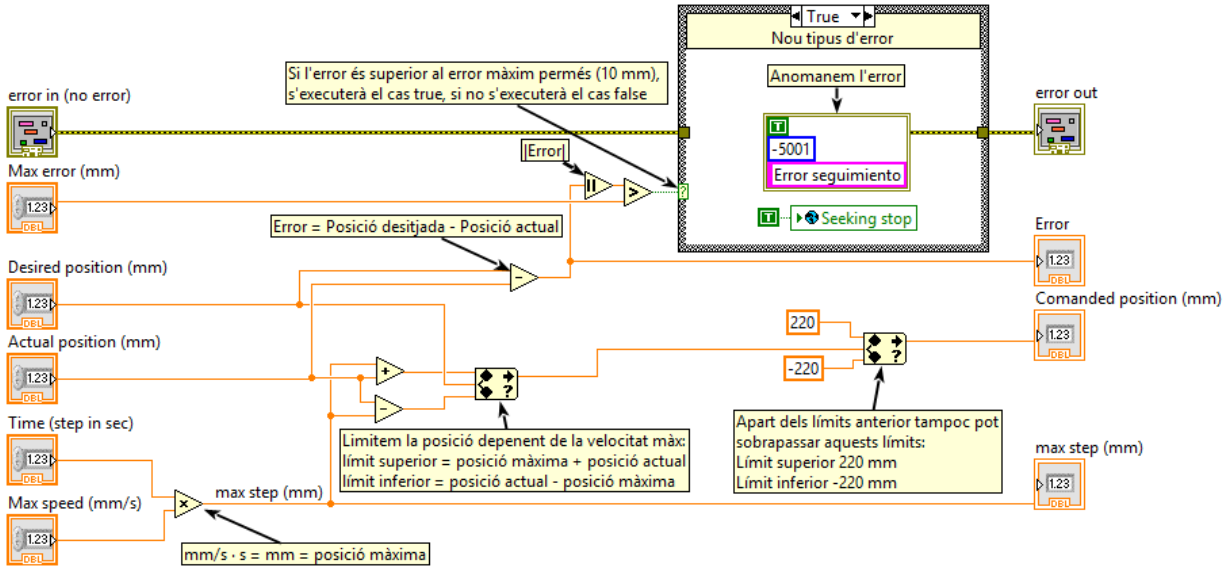


Figura 151

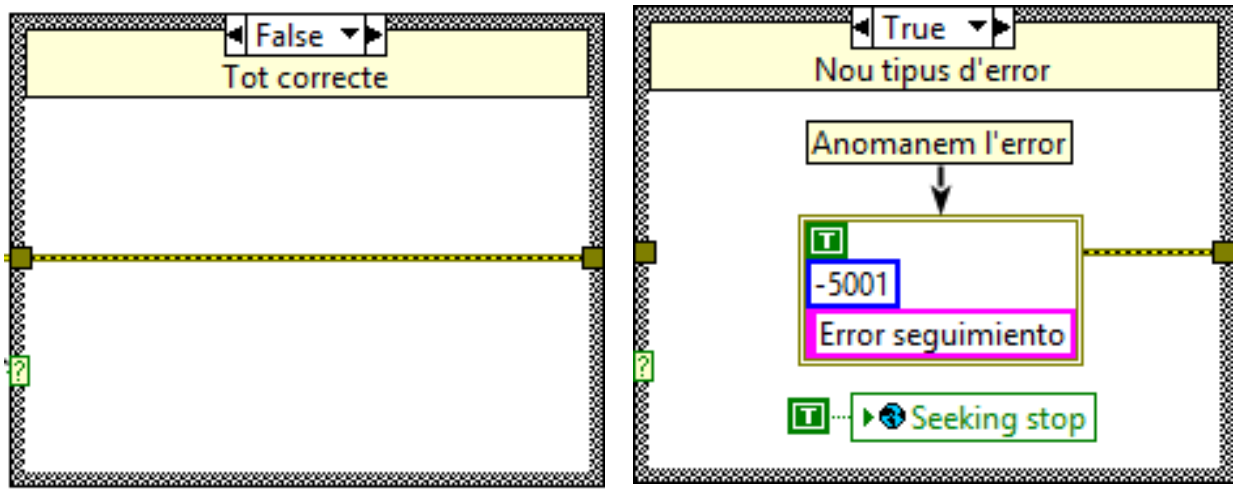


Figura 152. "Case" True i False del VI Bloque conductor.

6.2.14 Get Stewart coordinates:

Aquest VI agafa les coordenades introduïdes en el cluster i les converteix en dues matrius; la matriu dels punts/posició (mm) i la matriu dels angles (º).

- **Panell frontal:**

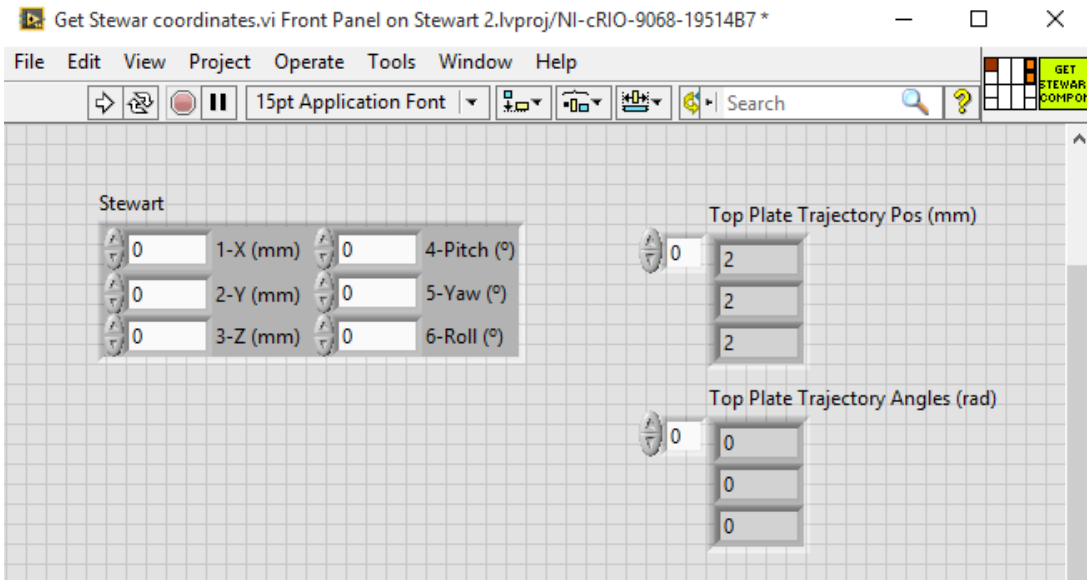


Figura 153

- **Diagrama de blocs:**

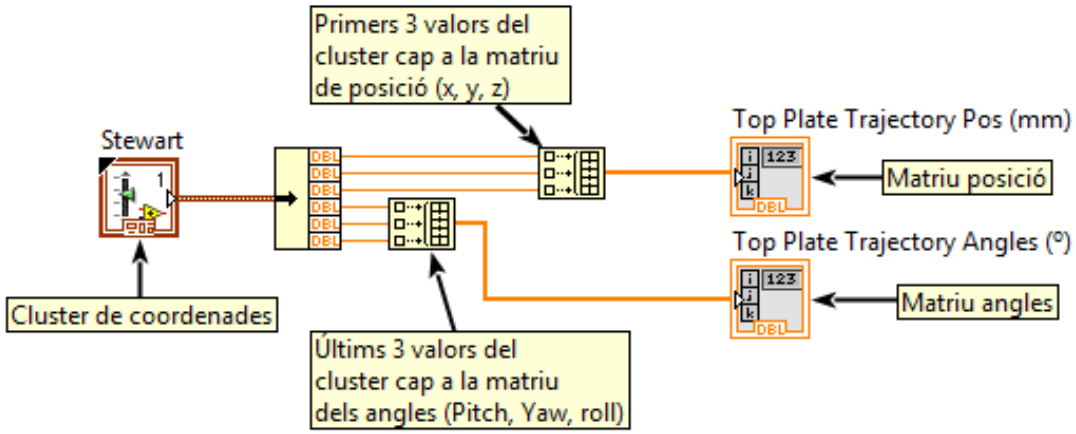


Figura 154

6.2.15 Move to position:

Mou els eixos indicats a la posició i velocitat especificades en cas de no haver-hi error d'entrada.

- **Panell Frontal:**

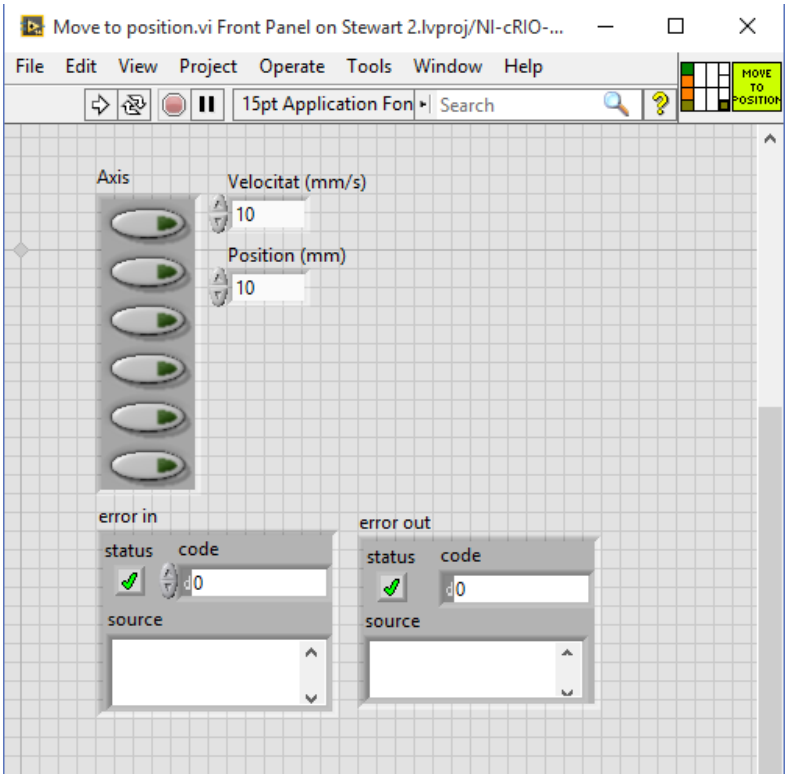


Figura 155

➢ **Diagrama de blocs:**

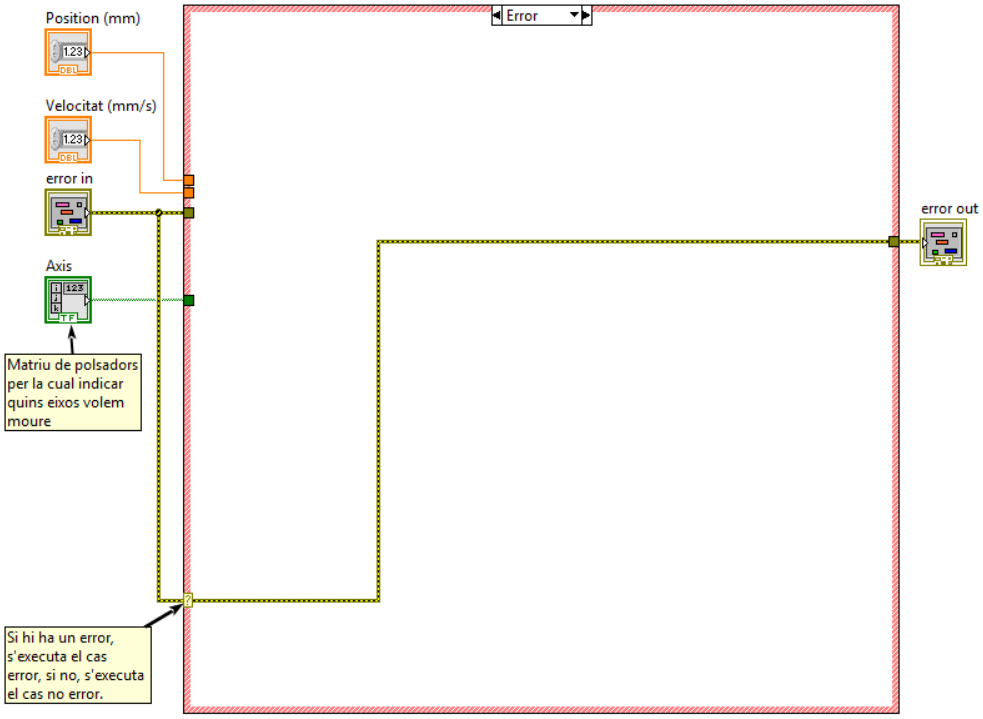


Figura 156. "Case" Error del VI Move to Position

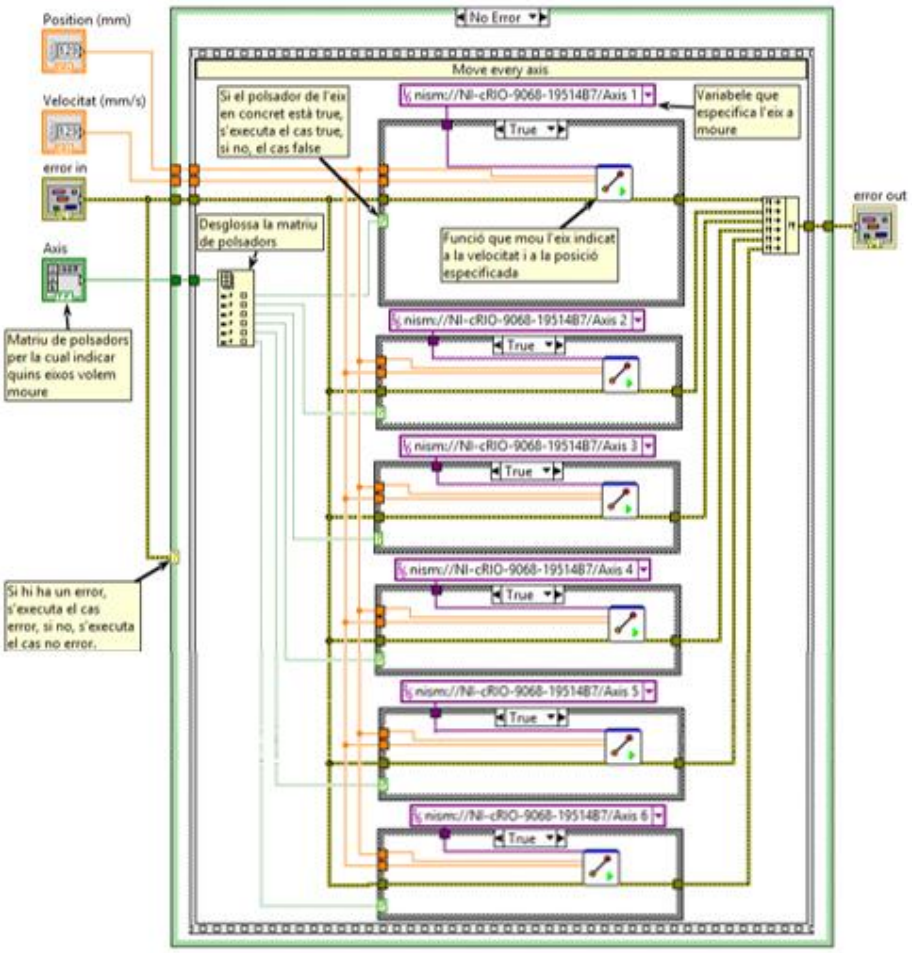


Figura 157. "Case" No error del VI Move to Position

- Dins la seqüència de la Figura 157 hi ha 6 casos iguals de 2 opcions (True i False):

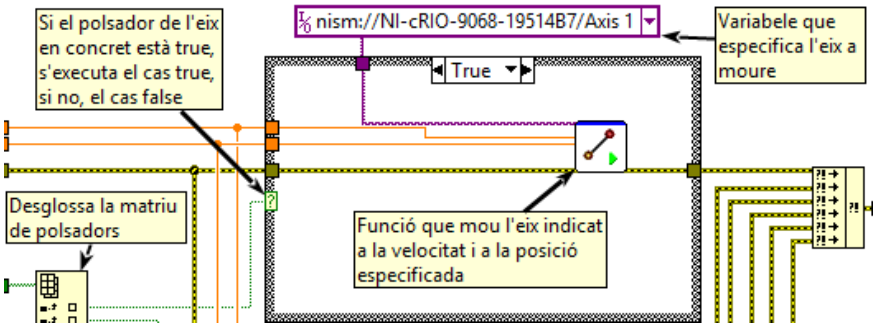


Figura 158. "Case" True del VI Move to Position

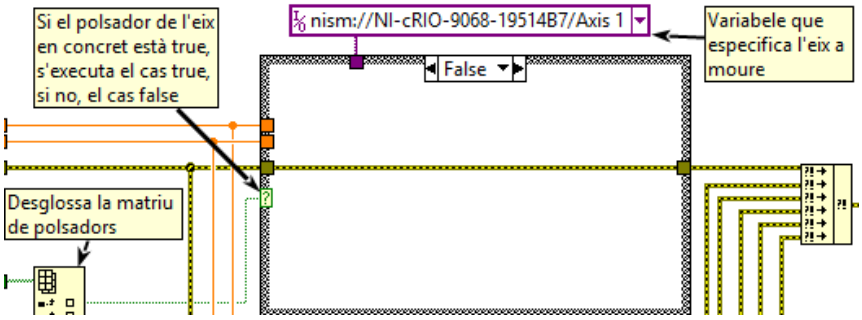


Figura 159. "Case" False del VI Move to Position

6.2.16 Inverse Kinematics:

Calcula la cinemàtica inversa, és a dir, a partir d'una posició x, y, z i els angles Pitch, Yaw i Roll a la qual volem que vagi la plataforma, aquest VI calcula la distància a la que ha d'anar cada cilindre per complir amb les coordenades especificades.

Les matrius Body pts, Pos Base i Nominal Leg Length estan extretes del projecte fi de grau *"Estudi mecànic i posada en funcionament d'una plataforma Stewart"* de l'Ester Bajona Torra.

- **Panell Frontal:**

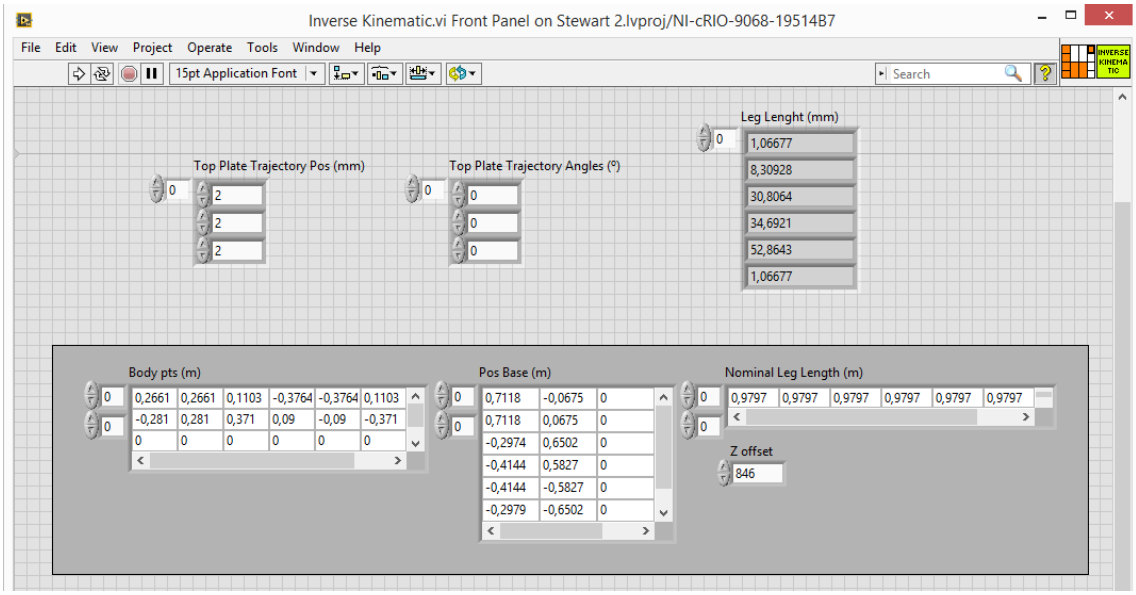


Figura 160

➢ **Diagrama de bolcs:**

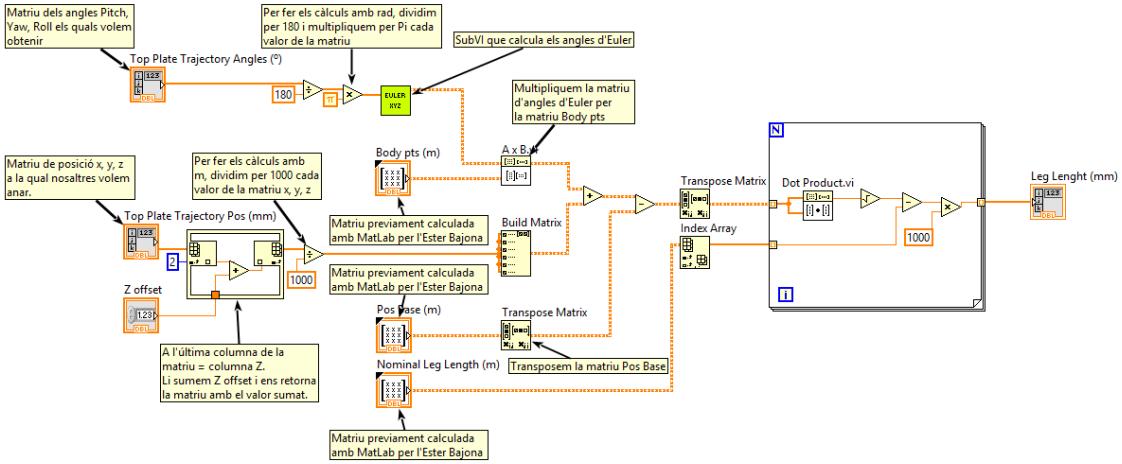


Figura 161

6.2.17 Euler XYZ:

Aquest SubVI calcula els angles d'Euler.

Els angles d'Euler constitueixen un conjunt de tres coordenades angulars, que serveixen per especificar l'orientació d'un sistema de referència d'eixos ortogonals, normalment mòbils, respecte un altra sistema de referència d'eixos ortogonals, normalment fix.

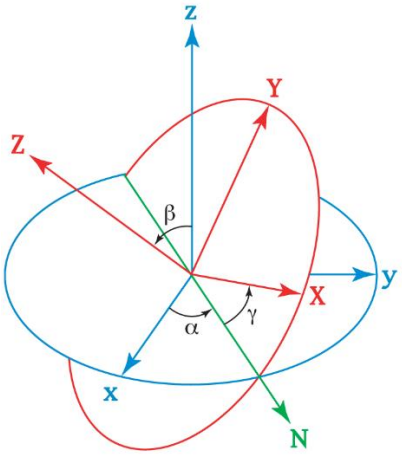


Figura 162

Qualsevol dels dues sistemes de coordenades ortogonals poden estar relacionats per una seqüència de rotacions (no més de tres) sobre eixos

de coordenades, dels quals dos rotacions successives no poden realitzar-se sobre el mateix eix.

Matriu utilitzada per calcular els angles d'Euler:

$$X_1Y_1Z_1 = \begin{bmatrix} C_2C_3 & -C_2S_3 & S_2 \\ C_1S_3 + C_3S_1S_2 & C_1C_3 - S_1S_2S_3 & -C_2S_1 \\ S_1S_3 - C_1C_3S_2 & C_3S_1 + C_1S_2S_3 & C_1C_2 \end{bmatrix}$$

- **Panell Frontal:**

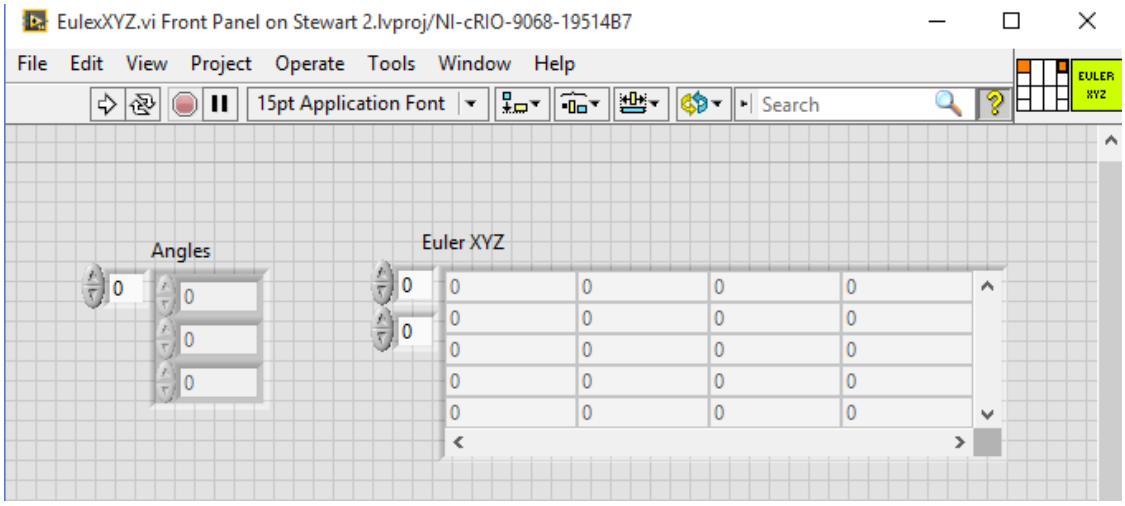


Figura 163

- **Diagrama de blocs:**

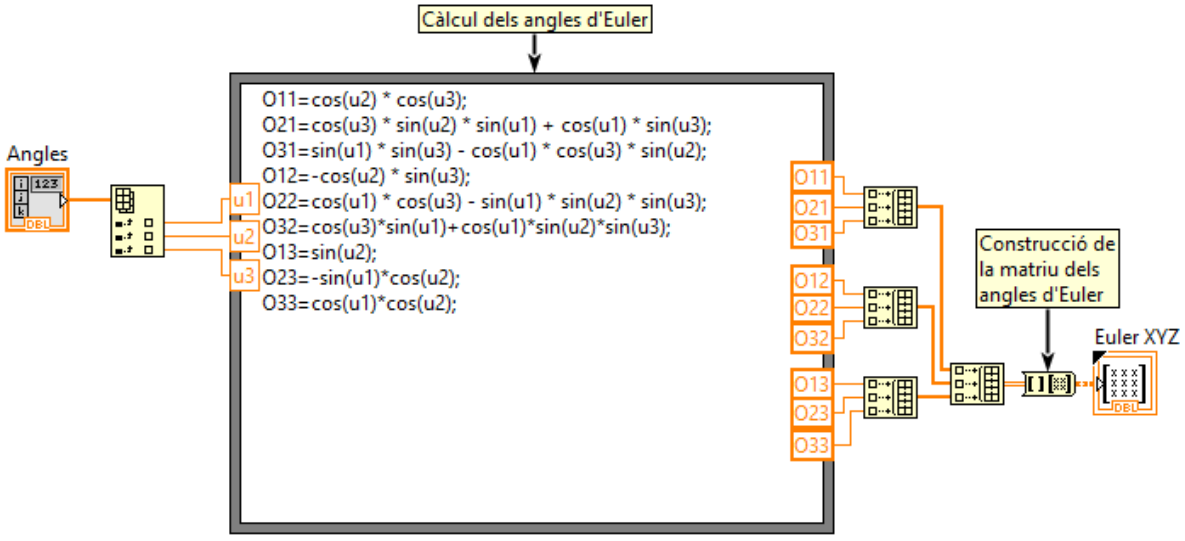


Figura 164

6.2.18 Espiral:

Calcula la funció espiral.

- **Panell Frontal:**

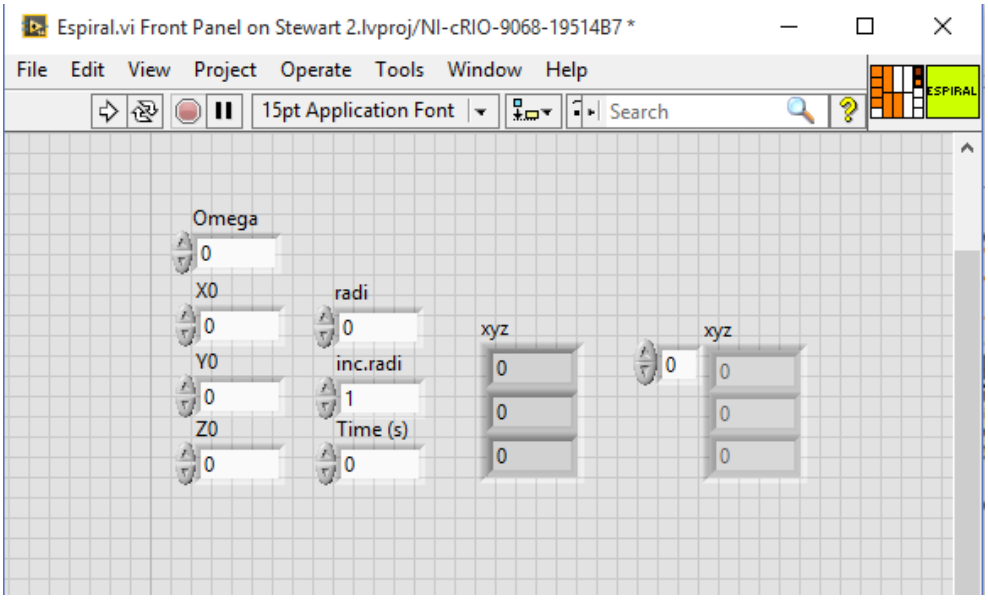


Figura 165

- **Diagrama de blocs:**

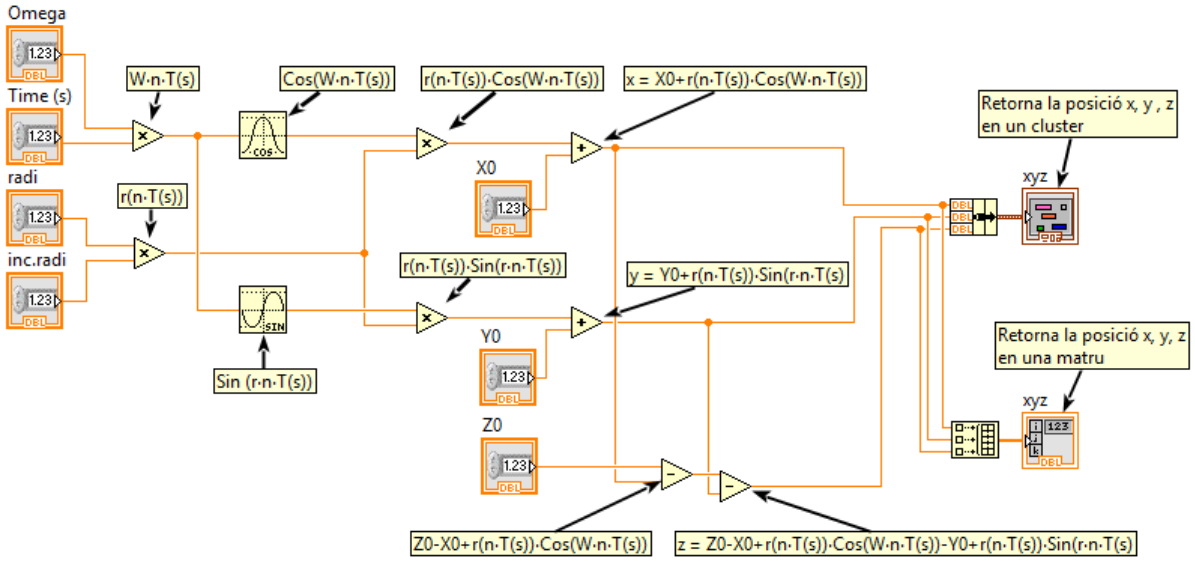


Figura 166

7. POSTA EN MARXA LA PLATAFORMA:

7.1 Iniciar el programa:

1. Ens assegurem que estigui tot connectat (connexions dels cilindres amb l'armari, connexió Ethernet de l'ordinador amb l'armari, connexió de l'armari al corrent i connexió de l'ordinador al corrent).

2. Donem alimentació a la maquinària; Diferencial i magnetotèrmic ON, parada d'emergència OFF i l'interruptor d'activació de drivers a 1.

3. Engeguem l'ordinador i seguidament introduïm com a contrasenya "Stewart".

4. Un cop estiguem a la pantalla principal, iniciem LabVIEW. Seleccionant Inici/NI LabVIEW 2014.

5. Ens apareixerà una finestra (Figura 167) i hem de seleccionar el projecte Stewart 2.lvproj, que té com a path, C:\Users\Stewart\Desktop\TFG\ Project VI variables network\Projects VI\Stewart 2, acostumarà a ésser la primera opció.

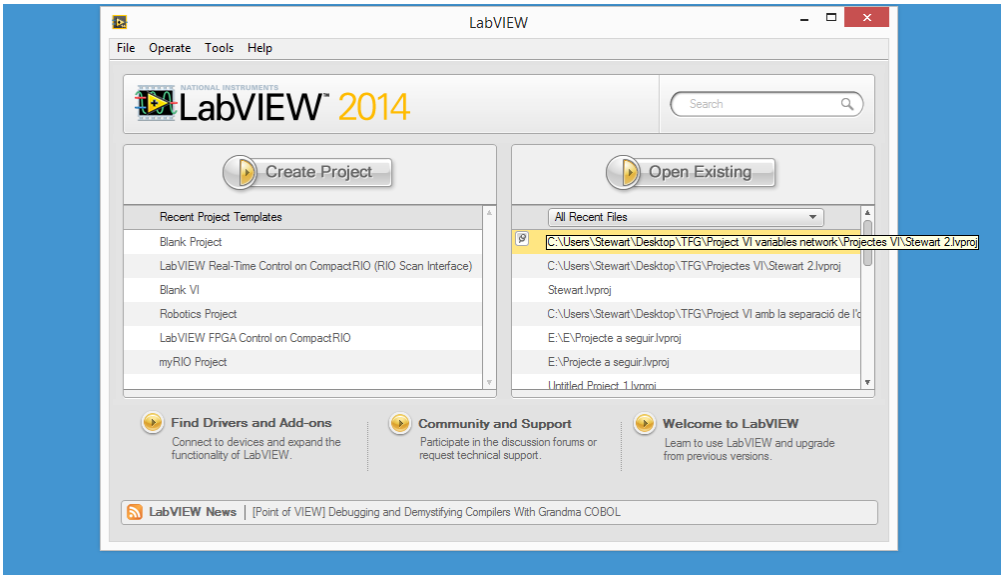


Figura 167

6. Un cop seleccionat el projecte Stewart 2.lvproj ens apareixerà la següent finestra (Figura 168):

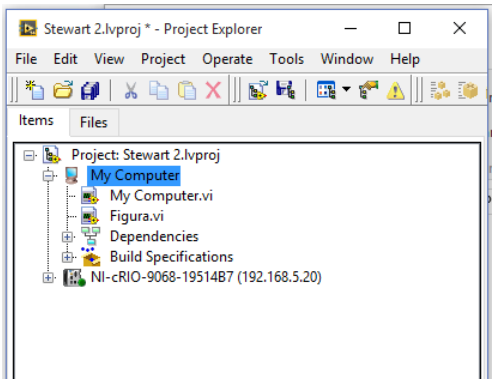


Figura 168

7. Ens connectarem a la CompactRIO fent clic amb el botó dret sobre NI-cRIO-9068-1951487 (192.168.5.20) i seguidament seleccionar Connect (Figura 169).

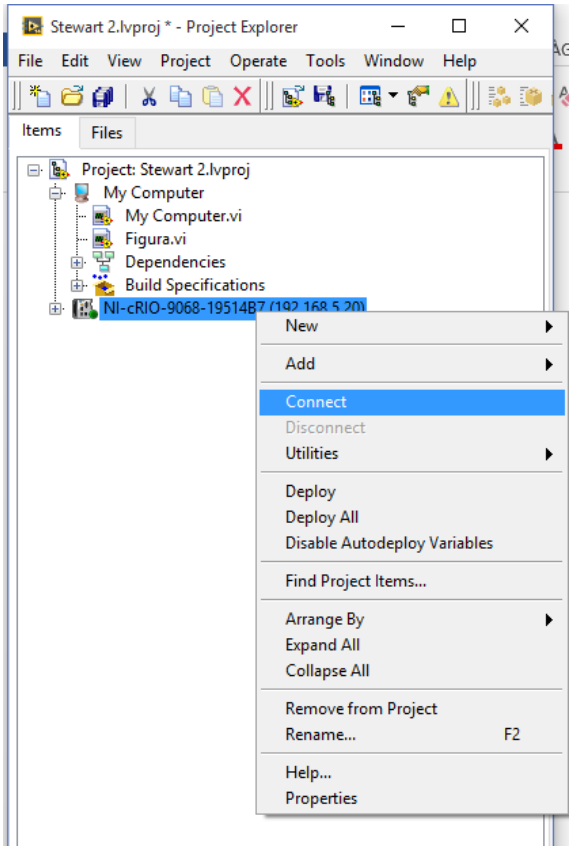


Figura 169

8. Desplegarem el menú de la CompactRIO i executarem el Programa RT, el qual s'executa dins la CompactRIO. Per això, farem clic amb el botó dret sobre el Programa RT i seleccionarem Run (Figura 170).

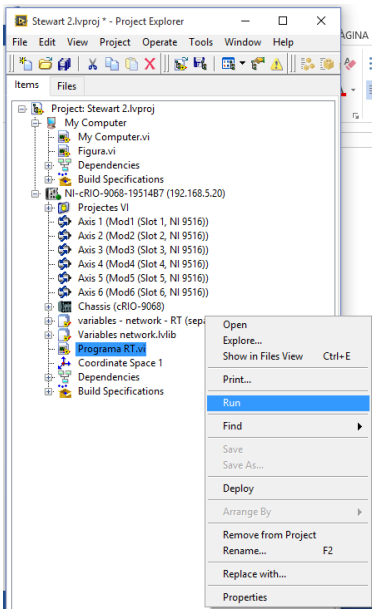


Figura 170

9. Finalment, executem el programa que actuarà sobre la plataforma. Per això, seleccionem My Computer i cliquem Run (Figura 171). Un cop completat aquest punt, ja podrem actuar sobre la plataforma com ens convingui.

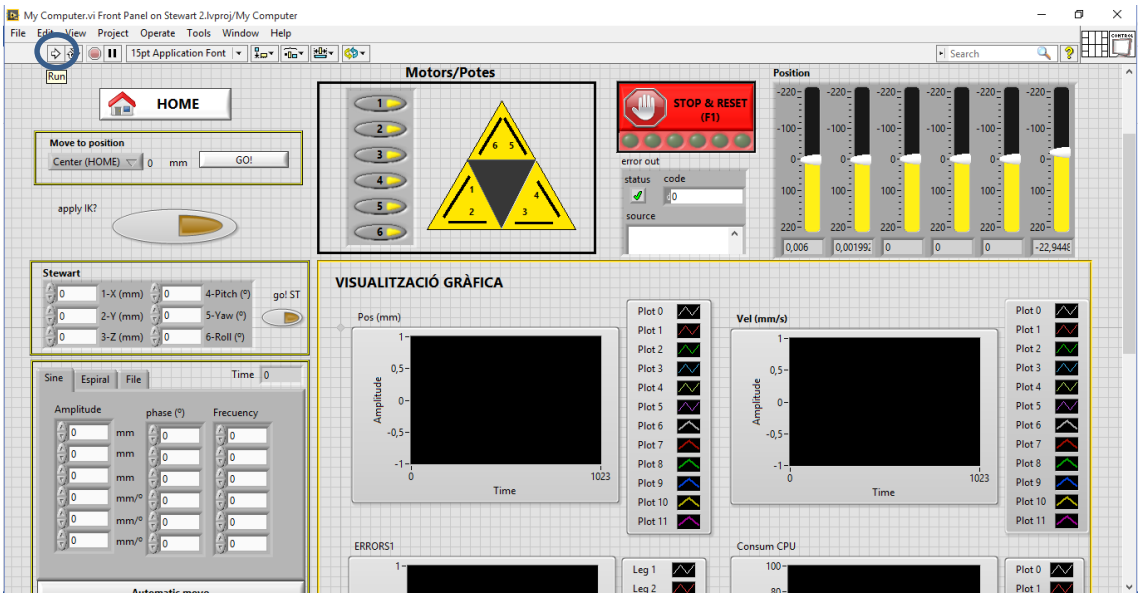


Figura 171

7.2 Crear o modificar una trajectòria:

Per crear o modificar una trajectòria cal seguir els següents passos:

1. Definirem la trajectòria amb un arxiu Excel. Aquest arxiu/trajectòria haurà de tenir els següents requisits:
    a. Començar amb Temps 0 i la fila del inici de trajectòria sempre serà la 2.
    b. Començar i acabarà a la posició (0,0,0) i angles (0,0,0).
    c. L'ordre de les columnes (Time, X, Y, Z, Pitch, Yaw, Roll) sempre serà el mostrat a la Figura 169.
    d. El temps sempre serà ascendent, si no es així es produirà un error de seguiment.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Time (s)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Pitch (§)	Yaw (§)	Roll (§)	
2	0	0	0	0	0	0	0	
3	5	160	0	0	0	0	0	
4	15	-160	0	0	0	0	0	
5	20	0	0	0	0	0	0	
6	25	0	160	0	0	0	0	
7	35	0	-160	0	0	0	0	
8	40	0	0	0	0	0	0	
9	45	0	0	160	0	0	0	
10	55	0	0	-160	0	0	0	
11	59	0	0	0	0	0	0	
12	63	0	0	0	10	0	0	
13	67	0	0	0	-10	0	0	
14	71	0	0	0	0	0	0	
15	75	0	0	0	0	10	0	
16	79	0	0	0	0	-10	0	
17	83	0	0	0	0	0	0	
18	87	0	0	0	0	0	10	
19	91	0	0	0	0	0	-10	
20	95	0	0	0	0	0	0	
21	97	0	0	0	10	0	0	
22	99	0	0	0	0	10	0	
23	101	0	0	0	-10	0	0	
24	103	0	0	0	0	-10	0	
25	105	0	0	0	10	0	0	
26	107	0	0	0	0	10	0	
27	109	0	0	0	-10	0	0	
28	111	0	0	0	0	-10	0	
29	115	0	0	0	0	0	0	
30	117	50	0	-20	0	0	0	
31	119	-20	0	50	0	0	0	
32	121	50	0	-20	0	0	0	
33	123	-20	0	50	0	0	0	
34	125	0	0	0	0	0	0	
35								
36								

Figura 172

2. Un cop dissenyada la trajectòria la guardarem a Escritorio/TFG/Project VI variables network/Projectes VI/Trajectories (Figura 173).

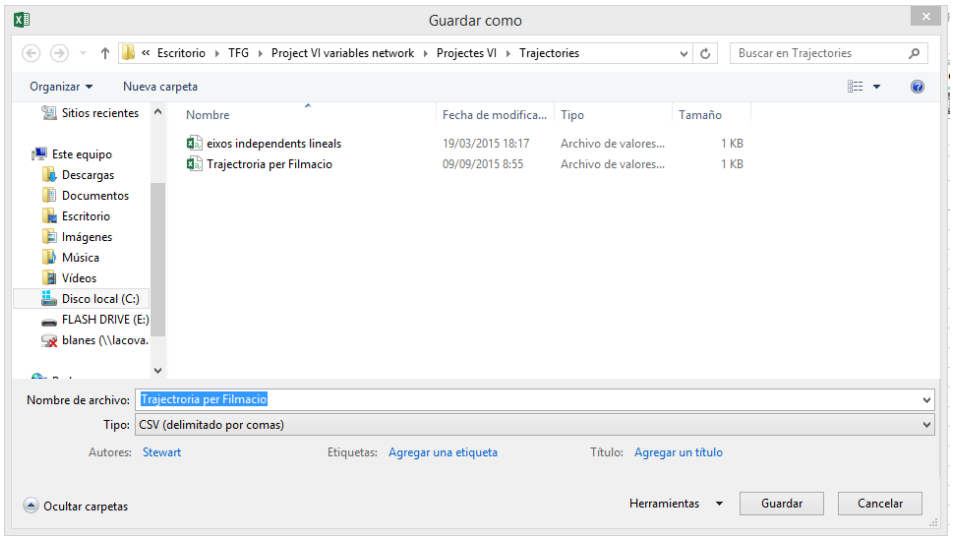


Figura 173

3. Guardarem la trajectòria dins la CompactRIO per poder-la llegir. Per això, iniciarem l'explorador i anirem a l'adreça 192.168.5.20 (Figura 174).

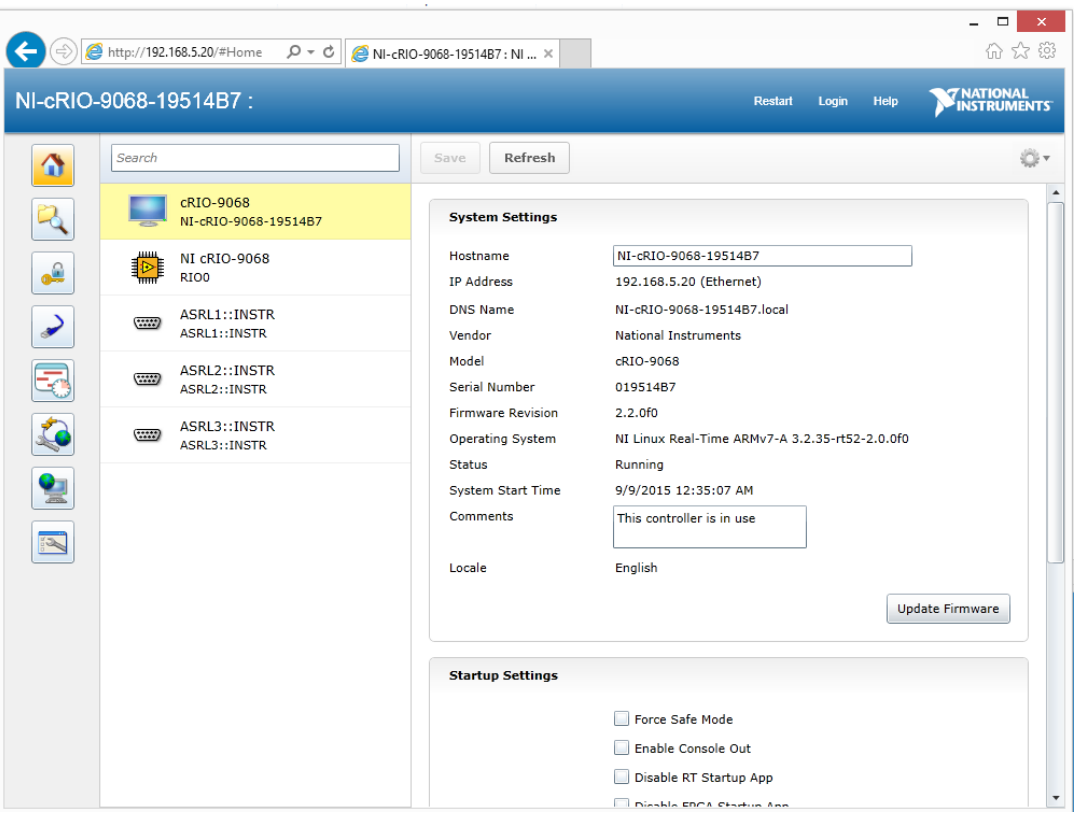


Figura 174

4. Seleccionarem Login, es troba a la part dreta superior.

5. Introduïm el nom d'usuari "admin" i la contrasenya "Stewart".

6. Seleccionem cercar fitxer /home/Ivuser/Files i ens ha de sortir una finestra com la mostrada a la Figura 175.

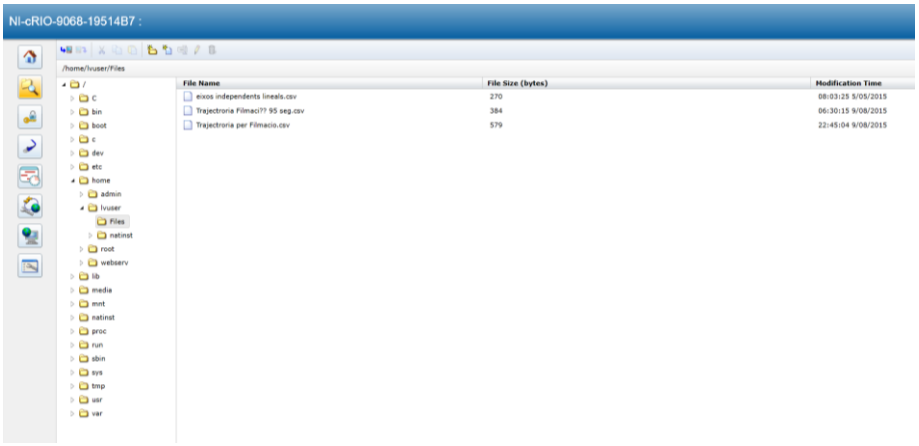


Figura 175

7. Cliquem sobre Upload File, i seleccionem el fitxer creat. D'aquesta manera el fitxer estarà dins la CompactRIO i el programa dissenyat amb LabVIEW ens el podrà llegir.

8. PRESSUPOST DE LA PLATAFORMA STEWART:

COMPONENT	PREU (€/u)	UNITATS	TOTAL (€)
CompactRIO 9068	3.809	1	3.809
Font alimentació NI PS-15	212	3	636
Mòdul NI 9516	823	6	4.938
Driver AKD-P00306-NBEC-0000	709	6	4.254
Cilindre EC2-AKM23D-BC2-2016B-450-MP3-FS2-C0	2.743	6	16.458
TP-LINK	42,12	1	42,12
Cable NI 9516 to AKD	134	6	804
Cable AKD to AKM (motor cilindre)	125	6	750
Cable AKM to AKD	69	6	414
Cable Ethernet	3,5	7	24,5
Plataforma superior e inferior	2661,75	1	2661,75
Armari (muntatge, relés, interruptors, diferencial, magnetotèrmic i indicador)	2.792	1	2.792
Ordinador	796,43	1	796,43
Software	427,28	1	427,28

Sub Total:	**38.807,08 €**
I.V.A. 21%:	**8.149,49 €**
Total:	**46.956.57 €**

9. LÍNIES FUTURES:

Vam anar dues setmanes a la Universitat Agder de Grimstad, Noruega. Allà tenen dues plataformes Stewart, que com la nostra, tenen tot el control programat amb LabView. Les dues plataformes estan constituïdes per cilindres hidràulics. Els cilindres hidràulics tenen molta més potència/força que els cilindres elèctrics.

Utilitzen aquestes plataformes per simular les onades del mar i així poder comprovar com actuarien altres estructures, com per exemple un braç robòtic, al veure's afectades per aquestes onades i modificar els llaços de control pertinents per tal de que el braç robòtic pugui treballar correctament i amb la precisió necessària sobre, per exemple, d'un vaixell.

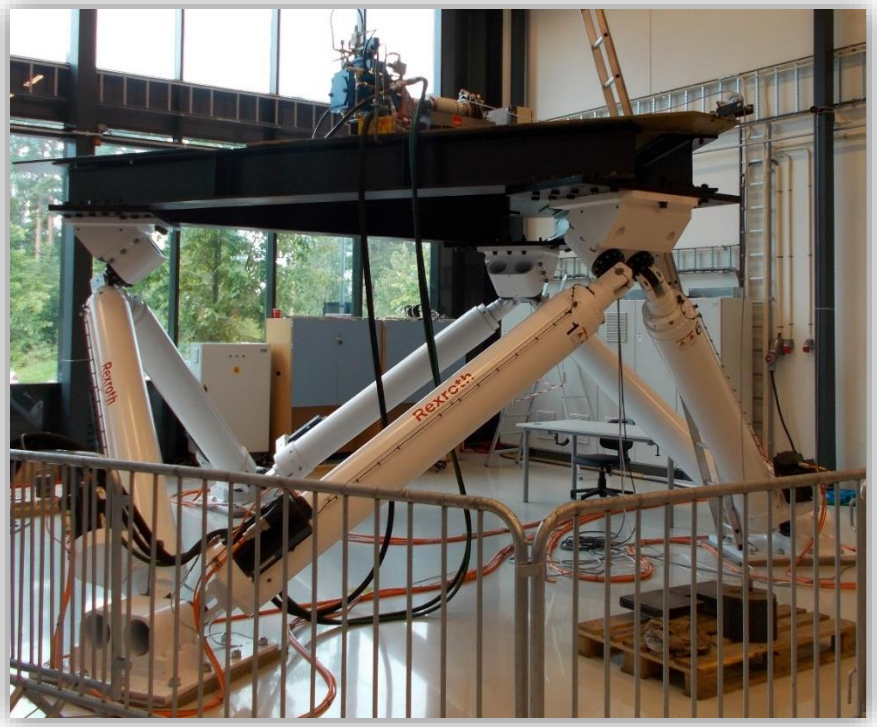


Figura 176

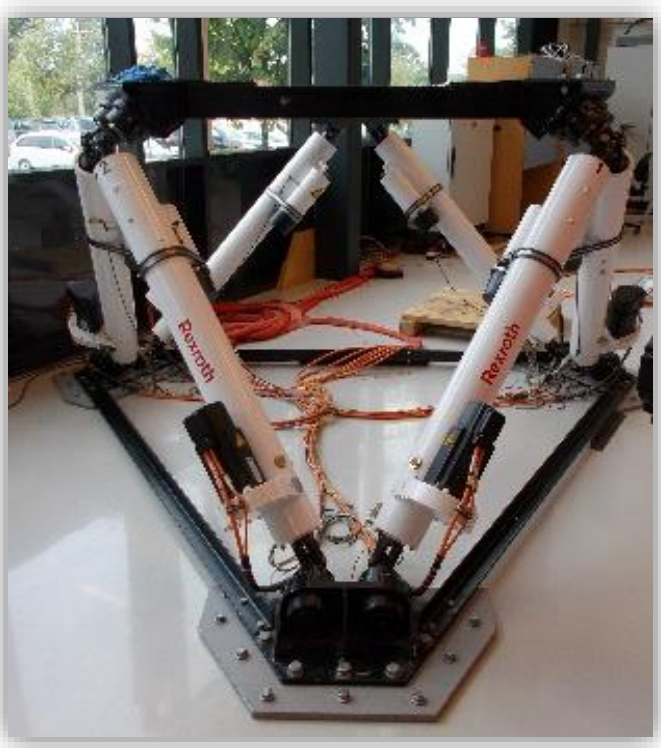


Figura 177

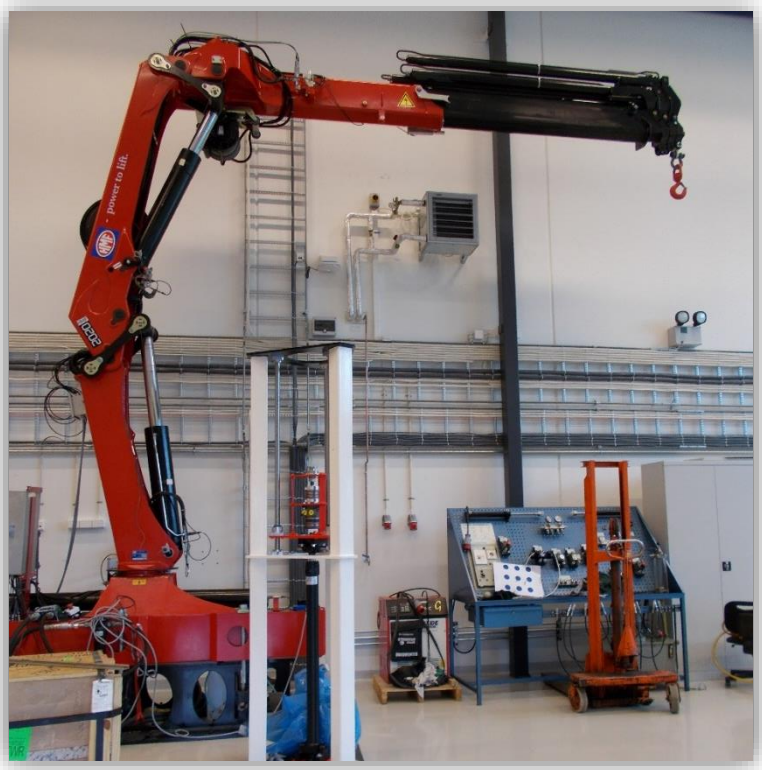


Figura 178

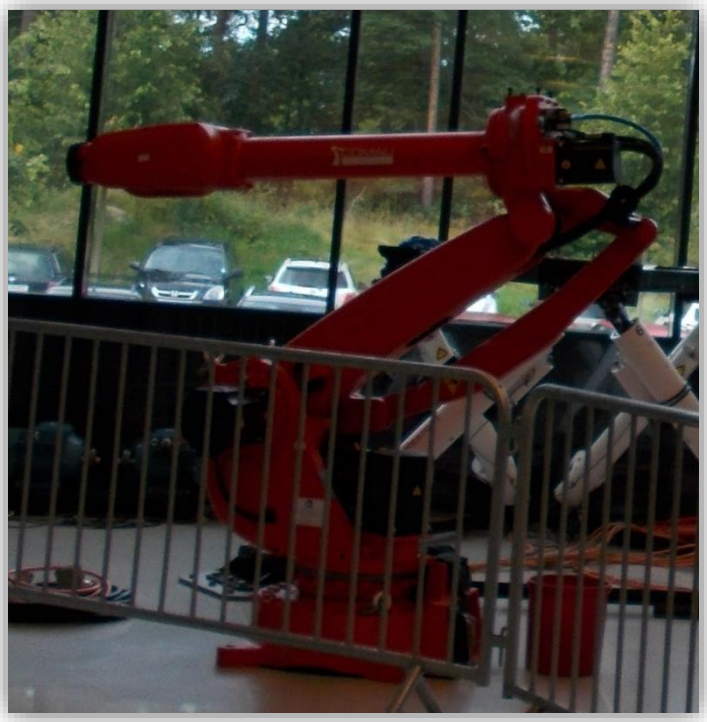


Figura 179

10. CONCUSIONS:

Hem complert els objectiu proposats en aquest projecte; muntar una plataforma Stewart, de dimensions considerables, a partir de l'adquisició dels seus components i, una vegada ja construïda, aconseguir que es mogués amb la màxima precisió i suavitat possible a l'hora de seguir una trajectòria prefixada.

S'han programat els algorismes de moviment i de control PD concret per poder simular qualsevol tipus de trajectòria amb èxit. Val a dir que, en aquests moments, la màquina ja es troba totalment operativa i amb un alt nivell de prestacions.

11. BIBLIOGRAFIA:

Ref. 1: NASA. National Aeronautics and Space Administration [en línia]. [Consulta: 5 octubre 2015]. Disponible a: <http://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/multimedia/cvsrf/index.shtml>

Ref. 2: All About Robòtic Sugery [en línia]. [Consulta: 5 octubre 2015]. Disponible a: <http://allaboutroboticsurgery.com/surgicalrobots.html>

Ref. 3: PukiWiki [el línia]. [Consulta: 5 octubre 2015]. Disponible a: <http://fennetic.net/gingery_machines/hexapod.html>

Ref. 4: NI. National Instruments [en línia]. [Consulta: 20 agost 2015]. Disponible a: <http://spain.ni.com/>

Ref. 5: KOLLMORGEN. Because Motion Matters [en línia]. [Consulta: 8 maig 2015]. Disponible a: <http://www.kollmorgen.com/en-us/home/>

Ref. 6: DIELPO. Material DIELPO eléctrico [en línea]. [Consulta: 16 juliol 2015]. Disponible a: <http://www.dielpo.com/catalog/schneider-acti-magnetotrmico-ik60n-p-8221.html>

Ref. 7: Schneider Electric [en línia]. [Consulta: 16 juliol 2015]. Disponible a: <http://www.schneider-electric.com/products/es/es/1600-aparamenta-modular-acti-9/1620-proteccion-diferencial-acti-9/7559-interruptor-diferencial-acti-iid/>

Ref. 8: CINVESTAV. Computación científica [en línia]. [Consulta: 2 agost 2015]. Disponible a: <http://www.dim.cinvestav.mx/DimPrimerGnra/rotaciones/contact-us.html>

Ref. 9: WIKIPEDIA. La enciclopèdia libre [en línia]. [Consulta: 2 agost 2015]. Disponible a: <https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulos_de_Euler>

Ref. 10: José Rafael Lajara Vizcaíno; José Pelegrí Sebastiá. *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. 2a ed. Barcelona: Marcombo, 2011. ISBN: 978-84-267-1696-5.

Ref. 11: M. Wapler, V. Urban, T. Weisener, J. Stallkamp, M. Durr, and A. Hiller, A Stewart platform for precision surgery, Trans. Of the Inst. Of Mesurement and Control, vol. 25, no. 4, pp. 329-334, 2003.

Ref. 12: J. C. Jáuregui, E.E. Hernández, M. Ceccarelli, C. López-Cajún, and A. García, Kinematic calibration of precise 6-DOF Stewart platforma-type positioning Systems for radio telescope applications, Frontiers of Mechanical Engineering, vol. 8, no. 3, pp. 252-260, 2013.

12. ANNEXOS:

12.1 Annex 1.- Autorització de la matrícula del TFG en modalitat A o B:

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

NORMATIVA DEL TFG DE L'EPSEM
Emplenar per l'estudiant/a

ANNEX 1.- AUTORITZACIÓ DE LA MATRÍCULA DEL TFG EN MODALITAT A o B

ESTUDIANT/A: Marina Lloys Llobet **Núm. Identificatiu** 39394379w
GRAU EN: Enginyeria Electrònica Industrial i Automatització
DIRECTOR/A DEL TFG: Jesús Vicente Rodrigo
DEPARTAMENT: DIPSE
REALITZACIÓ EN ANGLÈS: Sí ☐ No ■
MODALITAT: A ■ B ☐

TÍTOL: Implementació del sistema de control d'una plataforma Stewart

DESCRIPCIÓ:

Estudi previ i estat de l'art de les plataformes Stewart i els seus camps d'aplicació.
La implementació es realitzarà amb el software LabView, s'utilitzarà una CPU Compact RIO i diferents mòduls de National Instruments.
Posada en funcionament de la plataforma Stewart i ajust dels paràmetres dels llaços de control corresponents a les característiques dels diferens elements electromecànics que la constitueixen.

SOL·LICITUD PER A SER AVALUAT DE LES COMPETÈNCIES GENÈRIQUES EN NIVELL 3 (si no estan assolides)	Sí	No
1.- Emprenedoria i innovació		x
2.- Sostenibilitat i compromís social		x
3.- Tercera Llengua		x
4.- Comunicació eficaç oral i escrita		x
5.- Ús solvent dels recursos d'informació		x
6.- Aprenentatge autònom		x
7.- Treball en equip		x

Director/a	Co-director/a (si s'escau)	Estudiant/a
Signatura	Signatura	Signatura

12.2 Annex 2.- **Manual de programació del driver AKD.**

12.3 Annex 3.- **Manual de la CompactRIO 9068**

12.4 Annex 4.- **Manual de la Font d'alimentació NI PS-15**

12.5 Annex 5.- **Manual del Mòdul NI 9516**

12.6 Annex 6.- **Full de característiques del Cilindre EC2-AKM23D-B2C-20-16B-450-MP3-FS2-C0**

12.7 Annex 7.- **Full de característiques del motor AKM23D**

12.8 Annex 8.- **Manual del driver AKD-P00306-NBEC-0000**

12.9 Annex 9.- **Manual pel connexionat del hardware i configuració del software.**