

DANIEL RIOJA ELVIRA

**DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN SIMULADOR DE MOVIMENT
DE 5 EIXOS**

TREBALL DE FI DE GRAU

DIRIGIT PER JOAN PERE FIBLA BIOSCA

**GRAU DE ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I
AUTOMÀTICA (GEEIA)**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

INTRODUCCIÓ

INDEX

Daniel Rioja Elvira	1
Disseny i Construcció d'un Simulador de Moviment de 5 eixos	1
TREBALL DE FI DE GRAU	1
Dirigit per Joan Pere Fibla Biosca	1
Grau de Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica (GEEiA)	1
Agraïments	5
1. INTRODUCCIÓ	6
2. EMPRESA	7
3. ANTECEDENTS	8
3.1. Simuladors de moviment per vídeojocs	8
3.1.1. Introducció.....	8
3.1.2. Videojocs de simulació.....	9
3.1.3. Productes disponibles al mercat	9
3.1.4. Especificacions	14
3.2. Reptes mecànics	15
3.3. Selecció dels equips.....	15
4. OBJECTIUS.....	19
4.1. Selecció dels productes del mercat pel simulador	19
4.2. Disseny, fabricació i muntatge de la mecànica.....	19
4.3. Desenvolupament del codi per a la simulació	20
4.4. Implementar una interfície visual pel control.....	20
4.5. Implementar mòduls de seguretat.....	20
4.6. Aconseguir un simulador funcional.....	21
5. DISSENY DE LA SOLUCIÓ	22
5.1. Selecció del Hardware	22
5.1.1. PC	22
5.1.1.1. Processador (CPU)	22
5.1.1.2. Targeta gràfica (GPU)	23
5.1.1.3. Memòria RAM	23
5.1.1.4. Unitat d'emmagatzematge (SSD).....	24
5.1.1.5. Placa base	24
5.1.1.6. Font d'alimentació (PSU).....	25
5.1.1.7. Refrigeració i Caixa.....	25
5.1.1.8. Pantalla del Cockpit.....	26

INTRODUCCIÓ

5.1.2.	Volant Fanatec CLS DD	27
5.1.3.	IPC (AC703).....	29
5.1.4.	HMI (IT7070E)	31
5.1.5.	Pantalla tàctil (HP821W).....	32
5.1.1.	Motors.....	33
5.1.1.1.	Servomotor MS1H4-10C30CB-A331R	33
5.1.1.2.	Motor lineal LMC1-F12-0500D242-20053N10-INT.....	36
5.1.2.	Servo Accionaments	38
5.1.2.1.	SV660.....	38
5.1.2.2.	SV680LN.....	40
5.1.3.	Mòduls d'expansió	41
5.1.3.1.	GL20-RTU-ECT.....	42
5.1.3.2.	GL20-1600END	43
5.1.3.3.	GL20-1600ETP	44
5.1.4.	Seguretat	45
5.1.4.1.	MOSAIC M1S COM.....	45
5.1.4.2.	MI16	46
5.1.4.3.	SAFELOCK SLK-E-M-2NC-24	47
5.2.	Desenvolupament del Software	48
5.2.1.	Assetto Corsa.....	48
5.2.2.	SimTools.....	48
5.2.2.1.	Configuració de les Comunicacions	49
5.2.2.2.	Configuració dels eixos	51
5.2.3.	Desenvolupament del codi i el control del simulador	55
5.2.3.1.	InoProShop (CODESYS)	56
5.2.3.2.	Configuració de Xarxa.....	57
5.2.3.1.	Configuració dels equips	59
5.2.3.1.1.	InoDriverShop	60
5.2.3.2.	Aplicació.....	62
5.2.3.2.1.	Comunicacions	63
5.2.3.2.2.	Moviment i maniobra	66
5.2.3.2.2.1.	Mode de simulació	67
5.2.3.2.2.2.	Mode Manual.....	70
5.2.3.2.2.3.	Maniobra.....	71
5.2.3.2.2.3.1.	Mosaic Safety Designer.....	73

INTRODUCCIÓ

5.2.3.2.3.	Control.....	76
5.2.3.2.3.1.	InoTouchPad.....	77
5.2.3.2.3.1.1.	Menú principal.....	79
5.2.3.2.3.1.2.	Mode de simulació	80
5.2.3.2.3.1.3.	Mode JOG	81
5.2.3.2.3.1.4.	Mode 3DOF.....	82
5.2.3.2.3.2.	WebVisu	83
5.2.3.2.3.2.1.	Menú principal.....	84
5.2.3.2.3.2.2.	Mode de simulació	85
5.2.3.2.3.2.3.	Mode JOG	86
5.2.3.2.3.2.4.	Mode 3DOF.....	86
5.3.	Disseny, fabricació i muntatge de la mecànica.....	86
5.3.1.	Recerca	87
5.3.2.	Cockpit	88
5.3.3.	Actuadors.....	89
5.3.4.	Versions anteriors	90
5.3.4.1.	V1	91
5.3.4.2.	V2	95
5.3.4.3.	V3	97
5.3.5.	Versió actual (V6)	99
5.3.5.1.	Muntatge.....	101
6.	CONCLUSIONS.....	107
7.	OPTIMITZACIONS I/O MILLORES	109
8.	FUTURES VERSIONS	111
9.	WEBGRAFÍA	112
	INDEX D'IMATGES.....	114
	INDEX DE TAULES	119
10.	ANNEXES	121
10.1.	Fira Hispack 2024.....	121

INTRODUCCIÓ

AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair al David, tutor a l'empresa, per donar-me l'oportunitat de fer aquest simulador com a projecte de fi de grau, per la confiança dipositada en mi i per tota l'ajuda que he rebut, a més de la quantitat de consells que m'ha donat i els coneixements que ha compartit amb mi. Encara no soc conscient de la magnitud del projecte que he pogut desenvolupar gràcies a ell.

També vull agrair als meus companys a l'oficina de Vilafranca (Alícia, Marc, Rosa i Lluís) pels ànims i tota l'ajuda que he rebut, tant per quan necessitava un cop de mà muntant el simulador, com a les setmanes crítiques abans de la fira. No m'oblido dels meus companys que no estan tant a l'oficina. Gràcies al Raul per solucionar-me els dubtes sobre els equips i donar-me un cop de mà quan necessitava qualsevol cosa. Gràcies al Paco pel temps que ha passat trencant-se el cap amb mi per tirar endavant el simulador quan les coses es complicaven.

Gràcies al meu tutor acadèmic per tota l'ajuda que m'ha donat per saber com encaminar la memòria i la presentació, com pels ànims i consells de vida.

Gràcies als meus pares, l'Eli i el Jose, per escoltar-me sempre que arribava estressat quan no sortien les coses i saber sempre que dir-me per calmar la ment. Gràcies pel suport incondicional i la confiança en què jo era capaç de tirar el projecte endavant. Gràcies per donar-me l'oportunitat d'estudiar el que m'agrada i poder dedicar-me a això.

Gràcies als meus amics. Gràcies al grup d'Amsterdam: la Paula, la Maria, a l'Andrei, a l'Ari, al Angel, la Mercè, el Miguel i a la Mireia, als que conec des de tota la vida.

Gràcies al grup que es va formar durant el curs passat: a l'Isma, l'Andrea i l'Alba, amb els que sembla que portem tota la carrera estudiant junts.

Gràcies al Runi i al Rubén per, tot i que ja no ens veiem tant, haver estat sempre i haver-me donat un espai on quedar i oblidar-me dels problemes del moment.

Gràcies a Pataquers de la URV per donar-me l'oportunitat de conèixer a tanta gent meravellosa que m'ha donat suport incondicional durant el projecte, i per permetre'm conèixer a l'Abril.

Gràcies Abril per estar sempre quan ho he necessitat i per ser qui ets i com ets amb mi. Per tots els ànims, l'amor incondicional que hem demostrat i per convertir-te en un dels meus pilars en molt poc temps.

Gràcies Arnau, per ser el meu amic des que tinc ús de raó i gràcies Gadgeto, per ser el meu company d'aventures durant el temps que portem junts.

I per últim, gràcies a totes les persones que no puc mencionar aquí perquè són masses, però que saben que els porto amb mi sempre i que soc com soc i qui soc per elles.

INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

La present memòria descriu el desenvolupament del meu treball de Fi de Grau (TFG), el qual s'ha basat en el disseny i fabricació d'un simulador de moviment de 5 eixos .

Es podrà veure tant el disseny d'un xassís mecànic, el qual ha de ser robust i senzill, i al mateix temps ha de poder adaptar-se a productes comercials. A més, es veurà el desenvolupament del codi necessari per poder executar un moviment que simuli amb realisme un cotxe de competició a una pista de carreres.

L'objectiu del projecte és el d'obtenir un simulador de moviment basat en cotxes de carreres pel seu ús en fires, a mode de demostració del potencial dels equips que es fan servir. Es faran servir IPCs, servomotors, servo accionaments, pantalles HMI i mòduls de seguretat per poder executar el software desenvolupat.

Aquest projecte s'ha dut a terme durant una estada de pràctiques a l'empresa Inovance Technology España SL, on també vaig tenir l'oportunitat de realitzar una altra estada de pràctiques a l'estiu del curs anterior.

Gràcies a aquestes estades de pràctiques he pogut formar part d'un equip multidisciplinari amb personal altament qualificat en la indústria de l'automatització, els quals m'han ajudat i assessorat durant el projecte i dels quals he après molt.

El simulador que s'ha acabat desenvolupant es tracta d'una primera versió, la qual s'acabarà optimitzant amb l'objectiu d'una possible comercialització, tot i que el seu objectiu inicial ha estat el de servir com a DEMO a la fira HISPACK de 2024 a Barcelona, a mode de publicitat de l'empresa i reclam de possibles clients interessats en el producte Inovance.



Figura 1. Simulador de moviment

Durant aquest període, he estat immers en un entorn laboral dinàmic, on he pogut aplicar els coneixements adquirits durant la meva formació acadèmica en un context pràctic i real. Això m'ha permès comprendre a fons les necessitats i reptes que es presenten en el camp dels sistemes de control, així com explorar noves tecnologies i metodologies de treball.

En resum, aquesta memòria reflecteix el resultat dels esforços i aprenentatges acumulats durant la meva estada de pràctiques a l'empresa, així com durant el procés de desenvolupament del meu TFG. Espero que aquest document serveixi com a testimoni del meu compromís i dedicació en la consecució d'aquest projecte, així com dels coneixements i habilitats adquirits al llarg d'aquesta experiència única i enriquidora.

2. EMPRESA

Inovance, amb seu central a Shenzhen (Xina) va ser fundada al 2003, i és el proveïdor líder a Xina de components i solucions per l'automatització industrial. És el cinquè a nivell mundial en servosistemes i el setè a nivell mundial en variadors de freqüència de baixa tensió. A l'any 2023 la facturació global del grup va estar al voltant dels 4000 milions de dòlars.

Inovance ofereix una gama completa de productes d'automatització industrial, que inclou variadors de freqüència de baixa i mitja tensió, servo sistemes, controladors de moviment, autòmats programables, CNCs, pantalles tàctils i robots industrials. El equip tècnic de Inovance té experiència en molts sectors industrials: embalatge, impressió, tèxtil, màquina eina, maquinària especial, bancs de proves, grues i elevació.

L'oficina de Inovance Technology España SL, situada a Vilafranca del Penedès (Barcelona), disposa d'un equip humà per proveir solucions completes d'automatització industrial als clients d'Espanya i Portugal. A Europa, a més de la sucursal espanyola, Inovance té la seu central europea, situada a prop de Stuttgart (Alemanya), i oficines de venda i enginyeria a França, Itàlia i Turquia, així com distribuïdors a diferents països del continent europeu.

3. ANTECEDENTS

3.1. Simuladors de moviment per vídeojocs

3.1.1. Introducció

Els simuladors de conducció i vol són eines tecnològiques que ofereixen experiències immersives per a aquells interessats en practicar i millorar les seves habilitats en la conducció de vehicles terrestres i aeris.

De fet, es fan servir per entrenar a les persones per pilotar avions comercials o de combat, i en el cas dels de conducció, es fan servir per poder simular vehicles de competició i poder tenir una idea del comportament i rendiment del cotxe abans de portar-ho a pista, abaratint molt el procés de disseny.

Tant per la conducció de cotxes o pilotatge d'aeronaus, els simuladors permeten controlar aquests vehicles tan complexos en condicions variables i ajustables d'una forma controlada, segura i econòmica.

L'objectiu d'aquest simulador és fer-lo servir per conduir cotxes de competició, tant GT, com F1 o ral·li. Per això és important conèixer que són els graus de llibertat, quants hi han i quins són els més importants a l'hora de simular el comportament del vehicle a una cursa.

Els graus de llibertat es refereixen a la quantitat de moviments que poden ser controlats independentment en un sistema. En el cas dels simuladors, es refereixen als diferents tipus de moviments que el simulador és capaç de replicar per proporcionar una experiència més realista.

A un simulador de conducció interessa sentir els girs bruscos del volant, l'acceleració i la frenada, les inclinacions laterals i longitudinals del vehicle al agafar les corbes o passar per un peralt i la pèrdua de tracció, tant davantera com posterior, donant èmfasi en aquesta última.

Per aconseguir aquests efectes, existeixen 7 tipus de moviments:

- **Roll:** Correspon al moviment de gir lateral al voltant del seu eix longitudinal. A un cotxe és perceptible al pujar les rodes a un piano, passar per un peralt o, de forma suau, al girar.
- **Pitch:** Moviment de gir vertical al voltant del seu eix transversal. S'aplica al agafar una pujada o baixada.
- **Yaw/Traction loss:** Moviment de gir lateral al voltant de l'eix vertical. Quan parlem de Yaw ens referim als avions, mentre que el *Traction Loss* seria pels cotxes. En el cas dels cotxes, es pot sentir al perdre el control del vehicle a causa de la pèrdua de tracció o d'adherència a les rodes, experimentant un gir a la part frontal i posterior, sobretot a aquesta última.
- **Sway:** Moviment lateral. Correspon a les forces G que s'experimenten al girar a les corbes, és la força centrífuga que t'empeny en sentit contrari al sentit de gir.
- **Surge:** Moviment de desplaçament cap endavant o cap enrere. És el causat per l'acceleració, la frenada o al fer el canvi de marxa.
- **Heave:** Moviment vertical ascendent o descendent. S'experimenta al passar per un sot, per exemple.

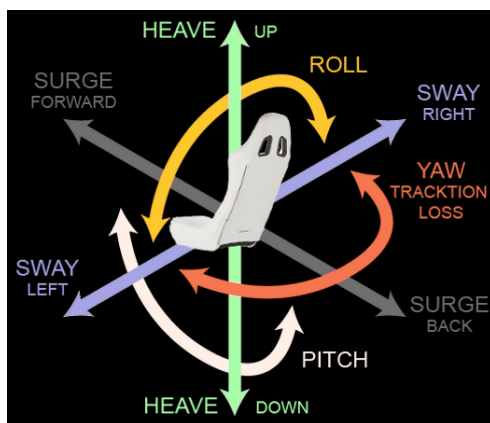


Figura 2. Il·lustració dels graus de llibertat

3.1.2. Videojocs de simulació

Tot i que normalment, el que busca la gran part d'usuaris dels videojocs de cotxes i carreres en general és tenir una experiència divertida i d'oci, hi ha un sector d'usuaris que busca el màxim realisme per poder tenir la sensació de pilotar un cotxe de competició, cosa que no qualsevol persona és capaç de fer.

Actualment podem trobar diversos [títols](#) que tracten de portar al mitjà digital l'experiència de conduir cotxes de competició de la forma més propera i realista possible.

Aquests videojocs integren sistemes amb magnituds físiques realistes, com les forces G generades en prendre una corba, la pèrdua de tracció, l'escalfament dels pneumàtics, l'estat de l'asfalt o fins i tot com les condicions meteorològiques de la pista i l'hora a la qual es pilota influeixen. També permeten personalitzar i fer ajustos molt avançats al cotxe per poder adaptar el vehicle a la teva forma de pilotar o a les condicions de pista requerides.

Normalment per poder experimentar les sensacions que et permeten obtenir aquest tipus de videojocs cal fer ús d'accessoris com volants, pedals o palanques de canvi. Per tant, és important escollir un videojoc el qual ens pugui proporcionar una simulació fidel a la realitat, amb una llista extensa de vehicles de competició i esportius configurables, pistes reals i físiques avançades.

Hi ha diversos títols que compleixen amb aquests requisits. Els més famosos són: el Dirt Rally, un dels simuladors de ral·li més fets servir per la comunitat del SimRacing; el F1 2024, on es pot sentir el que és conduir un monoplaça de la categoria reina de l'automobilisme; o bé títols com Assetto Corsa que se centren més en la categoria GT.

3.1.3. Productes disponibles al mercat

Per poder començar al món de la simulació de videojocs, cal una consola o un ordinador per poder executar-los. Per tal de poder accedir als més realistes, cal tenir un ordinador potent (amb un processador i tarja gràfica d'altres prestacions), a més d'una pantalla de qualitat per poder gaudir dels gràfics, tot i que per tal d'obtenir més realisme, molts opten per la realitat virtual.

Al mercat podem trobar tot tipus de productes destinats al SimRacing. Normalment, els usuaris s'inicien amb els volants i pedals per simulació.

Hi ha de diferent tipus, des dels més senzills i econòmics, pensats per principiants, fins els més sofisticats, capaços de transmetre el parell i les sensacions d'un volant real.

ANTECEDENTS

Aquests últims són coneguts com *Direct Drive*, i són els que escollirem pel nostre simulador, ja que l'objectiu és apropar-se el màxim possible a la realitat, i aquests volants són el primer pas.

Els volants *Direct Drive* són un tipus de perifèric per la simulació de conducció que proporcionen una resposta més precisa i una sensació de conducció més realista. A diferència dels volants convencionals, que utilitzen motors amb engranatges o corretges, els volants *Direct Drive* estan connectats directament a l'eix del motor, eliminant la necessitat de mecanismes addicionals.

Això es tradueix en una millor resposta als moviments del vehicle virtual, una major força de retroacció (*Force Feedback*) i una sensació de conducció més autèntica. Els motors apliquen parell al volant per tal de traduir tot el que passa a la pista.

A continuació, es pot observar una taula comparativa amb les diferents opcions de volants *direct drive* que hi ha al mercat:

Gama	Marca	Model	Preu (aproximat)	Parell màxim	Resolució
Mitja	Fanatec	CSL DD	350 €	5 Nm	16 bits
			450 €	8 Nm	
	Moza	R5	330 €	5,5 Nm	15 bits
		R9	440 €	9 Nm	
Cammus	C5	250	5 Nm	-	
Alta	Fanatec	ClubSport series	800 €	12 Nm	16 bits
			1000 €	15 Nm	
	Moza	R12	620 €	12 Nm	15 bits
		R16	870 €	16 Nm	18 bits
	Cammus	C15	450 €	15 Nm	-
	Simagic	Alpha Mini	540 €	10 Nm	18 bits
Alpha		750 €	15 Nm		
Professional	Fanatec	Podium Series	1000 €	20 Nm	16 bits
			1500 €	25 Nm	
	Moza	R21	1100 €	21 Nm	18 bits
	Simagic	Alpha Ultimate	1000 €	23 Nm	18 bits
	Simucube	2 Sport	1250 €	17 Nm	22 bits
		2 Pro	1500 €	25 Nm	22 bits
2 Ultimate		3200 €	32 Nm	24 bits	

Taula 1. Comparativa dels volants DD del mercat

Cal tenir en compte que quan parlem d'un *Direct Drive* parlem del motor que produeix el parell i transmet el parell al volant, però el volant o *ring* en si normalment no està inclòs al preu del motor. Aquests *Direct Drive* incorporen un *Quick Release* el qual permet connectar i desconnectar el *ring* al motor.

Els pedals per simuladors ofereixen una forma precisa de controlar l'acceleració, el frenat i l'embragatge. Solen estar construïts en materials robustos i resistents a l'estrès i poden incloure ajusts com la sensibilitat, resistència ajustable i opcions de personalització.

ANTECEDENTS

En quant als sensors fets servir, poden ser de diferents tipus: potenciómetres, sensors òptics, sensors amb cèl·lula de càrrega, sensors magnètics d'efecte Hall, entre d'altres.

A continuació, es pot observar una taula comparativa amb les diferents opcions de pedals al mercat:

Marca	Model	Preu (aprox.)	Tipus de sensor	Kg màxims	Material
Fanatec	CSL PEDALS	80 €	Magnètic	-	Acer
	CSL PEDALS LC	200 €	Magnètic i cèl·lula de càrrega (fre)	10 kg (min.)	Acer
	ClubSport Pedals V3	400 €	Efecte Hall i cèl·lula de càrrega (fre)	90 kg ajustables	Acer
Thrustmaster	T3PA	140 €	Potenciòmetre	160 kg	Metall
	T3PM	150 €	Magnètic	200 kg	Metall
	T-LCM Pedals	230 €	Magnètic i cèl·lula de càrrega (fre)	100 kg	Metall
Heusinkveld	Sprint	770 €	Magnètic i cèl·lula de càrrega (fre)	120 kg	Acer inoxidable
	Ultimate	1500 €	Cèl·lula de càrrega	200 kg	Acer inoxidable
Moza	SR-P Pedal	180 €	Magnètic i cèl·lula de càrrega (fre)	100 kg	Acer
	CRP Pedals	500 €	Cèl·lula de càrrega	200 kg	Alumini

Taula 2. Comparativa dels pedals al mercat

La següent part important pel simulador és el *cockpit* (cabina de pilotatge). Consisteix en una estructura dissenyada per crear una experiència de conducció més immersiva i realista. Sol incloure una cadira especialment dissenyada per aquest propòsit, així com muntures i suports per la instal·lació de volants, pedals i altres accessoris.

Molts *cockpits* tenen característiques de personalització, com la possibilitat d'ajustar la posició de la cadira, l'angle del volant i la ubicació dels pedals.

Hi ha diferents opcions disponibles, dels més senzills, constituïts per una cadira i un suport pels pedals i el volant, fins els més complexos, fets de perfil·leria d'alumini.

ANTECEDENTS

A continuació, es pot veure una taula amb les diferents opcions al mercat:

Marca	Model	Preu (aprox.)	Material	Ajustable	Pes (kg)
GT Omega	PRIME Cockpit	740 €	Acer, Alumini	Si	45
	PRIME Lite Cockpit	550 €	Acer, Alumini	Si	30
	ART Simulator Cockpit	240 €	Acer, Alumini	Si	28
	Titan Cockpit	390 €	Acer, Alumini	No	29
Playseat	TROPHY	300 €	Acer, Alumini	No	16
	FORMULA	1000 €	Acer, Alumini	Si	36
	SENSATION	1200 €	Acer, Alumini	Si	38
	FORMULA INTELLIGNECE	2500 €	Acer, Alumini	No	50
Sim-Lab	GT1 EVO	400 €	Acer, alumini	Si	-
	GT1 Pro	600 €	Acer, Alumini	Si	-
	P1X Pro	800 €	Acer, Alumini	Si	-
	X1-Pro	1500 €	Acer, Alumini	Si	-
Track Racer	TR160 MK4	770 €	Acer, Alumini	Si	62
	TR120	640 €	Acer, Alumini	Si	47
	TR80 MK5	560 €	Acer, Alumini	Si	47
	TR80 LITE	430 €	Acer, Alumini	Si	36
Next level Racing	F-GT ELITE 160	1500 €	Acer, Alumini	Si	60
	F-GT ELITE	1100 €	Acer, Alumini	Si	53
	F-GT ELITE LITE	700 €	Acer, alumini	Si	36
	GT ELITE LITE	600 €	Acer, Alumini	Si	31

Taula 3. Comparativa dels cockpits al mercat

Per últim, entrem al mercat de la venda dels simuladors amb moviment. Es poden trobar simuladors que es venen de forma completa, és a dir, s'adquireix tant el xassís com el sistema de moviment, tot integrat en un producte, o bé es poden trobar els sistemes de moviment per separat. Aquests últims estan pensats per aquells que ja disposen d'un cockpit compatible amb el sistema de moviment. Hi ha dos tipus, els sistemes de moviment compactes, els quals s'assemblen a un robot delta però invertit, o bé actuadors per separat els quals es fixen directament al *cockpit* (*cockpits* de perfil·leria d'alumini com els esmentats a anteriorment a la taula 3).

ANTECEDENTS

Totes les solucions són viables, a continuació podem veure una taula comparativa dels diferents simuladors de moviment que podem trobar al mercat:

Marca	Model	DOF	Preu (aprox.)	Act. lineal	Vel. lineal	Pot.	Recorregut
PROSIMU	T1000 2M 'SV	2	3900 €	PRS50	208 mm/s	-	100 mm
	T1000 3M 'SV	2+TL	4900 €				
	T1000 5M 'SV	4+TL	12000 €	PRS200	280 mm/s	750 W	100 mm
	T1000 7M 'SV	6+TL	28000 €				150 mm
DOF Reality	M2	2	900 €	-	500 mm/s	350 W	-
	H2	2	2000 €	-	500 mm/s	500 W	-
	H3	2+TL	2900 €	-	500 mm/s	500 W	-
	H6	6	6600€	-	500 mm/s	500 W	-
	P2	2	2900 €	-	750 mm/s	550 W	-
	P3	2+TL	4200 €	-	750 mm/s	550 W	-
	P6	6	8100 €	-	750 mm/s	550 W	-
D-MOVER	D-Mover	4+TL	7000€	D-Mover	250 mm/s	350 W	270 mm
E-RACING LAB	-	-	2300 €	RS MINI	250 mm/s	750 W	50 mm
	-	-	2700 €	RS MEGA+	250 mm/s	750 W	150 mm
QUBIC SYSTEM	QS-CH1	3	-	QS-220 (Q-MODE)	800 mm/s	500 W	100 mm
	QS-V20	3+TL	-	QS-220 (PERFOR M. MODE)	400 mm/s	300 W	
	QS-S25 SPIDER	5	-	QS-220 (DUTY MODE)	300 mm/s	300 W	

Taula 4. Taula comparativa dels simuladors de moviment al mercat

A la *Taula 4* tenim les diferents opcions mencionades anteriorment, com són PROSIMU, DOF Reality o D-MOVER. El primer disposa d'un *cockpit* de perfil·leria d'alumini i un disseny molt més robust, mentre que els següents busquen ser més econòmics i compactes, sacrificant robustesa però sent molt més lleugers.

ANTECEDENTS

Les altres dos opcions, E-RACING LAB i QUBIC SYSTEM, són actuadors lineals o sistemes de moviment que estan pensats per fixar-los a un *cockpit*.

3.1.4. Especificacions

Abans de començar a fer el simulador, cal definir quines especificacions es volen assolir.

Per fer-ho, la part més important és escollir el nombre de d'eixos que es vol tenir, ja que la resta del simulador es formarà al voltant d'aquesta idea.

Per saber quants eixos necessitem, hem de saber quins graus de llibertat volem implementar al simulador. Al SimRacing els eixos més importants són el *Surge*, *Sway* i *Traction Loss*, seguits del *Pitch*, *Roll* i *Heave*. La solució ideal seria fer servir 5 eixos, 3 eixos verticals pel *Pitch*, *Roll* i *Heave*, i dos eixos horitzontals pel *Surge*, *Sway* i *Traction Loss*.

Tot i això, a un simulador no cal tenir el mateix número d'eixos que de graus de llibertat, sinó que els moviments es percebin com reals. Per exemple, la sensació que es rep al accelerar és la del cotxe movent-se cap endavant i el conductor en sentit contrari, quedant-se pegat a la cadira. Amb la frenada és al contrari. Per tant, mentre que la sensació del moviment sigui la mateixa, no cal que el sentit del moviment sigui el que correspon a la realitat.

És per això que farem servir 4 eixos verticals pel *Pitch*, *Roll* i *Heave*, però també pel *Surge* i *Sway*. La idea és simular aquests dos moviments horitzontals en forma d'inclinació lateral i transversal, es a dir, es comportaran com un *Pitch* i *Roll*. Per tant, quan el cotxe acceleri, el simulador s'inclinirà cap al darrera, i al contrari quan es freni simulant així el *Surge*. Pel que fa al *Sway*, farà inclinacions laterals quan el cotxe circuli per una corba ràpidament, fent que el cos caigui cap un costat o un altre, simulant la centrifuga que es genera a un cotxe real. Hi haurà un cinquè eix, aquesta vegada horitzontal, encarregat de simular la pèrdua de tracció o *Traction Loss*.

Com la idea és fer servir servomotors pel moviment, farem servir actuadors lineals per traslladar el moviment rotatiu en lineal. No calen recorreguts molt llargs ja que els moviments durant la simulació no són de grans longituds, al contrari, són petits moviments molt ràpids, però puntualment calen moviments de longituds més grans, pel que la velocitat de l'actuador ha de ser alta.

Basant-nos en els actuadors que podem trobar al mercat pel SimRacing i les especificacions que volem, busquem uns actuadors lineals amb un recorregut de 300 mm i capaçs d'assolir una velocitat de 300 mm/s, ja que és important que el moviment sigui ràpid.

En quant a la part de control, es requereix un controlador capaç de comunicar-se amb els servoaccionaments de forma eficaç i quasi instantània, a més de suportar el llenguatge escollit per desenvolupar el software: CODESYS. També és important que es pugui fer servir WebVisu, ja que l'objectiu és fer una interfície per poder controlar el simulador des de fora del mateix. Per suposat, ha de ser capaç de gestionar 5 eixos a la vegada sense problemes.

Pels servomotors que farem servir, caldran uns que siguin capaçs de suportar el pes del cockpit, a més de la pantalla, el volant i, per suposat, la persona que estigui muntada, de fins a 100 kg.

ANTECEDENTS

Cal tenir en compte que al tractar-se d'una màquina que es mourà entre fires, l'alimentació de tota la màquina ha de ser de una fase a 230 VAC per tal de poder alimentar-la a qualsevol lloc.

Els servo accionaments s'escolliran d'acord als servomotors seleccionats.

Pel que fa a la interfície d'usuari, s'haurà d'escollir a quin dispositiu es veurà i on anirà aquesta. L'objectiu es tenir un control integrat al *cockpit* i un altre, que actuarà com a màster, fora del simulador, per poder tenir una persona supervisant per si el que es puja al simulador no sap com funciona.

Per últim, caldrà un mòdul controlador de seguretat per tenir controlades les parades d'emergència com altres mesures de seguretat que trobem adients més endavant al projecte.

3.2.Reptes mecànics

Una de les fases que més temps consumirà en el procés de disseny del simulador és el disseny de les peces per la mecànica, i és important que sigui així per tal d'evitar futurs problemes. És per això que caldrà passar per moltes versions del disseny de la mecànica per obtenir un resultat satisfactori.

Ja que l'objectiu del simulador és fer-lo servir com a demostració de la versatilitat del producte Inovance, és important que la mecànica sigui duradora i resistent. Donat que es tindrà que transportar, caldrà un xassís fàcil de muntar i desmuntar i que sigui lleuger, però sense sacrificar la integritat estructural.

Busquem un xassís robust però a la vegada senzill, per tant la millor idea es fer una mecànica modular, el qual ens permetrà fer un disseny de tot el xassís en diferents parts. Al tenir aquesta filosofia, es pot començar per un simulador més senzill i fer-ho evolucionar al simulador final que volem aconseguir. També permet veure quines parts funcionen millor que altres, sense haver de rebutjar tot el conjunt, ja que les parts funcionals es poden mantenir sense les que no ho són.

Caldrà dissenyar una forma de fixar els actuadors al cockpit, ja que la idea és fer servir un cockpit comercial com a base i a partir d'aquí, conformar una mecànica al voltant d'aquest.

Com es faran servir actuadors lineals pel moviment, s'haurà d'idear una forma de fixar-los al xassís. A més, seguint la filosofia d'una mecànica modular, s'haurà d'idear una forma d'aconseguir una estructura per poder simular la pèrdua de tracció (*Traction Loss*), la qual anirà separada de la resta d'eixos.

Ja que aquesta part implica parts mòbils, serà la més complicada de dissenyar, sense tenir en compte que l'objectiu és que puguin treballar conjuntament, però també de forma separada.

3.3.Selecció dels equips

Com s'ha esmentat anteriorment, la idea d'aquest projecte és dissenyar i construir un simulador que servirà com a demostració del potencial del producte Inovance. És per això que tant el control del moviment, com el moviment per se i la interfície de control estaran implementats amb producte Inovance.

El catàleg de d'Inovance és molt ampli, ja que tracta de tenir diferents games dels seus productes per tal d'intentar satisfer les necessitats de l'aplicació sense encarir els preus amb funcionalitats que no farien falta segons pel que es necessiti l'equip.

ANTECEDENTS

Pel control, farem servir un dels IPCs de la seva gama de controladors. A continuació podem observar una gràfica on es comparen els diferents controladors en funció del seu rendiment respecte el número d'eixos que són capaços de controlar:

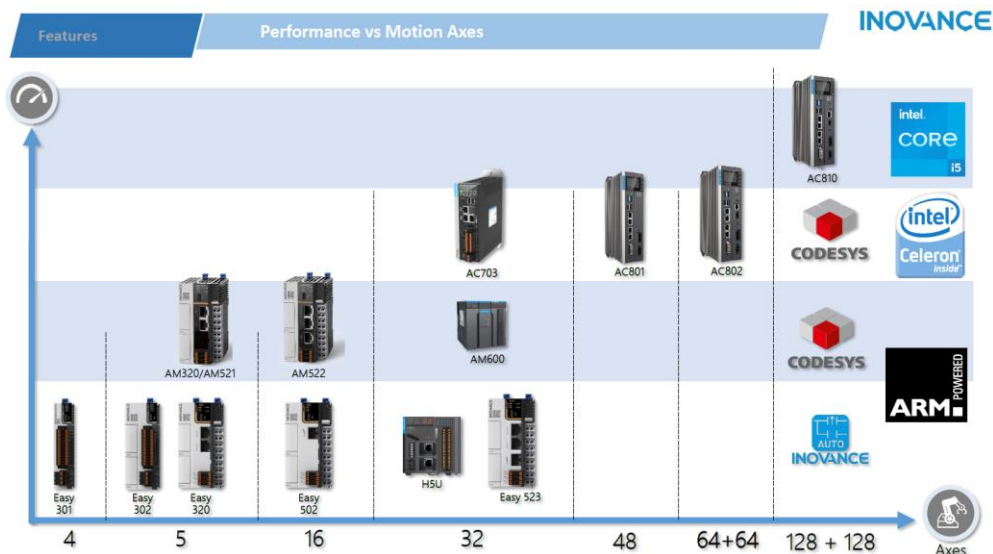


Figura 3. Taula comparativa dels controladors

Com farem servir 5 eixos, el Easy 301 queda descartat. Com que el llenguatge de programació que es vol fer servir per aquest projecte és CODESYS, ja que es un llenguatge molt versàtil, que permet programar en llenguatge estructurat, *Ladder*, *Grafcet* i per blocs de funcions. Tenint això en compte, la gama *Easy* quedaria descartada.

Un factor més a tenir en compte és el fet de necessitar una comunicació molt ràpida, ja que les posicions dels servomotors s'estaran actualitzant constantment, pel que el temps de resposta ha de ser molt petit. És per això que el protocol de comunicació que hem escollit per comunicar el IPC amb els servoaccionaments i la resta de dispositius és EtherCAT.

A la *Figura 3* es pot observar una taula on es poden veure els protocols de comunicació suportats pels controladors Inovance.

Features		Communications capabilities								INOVANCE				
PLATFORM	PLC	INTERFACES				PROTOCOLS								
		RS485	RS232	CAN	LAN	EtherCAT	CANopen	CANlink	Modbus TCP	Modbus RTU	EtherNet/IP	OPC UA	IPC	
	AM600/AM400	●		●	●	●	●	●	●	2 CH (AM600 AM400)	●	●	●	
	AM320	●	○	○	●		○	○	●	●	●	●	●	
	AM521/AM522	●	○	○	●	●	○	○	●	●	●	●	●	
	AC800	●	●	○	●	●	○	○	2 CH	2 CH	●	●	●	
	AC703	●			●	●			2 CH	●	●	●	●	
	HSU	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Easy301	●	●							●				
	Easy302	●	●	○			○			●				
	Easy320	●	○	○	●		○	●	●	●	●	●	●	●
	Easy502	●	○	○		●				●				●
	Easy523	●	○		●	●			●	●	●	●	●	●

● Available ○ Optional ● Under development

Figura 4. Taula comparativa amb els protocols de comunicació

Com es pot veure a la Figura 4, el AM521 podria ser un candidat per ser el controlador del simulador, però no suporta visualització amb Webvisu, i volem fer servir una visualització per tenir la interfície de control del simulador a una pantalla tàctil, pel que, tant el AM521, com la resta de controladors excepte el AC703 o el AC810, queden descartats. Per tant, els dos controladors que satisfan totes les especificacions que tenim pel IPC són el AC703 i el AC810.

Finalment, s’ha acabat escollint el AC703, ja que és un controlador capaç de treballar amb 32 eixos simultanis, bastants més que els que farem servir realment, pel que ja funcionarà amb suficient marge respecte la càrrega de treball que donaran els 5 eixos. A més està a segona posició en quant a rendiment, juntament amb el AC801/AC802 i una posició per avall del AC810. És compatible amb el protocol de comunicacions EtherCAT i és programable amb CODESYS, pel que satisfà tots els requeriments. També compta amb el protocol de comunicacions OPC UA, el qual en cas de fer servir una pantalla HMI ens servirà per poder controlar les variables del nostre programa al controlador de forma externa.

Per la part que toca al moviment, s’han d’escollir tant els servomotors com els servo accionaments que els controlaran. Pel que fa a servomotors, Inovance compta amb models per moments de baixa o mitja inèrcia i per baixa o mitja capacitat.

Es busquen servomotors que tinguin una mida reduïda, però que siguin capaços de donar un bon parell per suportar tot el pes i, que a la vegada, siguin ràpids.

La sèrie MS1-R són servomotors amb un rang de potència d’entre 0,2 i 7,5 kW i amb brida d’entre 60 i 130 mm. Són ideals per aconseguir un posicionament ràpid i precís, en el control de velocitat, de parell i de trajectòria.

En el cas d’aquest projecte, el moment d’inèrcia serà superior a la càrrega que ha de suportar, per tant optarem pels models classificats com MS1H4, els quals estan pensats per moments d’inèrcia mitjos i una capacitat baixa. La velocitat angular de referència és de 3000 rpm, amb 7000 rpm com a màxima.

ANTECEDENTS

Mirant els manuals de selecció, es podrà escollir la talla de servomotor necessària per poder aixecar el pes del simulador més la càrrega de la persona.

Aquests servomotors compten amb un encoder de 23-bits absolut multi volta, pel que no caldran sensors de final de carrera per poder definir la posició del eix. A més, les seves mides de 80x80 mm el fan perfecte per encaixar-lo a un actuator no massa gran, pel que no ocuparà gaire espai.

En quant als servo accionaments, tots els models d'Inovance són compatibles amb tots els servomotors, però hi ha els següents models disponibles amb els que podem controlar els motors seleccionats:



Figura 5. Servo accionaments IS810, SV660, SV670 i SV680

El servo accionament escollit és el SV660, ja que és el que està pensat per controlar servomotors amb un *encoder* absolut de 23-bits, que són els que munten els servomotors de la gama MS1H4. El SV670 i EL SV680 estan orientats a servomotors amb *encoders* superiors, tot i que es podrien fer servir. També descartem el IS810 ja que és un servo accionament multi-eix i no surt a compte, ja que solament farem servir 5 eixos, a més solament està disponible per 3 fases a 400 V, el que no és compatible amb les especificacions definides a anteriorment.

Tot i que inicialment, la idea era fer servir 5 actuadors lineals pels 5 eixos, al final va sorgir una possibilitat que podia ser interessant per poder simular el cinquè eix, el *Traction Loss*. La idea sota la que es va començar a treballar era la de fixar un actuator lineal horitzontalment a la base i el final d'aquest a la part mòbil. Però després vam pensar en fer servir un motor lineal, els LMC.



Figura 6. Motor lineal LMC d'Inovance

Aquests servomotors, en comptes de moure's rotativament, es mouen longitudinalment, el qual és perfecte pel tipus de moviment que necessitem. Com que l'objectiu és tenir recorreguts de 300 mm, caldrà fer servir sensors de final de carrera i de posició per definir el recorregut que haurà de realitzar.

Pel control d'aquest motor, si que farem ús del servo accionament SV680LN, ja que és l'únic que pot controlar-ho.

OBJECTIUS

4. OBJECTIUS

La quantitat de parts importants de las que depèn aquest projecte per arribar a ser real és molt gran, per això és important marcar una sèrie d'objectius a complir, intentant separar el projecte en diferents punts.

Aquests objectius han d'intentar ser SMART: Simples, Mesurables, Assolibles, Realistes i amb un límit de Temps. Els punts a continuació defineixen aquests objectius, els quals són dependents els uns dels altres, ja que inevitablement al prendre una decisió o fer un canvi en algun apartat, pot acabar generant modificacions en els altres, ja que al final el projecte és un conjunt de totes les parts funcionant a l'hora.

Els objectius a assolir seran els següents:

- Selecció dels productes del mercat pel simulador
- Disseny, fabricació i muntatge de la mecànica
- Desenvolupament del codi per a la simulació
- Implementar una interfície visual pel control
- Implementar mòduls de seguretat
- Aconseguir un simulador funcional

Una vegada s'hagin assolit els 5 primers objectius, començarà la fase d'integració, on caldrà fer funcionar conjuntament totes aquestes parts en una sola, en un simulador de moviment.

4.1. Selecció dels productes del mercat pel simulador

El primer objectiu a completar és el de seleccionar tots els ítems que es faran servir pel simulador. Això té un impacte directe sobre la resta del projecte, ja que la selecció del *cockpit* definirà totalment la forma i comportament de la mecànica.

És una part crucial del projecte ja que l'objectiu final és aconseguir un simulador el més pròxim a la realitat possible. Per això és important escollir bé tota la perifèria.

Per donar com aconseguit aquest punt, caldrà escollir el *cockpit* que es farà servir, el volant i pedals que aniran muntats al simulador. D'altra banda, també haurem de definir com rebrem el *output* visual del videojoc que estarem simulant i com ha de ser l'ordinador que l'estarà executant.

Dins de la selecció, també s'haurà d'escollir totes les peces necessàries pel muntatge de la mecànica, tant cargols per les fixacions, com la resta dels ítems necessaris per a que el xassís sigui funcional.

4.2. Disseny, fabricació i muntatge de la mecànica

Per la manca d'experiència en el món del disseny de mecànica tant per solucions industrials, com per simuladors de *SimRacing*, serà molt important fer un estudi del tipus de solucions que es poden trobar al mercat. Caldrà veure quines idees es poden adaptar al nostre projecte, i quines no.

Però també serà necessari tenir la capacitat de trobar solucions pròpies als reptes que van sorgint durant el procés de disseny, el qual posarà a prova la meua capacitat com a enginyer i dissenyador de solucions.

OBJECTIUS

S'haurà de conformar una estructura lleugera, fàcil de muntar i de desmuntar, transportable i robusta pel *cockpit* escollit i la seva possible futura utilitat. A més, s'haurà d'idear un xassís mòbil que serveixi per poder simular el moviment de la pèrdua de tracció, intentat que sigui el més senzill possible, però a la vegada resistent i compacte. Al dissenyar una mecànica que comporta parts mòbils, probablement el primer resultat no serà una solució vàlida en la seva totalitat, però a base de trobar els problemes de les versions que no funcionin s'acabarà aconseguint una solució que assoleixi els objectius per la qual va ser concebuda.

Aquesta darrera versió, al llarg del temps, es podrà anar perfeccionant per fer-la més òptima, no obstant, la seva base funcional estarà aconseguida.

4.3. Desenvolupament del codi per a la simulació

Aquest és el objectiu a assolir més important del projecte, ja que sense el software de control no hi ha un simulador de moviment.

Caldrà aprendre sobre els protocols de comunicacions que es faran servir al projecte per tal de poder comunicar els dispositius entre si i, a més, poder rebre la informació del videojoc, la qual s'haurà de traduir a una posició d'un eix real.

S'haurà de tenir en compte que serà un software orientat a una aplicació en temps real, ja que les posicions dels eixos s'estaran actualitzant constantment, pel que és molt important que el codi no es quedi aturat causant retards en la simulació o fins i tot que s'aturi a meitat.

A més, es definirà una maniobra d'operació segura per la persona que estigui muntada, tenint en compte les situacions en les que pot haver-hi una emergència.

Per últim i més important, s'haurà de definir un codi per poder moure els servomotors per tal de poder simular el moviment al simulador.

4.4. Implementar una interfície visual pel control

Com el propòsit del simulador és servir d'aparador per mostrar de que és capaç el producte Inovance, al final aquest acabarà sent una atracció pel públic en fires i exposicions. És per això que no es pot donar el control total sobre el simulador a la gent que es pugui, ja que al final estem parlant d'una màquina que pot ser perillosa.

L'objectiu és fer servir dues interfícies visuals de control, les quals funcionen conjuntament, però sent una d'elles la principal i que mana sobre l'altra i el simulador en general.

Caldrà dissenyar l'apartat visual per tractar de fer-ho entenedor pel operari, a més de programar totes les interaccions amb el simulador. S'haurà de tenir dos modes, un mode en el qual solament té el control l'operari i, un altre, en el que l'operari o una persona que coneix el funcionament de la màquina pugui controlar-la des de la posició de conducció.

4.5. Implementar mòduls de seguretat

Ja que Inovance no compta amb mòduls dedicats per seguretat, s'haurà d'integrar equips fora del ecosistema Inovance al projecte.

Aquest controlador de seguretat serà l'encarregat de iniciar la maniobra de parada d'emergència en cas de ser necessari, o bé restringir el rearmat de la màquina si no es compleixen totes les condicions de seguretat requerides per poder fer-ho sense causar cap mena de risc.

OBJECTIUS

Per això, es comptarà amb l'ajuda d'un assessor que ajudarà a definir quines mesures de seguretat calen i com podem evitar possibles accidents al fer ús del simulador, prioritzant l'integritat tant de la persona que esta muntada, com de la resta de gent que es troba al voltant de la màquina.

4.6. Aconseguir un simulador funcional

En última instància, l'objectiu final és aconseguir fer funcionar tots els apartats anteriors de forma conjunta i eficaç.

Aquesta part pot ser acabi sent la més complicada, ja que implica molts elements diferents que interactuen els uns amb els altres, pel que el major repte serà solucionar els esdeveniments que sorgiran durant la fase d'integració.

Per tant, l'objectiu serà acabar assolint un simulador funcional, segons les especificacions definides, integrant totes les parts en les que s'haurà estat treballant per separat. Per aconseguir-ho, s'haurà d'intentar tenir en ment com poden interactuar les parts en les que s'estiguin treballant amb les altres, per tal de prevenir incompatibilitats. Això no és fàcil d'aconseguir, però a base de mantenir una previsió sobre com funcionarà tot el conjunt, es pot acabar facilitant la fase d'integració.

5. DISSENY DE LA SOLUCIÓ

5.1. Selecció del Hardware

5.1.1. PC

El PC serà la part encarregada de executar el videojoc el del qual s'extraurà la informació de les posicions i de transmetre-la al IPC per a que aquest controli els servomotors, per tant, és important que sigui un ordinador potent i capaç de treballar durant jornades llargues sense problemes.

Per tal que el PC pugi complir amb el que se li exigeix, la millor opció és muntar un ordinador personalitzat per aquesta aplicació. Per fer-ho, s'haurà de fer una selecció dels diferents components que comporten un PC d'aquestes característiques.

La selecció dels components es centrarà en tenir una bona capacitat computacional i gràfica, a més de tenir una bona refrigeració.



Figura 7. PC muntat i funcionant

5.1.1.1. Processador (CPU)

És el cervell de l'ordinador i l'encarregat de processar totes les instruccions que el sistema operatiu i els programes li envien. Un processador potent permet una gestió fluida de múltiples tasques i una execució ràpida dels jocs, garantint un rendiment òptim durant les sessions de simulació.

El processador AMD Ryzen 7 5800X és ideal per a simuladors de carreres gràcies al seu alt rendiment tant en nucli únic com en multicore. Amb una freqüència turbo de fins a 4.7 GHz, assegura una execució fluida i sense interrupcions dels motors físics i gràfics del joc. A més, els seus 8 nuclis i 16 fils permeten gestionar de manera eficient múltiples tasques simultànies, com la IA dels oponents i la física de la conducció, oferint una experiència de joc rica i detallada. La compatibilitat amb PCIe 4.0 proporciona una major amplada de banda per a targetes gràfiques d'alta gamma, millorant així la qualitat dels gràfics i la velocitat de renderització.



Figura 8. AMD Ryzen 7 5800X 3.8 GHz

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A més, la compatibilitat del Ryzen 7 5800X amb tecnologies d'emmagatzematge ràpid, com els SSDs NVMe i AMD StoreMI, redueix significativament els temps de càrrega del joc i dels circuits, permetent que els jugadors entrin ràpidament en acció. El seu TDP de 105W i les tecnologies de gestió d'energia eficients asseguren un rendiment consistent i estable, crucial per a llargues sessions de simulació on l'estabilitat del sistema és fonamental. Aquestes característiques fan del Ryzen 7 5800X una elecció excel·lent la qual permet una experiència de joc immersiva i fluida.

5.1.1.2. Targeta gràfica (GPU)

És l'encarregada de renderitzar els gràfics i les imatges que es mostren per pantalla. Per un simulador de carreres, una GPU de gamma alta és essencial tant per a obtenir gràfics detallats i realistes, com per mantenir una alta taxa de fotogrames per segon (FPS), el qual és molt important per mantenir una experiència de conducció estable, realista i responsiva.

La targeta escollida finalment ha estat la GeForce RTX 4060 de 8 GB GDDR6. Concretament, hem fet servir la versió de MSI, ja que al ser compacta permet tenir més espai de refrigeració a la caixa.



Figura 9. Model de MSI de la targeta GeForce RTX 4060

Aquesta targeta gràfica pertany a la última generació de targetes gràfiques de NVIDIA, la sèrie 4000. Tot i que és la més inferior de tota la gama, és una targeta gràfica molt potent, capaç de renderitzar imatges a resolucions de fins 8K. A més, totes les gràfiques de la sèrie compten amb el DLSS3 (Deep Learning Super Sampling 3), una tecnologia avançada d'escanejat que utilitza la intel·ligència artificial i l'aprenentatge profund per a millorar significativament el rendiment i la qualitat d'imatge en jocs i aplicacions gràfiques.

Gràcies a això, la targeta és capaç de crear fotogrames d'alta resolució a partir d'una més baixa, pel que sembla que el joc s'està executant a una resolució molt més alta de la que realment està renderitzant.

Tot s'efectua en temps real mentre el joc s'està executant, el que millora el rendiment significativament sense sacrificar la qualitat visual i reduint la càrrega de treball sobre el maquinari.

5.1.1.3. Memòria RAM

Emmagatzema temporalment les dades a les que la CPU necessita accedir ràpidament. Una quantitat suficient de RAM (almenys 16 GB per un ordinador d'aquestes característiques) permet carregar i executar els jocs de manera més ràpida i eficient, evitant alentiments i millorar el rendiment general del sistema.

La memòria escollida ha estat la PC FURY Beast DDR4 de Kingston ja que compta amb una velocitat de 3200 MHz augmentable fins als 3733 MHz, capacitats de 4 GB a 32 GB

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

en mòduls individuals i de 8 GB a 128 GB en kits. El kit de 2x8 GB té un preu econòmic per les prestacions que dona, per tant és més que suficient per les necessitats del sistema.



Figura 10. Kingston FURY Beast DDR4

5.1.1.4. Unitat d'emmagatzematge (SSD)

Emmagatzema permanentment el sistema operatiu, els jocs i altres fitxers. Els discos SSD són molt més ràpids que els HDD tradicionals, la qual cosa resulta en temps de càrrega més ràpids per als jocs i una millora general en la velocitat del sistema. Això és especialment útil en simuladors de carreres que sovint requereixen carregar grans quantitats de dades de manera ràpida.

La unitat SSD escollida ha estat la Kingston NV2 SSD de 1 TB, espai suficient per tenir instal·lats els programes necessaris pel funcionament del simulador i dels videojocs que es simularan. A més, compta amb PCIe 4.0, el que permet velocitats de lectura/escriptura molt altes, el qual agilitza tot el sistema.



Figura 11. Kingston NV2 1TB SSD

5.1.1.5. Placa base

Connecta tots els components de l'ordinador i permet la comunicació entre elles. Una bona placa base ofereix compatibilitat amb els components de gamma alta, una millor gestió de l'energia i possibilitats d'actualització futura, assegurant la longevitat i el rendiment del sistema.

La placa escollida ha estat la MSI MPG B550 GAMING PLUS, una placa de format ATX compatible amb AMD Ryzen, memòries DDR4 de fins a 4400 MHz i PCIe 4.0. Compta amb dissipadors tèrmics dissenyats per tenir un alt rendiment i un blindatge per les entrades i sortides.



Figura 12. MSI MPG B550 GAMING PLUS

5.1.1.6. Font d'alimentació (PSU)

Subministra energia a tots els components de l'ordinador. Una font d'alimentació de qualitat és crucial per a garantir l'estabilitat i la seguretat del sistema, especialment quan s'utilitzen components de gamma alta que requereixen molta energia.

Tenint en compte que solament la CPU i la GPU sumen un consum de 220 W, farem servir una MSI MAG A650BN de 650 W per tenir bastant marge de seguretat, el que fa que els components no vagin justos i rebin la tensió que necessiten sempre. Tenir aquest marge també ens dona l'opció de fer overclocking o fins i tot, actualitzar els components en un futur per uns de més potents. També compta amb la certificació Plus Bronze, el qual garanteix un menor consum d'energia amb una major eficiència.



Figura 13. MSI MAG A650BN 650W 80 Plus Bronze

5.1.1.7. Refrigeració i Caixa

La refrigeració manté els components a una temperatura segura, evitant el sobreescalfament. La refrigeració adequada (ja sigui per aire o líquida) és essencial per mantenir el rendiment òptim dels components durant llargues sessions d'ús i prevenir danys per calor excessiu.

Per mantenir el processador refrigerat, farem servir una refrigeració líquida, en concret una Tempest Liquid Cooler 360, ja que és un kit de refrigeració líquida compacta, amb fàcil instal·lació i mides reduïdes. Aquests kits són molt útils ja que s'aprofiten els avantatges de la refrigeració líquida sense els problemes que poden comportar els sistemes més sofisticats amb bombes i tancs més sofisticats.



Figura 14. Tempest Liquid Cooler 360

Tot i que no pot semblar molt importat a l'hora de seleccionar els components d'un ordinador més que per ser la part més visible d'aquest, la selecció de la caixa no s'ha de fer a la lleugera ja que aquesta té un impacte directe en el flux de l'aire i la refrigeració dels components.

Per tant és important triar una caixa amb suficient espai per poder instal·lar tots els components sense problemes i deixant bastant espai per poder tenir un flux d'aire dins de la cambra, mantenint la salut dels components.

La caixa escollida és una Forgeon Mithril ARGB, amb un format ATX corresponent a la placa base escollida. Aquesta caixa té suficient espai per tots els components, a més de proporcionar un bon flux d'aire gràcies al espai de sobra que té i els ventiladors que venen inclosos.



Figura 15. Forgeon Mithril ARGB Mesh Torre ATX Negra

5.1.1.8. Pantalla del Cockpit

Per poder visualitzar el videojoc durant la simulació hi havien dues opcions: una pantalla o ulleres de realitat virtual (VR).

Les dues opcions tenen els seus pros i contres. En el cas de les VR, la immersió al videojoc és pràcticament absoluta ja que pots veure com t'apropes als obstacles i com recorres la pista com si estiguessis muntat al cotxe, a més de tenir la sensació de velocitat.

Però dona problemes amb persones que no estan acostumades a la les ulleres VR, ja que costa fer-se a elles. Maregen molt i no es poden tenir sessions molt llargues ja que cansen molt més la vista que una pantalla, el que no ho fa viable per una fira on la gent no estarà molta estona muntada. És per això que han quedat descartades per ara, tot i que sempre es poden afegir a posteriori.

Per tant, la visualització del videojoc es farà a una pantalla que estarà muntada al *cockpit*. D'aquesta forma perdem bastant la sensació de velocitat que es pot percebre a la VR, però es guanya en comoditat, ja que no força a la gent a passar per un període d'adaptació. Tot i això, no s'ha triat una pantalla qualsevol. A més, al estar muntada al *cockpit*, dona la sensació (amb la posició de càmera al joc correcta) que s'està dins d'un cotxe real, sobretot durant la simulació.

La pantalla triada ha estat la MSI Optix MAG342CQR de 34". Aquesta pantalla compta amb una taxa de refresc de 144 Hz y un panel amb 1 ms de temps de resposta, el qual permet una experiència molt més fluida. A més, la pantalla es corba, pel que la imatge es torna més immersiva que a una pantalla plana convencional i al afegir un disseny sense marcs, permet posar varies pantalles juntes sense preocupar-se per els marcs entremig.



Figura 16. MSI Optix MAG342CQR 34"

A més, és compatible amb l'estàndard per suports VESA, pel que serà fàcil de muntar-la al *cockpit* o a un suport.

5.1.2. Volant Fanatec CLS DD

Pel que fa al volant, l'objectiu és trobar un *Direct Drive* de qualitat però assequible. Com s'ha fet amb altres perifèrics, la idea és buscar el màxim realisme però intentant fer-ho el més accessible possible.

És per això que s'ha optat per escollir un volant d'entre 8 N·m i 10 N·m, ja que tenen el suficient parell per no semblar joguines, però no cal un període d'adaptació a aquests per poder donar un parell de voltes al simulador.

A partir d'aquests requeriments, les opcions que tenim al mercat (*veure Taula 1*) fan decantar-se per les propostes de Fanatec o Moza. Més en concret per el CSL DD de 8 N·m de Fanatec o el R9 de 9 N·m de Moza. Aquestes marques proporcionen uns kits o *bundles* els quals inclouen tant el *Direct Drive*, el volant o *ring* i els pedals. Aquests pac tenen un preu més ajustat, ja que estan pensats per ser més accessibles per qualsevol que vulgui evolucionar el seu simulador. Això és perfecte pel projecte, ja que aconseguim un volant de qualitat per un preu ajustat, amb tot el que es necessita per poder simular videojocs.

A partir de comparar els dos models, s'ha acabat escollint el CSL DD de Fanatec per sobre del R9 de Moza pel preu del *bundle*. La proposta de Fanatec proporciona un *Direct Drive* de 8 N·m, un volant o *ring* i uns pedals amb accelerador i fre per un cost significativament inferior que la proposta de Moza, la qual no inclou pedals. La opció de Moza comparable al CSL DD (ja que tenen el mateix preu) seria el R5, el qual inclou pedals, però solament proporciona 5,5 Nm de parell.



Figura 17. CSL DD bundle (8 Nm)

El CSL DD de Fanatec és un volant que va arribar al mercat per marcar un estàndard pel món del *Sim Racing*. Va ser la primera marca que va oferir aquests pac a preus assequibles amb un producte de qualitat. Al no tenir cap sistema de corretja per transmetre el parell, la força va directament al volant.

Aquest *Direct Drive* compta amb una alta compatibilitat amb la majoria de títols populars de simulació i, gràcies al software de configuració simplificat, permet que el dispositiu no necessiti un coneixement avançat per poder fer-lo servir. També compta amb opcions de configuració avançada per els més entusiastes.

Inicialment, el motor solament proporciona 5 N·m de parell, però amb el *Boost kit 180* (el qual consisteix en una font de 180 W més potent que la de sèrie) el motor pot arribar a exercir 8 N·m de parell al eix.

Es tracta d'un *Direct Drive* robust gràcies al eix motor de fibra de carboni i el xassís totalment d'alumini mecanitzat per CNC, el qual també fa de dissipador del calor.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Compta amb un port per l'alimentació, un port USB-C per la connexió a PC o consola i 4 ports *Ethernet*: 2 per poder connectar els canvis de marxa (el segon solament per canvis seqüencials), un altre per els pedals i l'últim per un fre de ma.

El volant o *ring* que inclou és el CSL P1 V2, amb un diàmetre de 300 mm el qual el fa adequat per molts tipus de vehicles i totes les funcions bàsiques d'un volant de carreres, el fan ideal per un simulador així. Inclou canvi seqüencial per llevant i un display de tres dígits per poder visualitzar la telemetria del cotxe. També compta amb una tira LED per poder veure quan cal pujar de marxa a partir de les revolucions i 12 pulsadors per poder seleccionar diferents configuracions del *Force Feedback* o canviar paràmetres del cotxe durant la simulació.



Figura 18. CSL P1 V2

Per últim, els pedals CSL construïts en acer i amb sensors magnètics d'efecte Hall, els fan robusts i duradors, ja que al no haver-hi cap mena de contacte per detectar la posició del pedal, no hi ha desgast. El fre no compta amb cèl·lula de càrrega, però té un esmorteïdor de PU que proporciona una sensació realista i progressiva. La posició dels pedals es ajustable per i es poden actualitzar afegint un altre pedal per el canvi de marxés.



Figura 19. Pedals CSL

5.1.3. IPC (AC703)

El AC703 ha estat el IPC escollit d'entre la gamma de controladors de Inovance ja és un controlador de moviment industrial dissenyat per oferir un control precís en aplicacions exigents. Aquest dispositiu incorpora una arquitectura IPC d'alt rendiment i múltiples funcionalitats avançades per garantir una supervisió i control.

Aquest serà el cervell del simulador, l'equip que controlarà tant la visualització per tenir un control manual sobre el simulador, a més d'estar executant la maniobra i controlant el posicionat i velocitat dels servomotors a partir de les dades rebudes des del PC on s'estarà simulant el videojoc.



Figura 20. IPC AC703

El AC703 té suport EoE (Ethernet over EtherCAT), pel que permetrà que es comporti com esclau Ethernet del PC on s'enviarà la telemetria del videojoc i, a la vegada, com a mestre EtherCAT de la resta de dispositius connectats a la cadena (servoaccionaments, mòduls d'entrades i sortides, mòduls de seguretat, etc...).

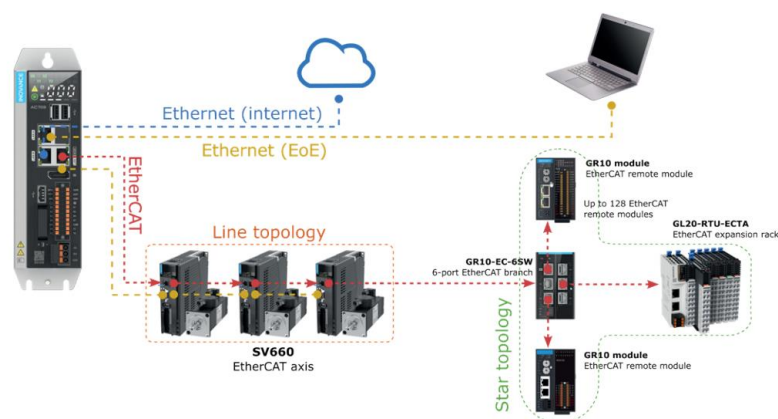


Figura 21. Exemple de l'arquitectura del sistema

Permet el control de fins 32 eixos amb un període de 1ms mitjançant EtherCAT. Suporta fins a 128 estacions esclaves, fent-lo ideal per a aplicacions que requereixen sincronització precisa.

Inclou un servidor Webvisu per la supervisió remota, així com capacitats IoT industrials, permetent una gestió i control eficaços des de qualsevol lloc.

Com s'ha esmentat anteriorment, és compatible amb llenguatges de programació del estàndard internacional IEC 61131-3 (ST, LD, SFC i CFC), e incorpora components de control de moviment com PLCopen, CAM, CNC i ROBOT, oferint una gran flexibilitat en la configuració de sistemes de control complexos.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Disposa de múltiples ports de comunicació, incloent 2 ports *Ethernet*, 2 ports USB 2.0, un port EtherCAT, interfícies RS485 i RS232. També és compatible amb diversos protocols de comunicació com Ethernet/IP, OPC UA i MODBUS TCP.



Figura 22. Protocols Ethernet/IP, OPC UA i MODBUS TCP

Les especificacions del AC703 són les següents:

Apartat	Detall
Processador	Intel J1900, 2.0 GHz
Memòria	4 GB DDR3, 64 GB mSATA SSD, 64 MB SPI Flash
Entrades/Sortides digitals	8 entrades d'alta velocitat (200 kHz), 4 sortides d'alta velocitat (200 kHz)
Ports de comunicació	1x EtherCAT, 2x Ethernet, 1x RS485, 1x RS232
Port de Visualització	Display Port (DP)
Alimentació	Entrada de 24VDC (-15% ~ 20%)
Sistema Operatiu	Linux/RT
Dimensions (H x W x D)	160 x 55 x 147 mm
Pes	1.3 kg
Visualització d'Estat	DI/DO estatus, codi d'error, activitat de la unitat SSD, estat de funcionament, ús de la CPU
Capacitat de Control d'Eixos	32 eixos a 1 ms, màxim 32 eixos, suport per a 128 estacions
Protocol de Comunicació Ethernet	Ethernet/IP (escàner i adaptador), OPC UA (servidor), Modbus TCP (mestre/esclau)
Funcions de Programació	IEC 61131-3 (ST, LD, SFC, CFC), PLCopen, CAM, CNC, ROBOT
Funcionalitats Addicionals	Webvisu, posta en marxa remota, capacitats d'IoT industrial, suport de EoE amb servo accionaments d'Inovance
Temp. de Funcionament	-5°C a 55°C
Temp. d'Emmagatzematge	-25°C a 70°C
Refredament	Refredament natural sense ventilador
Estàndards EMC	EN/IEC 61000-6-2:2019, EN/IEC 61000-6-4:2019, EN 61131-2:2007, EN 55011:2016/A11:2020
Funció de Tancament Segur	Registres emmagatzemats en memòria no volàtil en cas d'apagades inesperades

Taula 5. Especificacions del AC703

5.1.4. HMI (IT7070E)

S'ha decidit fer servir una pantalla HMI per tenir el control del simulador des del seient al *cockpit* ja que estan pensades per funcionar a entorns industrials, són ideals per suportar un ús prolongat.

La sèrie IT7000 és una línia de pantalles tàctils HMI (Human-Machine Interface) dissenyada per aplicacions industrials, oferint una interfície intuïtiva i funcionalitats avançades per a una millor experiència d'interacció home-màquina.

Concretament, es farà servir la IT7070E, la qual té una mida de 7 polzades i una resolució de 800x400 píxels, més que suficient per muntar-la al *cockpit* sense que ocupi molt espai i no molesti. Aquesta anirà connectada per Ethernet al AC703 i, mitjançant el protocol OPC UA, es comunicarà amb el IPC per controlar la maniobra.



Figura 23. HMI IT7070E

Es poden dissenyar interfícies visuals atractives i funcionals sense necessitat de partir de zero, mitjançant el software propi InoTouchPad, el qual facilita el desenvolupament d'aplicacions gràcies a una rica galeria de recursos visuals, estils d'interfície, animacions suaus i moltes funcions d'interacció, com llums indicadors, polsadors, interruptors, gràfiques, alarmes, etc...

També permeten l'accés remot mitjançant VNC (Virtual Network Computing), facilitant així la supervisió i control a distància dels processos industrials. Amb la capacitat d'utilitzar JavaScript, els usuaris poden implementar operacions lògiques i realitzar lectures/escriptures variables de manera programada, afegint una capa addicional de personalització i funcionalitat.

A continuació, podem veure una taula amb les especificacions de la pantalla IT7070E:

Apartat	Detall
CPU	Cortex A8 600 MHz
Flash	128M
DRAM	128M DDR3
Ranura per targeta SD	Sí
Ports Serials	COM1, COM2, COM3
Port Ethernet	Sí
Port USB Mini B (Programació)	Sí
Port USB A (Lectura/Escriptura)	Sí
Voltatge d'Entrada	24VDC ±20%
Nivell de Protecció	Front IP65, darrere IP20
Mida de Pantalla	7 polzades
Resolució	800x480

Taula 6. Especificacions de la HMI IT7070E

5.1.5. Pantalla tàtil (HP821W)

Per tal de tenir un control del simulador fora d'aquest, es farà servir un display amb pantalla tàtil de la sèrie HP800W, concretament la HP821W, de 21,5 polsades.

Aquesta pantalla serà l'encarregada de mostrar la visualització que estarà executant el



Figura 24. Pantalla HP821W

AC703 amb *Webvisu*. Es farà servir el port DisplayPort del AC703 per la sortida d'imatge per la pantalla i anirà muntada al damunt del quadre elèctric.

A la taula següent es poden observar les especificacions de la pantalla :

Apartat	Detall
Tamany	21.5''
Resolució	1920x1080
Consum	16.4 W
Tipus de pantalla tàtil	Resistiva de 5 fils amb funció multi Touch capacitiu.
Ports d'entrada	1 x VGA, 1 x HDMI, 1 x DP i 1 x USB tipus B (pantalla tàtil)
Ports de sortida	2 x USB tipus A
Voltatge d'entrada	12 V
Muntatge	VESA 75 x 75 mm
Protecció IP	IP66

Taula 7. Especificacions de la pantalla tàtil HP821W

5.1.1. Motors

5.1.1.1. Servomotor MS1H4-10C30CB-A331R

Per poder seleccionar la mida del servomotor, cal tenir en compte la massa total de la part mòbil que hauran d'aixecar els servomotors i, com ja s'ha esmentat anteriorment, necessitem un motor amb un moment d'inèrcia alt. És per això que la gama MS1H4 era la escollida.

Com que no sabem exactament el pes que acabarem aixecant, ja que no sabem quant acabarà pesant la mecànica i la resta dels components que aniran al *cockpit*, es farà una estimació a partir dels components coneguts (volant, pantalla, etc...), de la massa mitja dels *cockpits* que hi han al mercat i, per últim, s'establirà un pes llinar de 90 kg pel passatger.

La mitja dels *cockpits* que es poden veure a la taula 3 és d'uns 40 kg, i el pes del volant amb els pedals i el *Direct Drive* és de 17,6 kg. També s'haurà de tenir en compte el pes dels actuadors, els quals pesen aproximadament 10 kg cadascun, pel que fan 40 kg els quatre. Per tant, el pes a tenir en compte (persona inclosa) és d'aproximadament 190 kg.

A més, s'ha de tenir en compte la selecció del servomotor per seleccionar també els actuadors lineals que es faran servir. Es vol assolir una velocitat lineal de 300 mm/s. La gama MS1H4 dona una velocitat nominal de 3000 rpm, per tant s'ha de trobar el pas adient per la velocitat lineal requerida a partir d'aquest valor:

$$\frac{3000 \text{ rpm} \cdot x}{60 \text{ s}} = 300 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \quad (1)$$

$$x = \frac{300 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 60 \text{ s}}{3000 \text{ rpm}} \quad (2)$$

$$x = 6 \text{ mm} \quad (3)$$

Troblem que el pas dels actuadors lineals ha de ser com a mínim de 6 mm. Per tant el pas ha de ser igual o superior al calculat, pel que prendrem com a referència un pas de $x = 10$ mm per tenir un marge d'actuació.

És busca que l'eficiència del actuador lineal sigui d'aproximadament un 90 %. Amb això, ja tenim les variables necessàries per poder escollir la talla del servomotor:

Paràmetre	Valor
Massa a moure	190 kg
Velocitat lineal	300 mm/s
Eficiència	0,9
Pas	10 mm

Taula 8. Taula de valors per la selecció del servomotor

Ara solament falta calcular els paràmetres del servomotor per poder escollir quin és el model més adient.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Càlcul de la potència necessària del servomotor:

$$P = \frac{m \cdot g \cdot v_{lineal}}{\eta} \quad (4)$$

$$P = \frac{190 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 300 \frac{\text{mm}}{\text{s}}}{0,9 \cdot 1000 \text{ mm}} \quad (5)$$

$$P = 621,3 \text{ W} \quad (6)$$

Càlcul de la velocitat necessària del servomotor:

$$\omega_{rpm} = \frac{v_{lineal} \cdot 60 \text{ s}}{pas} \quad (7)$$

$$\omega_{rpm} = \frac{300 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 60 \text{ s}}{10 \text{ mm}} \quad (8)$$

$$\omega_{rpm} = 1800 \text{ rpm} \quad (9)$$

$$\omega_{rad} = \frac{\omega_{rpm} \cdot 2 \cdot \pi}{60 \text{ s}} \quad (10)$$

$$\omega_{rad} = \frac{1800 \text{ rpm} \cdot 2 \cdot \pi}{60 \text{ s}} \quad (11)$$

$$\omega_{rad} = 188,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (12)$$

Càlcul del parell necessari:

$$M = \frac{P}{\omega_{rad}} \quad (13)$$

$$M = \frac{621,3 \text{ W}}{188,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \quad (14)$$

$$M = 3,3 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (15)$$

Per tant els paràmetres pel servomotor són el següents:

Paràmetre	Valor
Potència (W)	621,3 W
Velocitat angular (rpm)	1800 rpm 188,5 rad/s
Parell (N·m)	3,3 N·m

Taula 9. Paràmetres servomotor

A partir d'aquests valors solament falta veure quin model s'adapta a aquests paràmetres.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

La potència de sortida dels servomotors MS1H4 va de 0,1 kW a 1kW. Com que el simulador s'ha de dissenyar pensant en una DEMO per mostrar el producte Inovance i que ha de ser resistent ja que les sessions de simulació seran llargues i exigents, s'ha decidit donar un marge el qual garantis el correcte funcionament i resistència durant tota la sessió, ja que un ús personal no produeix el mateix estès sobre la màquina que un ús com atracció.

A més, al no haver desenvolupat cap simulador anteriorment, hi ha una manca d'informació sobre, per exemple, el parell mig que es pot arribar a necessitar per segons quin moviment o combinació d'aquests.

També s'ha de tenir en compte que pot haver-hi una gran diversitat de cicles depenent del circuit, del cotxe o de l'estil de conducció del pilot, el qual complica caracteritzar un cicle 'tipus'.

És per això que, tot i que tot el treball es reparteix entre els 4 eixos que estaran suportant i movent tota la estructura, s'ha decidit optar pel model MS1H4-10C30CB-A331R, el qual té les següents especificacions:

Especificacions del Motor	Característiques de Parell-Velocitat	
Mida de la brida (mm)	80	
Inèrcia, capacitat	Inèrcia mitjana, baixa capacitat	
Potència nominal (kW)	1.0	
Voltatge (V)	220	
Parell nominal (N·m)	3.18	
Parell màxim (N·m)	11.13	
Corrent nominal (Arms)	6.5 (corba de desclassificació basada en dissipador)	
Corrent màxim (Arms)	24	
Velocitat nominal (rpm)	3000	
Velocitat màxima (rpm)	7000	
Coefficient de parell (N·m/Arms)	0.46	
Moment d'inèrcia del rotor (kg·cm ²)	Motor sense fre	1.87
	Motor amb fre	1.97

Taula 10. Especificacions del MS1H4-10C30CB-A331R

I a continuació es pot veure la gràfica parell-velocitat del servomotor:

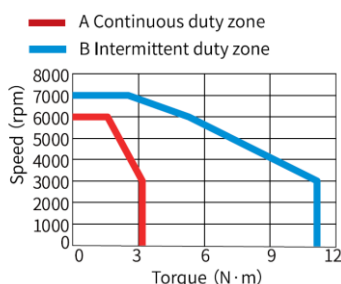


Figura 25. Gràfica Parell-Velocitat

Com es pot observar, durant zones de treball contínues el parell no passa de 3.18 N·m (baixant el parell a altes velocitats), mentre que en zones de treball intermitent pot arribar a parells de 11.13 N·m a baixes velocitats

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Aquest model no compta amb fre, ja que no està pensat fer-lo servir, ja que complica la maniobra i es farà servir el curtcircuit del propi servo accionament. Té un encoder absolut de 23-bit amb funció multivolta. Es podria fer servir la informació multivolta per guardar la posició absoluta dels eixos, però això implica fer servir una bateria que, eventualment, s'ha de canviar. El fet de fer servir aquesta funcionalitat solament estalvia el procés de fer un *homing* aplicar la tensió a la màquina, el qual no és un problema en aquesta aplicació.

Al escollir un servomotor amb tant marge, ens assegurem que no donarà problemes durant llargues sessions i ens servirà per poder optimitzar el simulador per futures versions, ja que podrem observar els paràmetres del motor en temps real durant una simulació i així poder veure els valors màxims als que arriba, per tal d'escollir un servomotor d'una talla més ajustada a les necessitats del simulador.

5.1.1.2. Motor lineal LMC1-F12-0500D242-20053N10-INT

Com ja s'ha comentat anteriorment, es farà servir un motor lineal per produir el moviment del *Traction Loss*. Tota la part inferior del simulador es dissenyarà al voltant d'aquest motor.



Figura 26. Motor LMC1

Ja que es tracta d'un motor que es va enviar per realitzar proves a l'oficina de Vilafranca del Penedès, no s'ha hagut de triar com els servomotors pels actuadors lineals, però si que s'ha comprovat que compleixi amb els paràmetres necessaris per moure tota la part mòbil, tot i que al moure una massa horitzontalment, no ha de fer molt parell ja que no aixecarà la càrrega, però si que hi haurà un moment d'inèrcia molt gran, ja que s'haurà de moure i frenar tot el simulador molt bruscament.

Tot i que el motor no fos capaç d'assolir les acceleracions ideals, si que seria capaç de moure satisfactòriament el simulador, ja que seria com passar d'un cotxe de menys potència a un de major.

Ja que el motor lineal s'encarregarà de moure tot el *cockpit* amb els actuadors i la base del *Traction Loss* mòbil, comptarem que mourà una massa de 210 kg (10 kg més per la mecànica).

Per poder calcular a força que caldrà que faci el motor, es necessari saber la distància des del punt de fixació del motor lineal al eix de gir. Com que la mecànica no està del tot definida, es prendrà una distància de 1,5 m, ja que la intenció és fer una mecànica compacta capaç de ser transportada amb un remolc, amb una base de 2 m x 1,5 m.

Per últim, es definirà una acceleració de 2 m/s^2 i una eficiència del 90 %, com amb els servomotors.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A continuació, el càlcul de la potència necessària pel motor lineal:

$$F = \frac{m \cdot a \cdot L}{\eta} \quad (16)$$

$$F = \frac{210 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,5 \text{ m}}{0,9} \quad (17)$$

$$F = 700 \text{ N} \quad (18)$$

A partir del valor obtingut, es compararà amb els valors del motor lineal per veure si compleix amb la força requerida:

Item	Símbol	Unit	LMC118-130	LMC118-185	LMC118-185	LMC118-240	LMC118-355
Rendiment							
Força constant	Fc	N	170	250	250	345	490
Força màxima	Fp	N	374	550	550	759	1078
Constant del motor @25°C	Km	$\frac{N \cdot m}{\sqrt{W}}$	25.5	30.8	30.8	37.2	42.8
Temperatura màxima de la bobina	Tmax	°C	120	120	120	120	120
MaxCont.PowerDiss	Pc	W	58.5	90.9	90.9	113.1	172.6
Especificacions elèctriques							
Forma del bobinat	-	-	Y1	Y1	Y3	Y2	Y3
Corrent continua	Ic	Arms	3.2	3.2	9.6	6.4	9.6
Corrent de pic	Ip	Arms	9.6	9.6	28.8	19.2	28.8
Resistència P-P @25°C ±10%	RL-L	ohms	2.9	4.4	0.5	1.4	1
Inductància P-P ±20%	LL-L	mH	36.6	53.1	5.9	17.9	12.5
Back EMF @25°C ±10	KeL-L	V/m/s	47.1	70.6	23.6	47.1	47.2
Constant de força @25°C ±10%	Kf	N/Arms	53.1	78.1	26	53.9	51
Temps de cicle elèctric	Te	ms	12.6	12	11.8	12.8	12.5
Voltatge màxim al bus de continua	Vbus	VDC	310				

Taula 11. Taula de talles dels LMC

El model amb el que es disposava és correspon a la talla LMC118-240, marcada en blau en la *Taula 11*. La força calculada anteriorment és de 700 N. Aquesta força correspon a la força màxima que haurà de fer el motor lineal per moure el simulador a l'acceleració requerida. Com es pot observar als valors de la *Taula 11*, els motors lineals de la talla LMC118-240 compten amb una força màxima de 759 N, més que el definit als càlculs.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Tot i que seria ideal comptar amb un motor lineal més potent, serà suficient. En concret es disposa del LMC1-F12-0500D242-20053N10-INT, el qual compta amb 500 mm de recorregut, pel que farà falta fer un *homing* inicial ja que el moviment serà de 300 mm.

5.1.2. Servo Accionaments

5.1.2.1. SV660

Com s'ha indicat anteriorment, el servo accionament seleccionat pel control dels servomotors ha estat el SV660. Més concretament, el SV660N. S'ha escollit aquest sobre els altres models de la família SV660 (P/C/A) perquè té un rendiment superior, compta amb la funció de STO i és compatible amb el bus de comunicació EtherCAT.



Figura 27. SV660NS012I-FS-INT

Per poder seleccionar la talla del servo accionament primerament ens fixarem en els models monofàsics, ja que és un dels requisits pel projecte que tot es pugui alimentar a 220 V. Consultarem la següent taula per poder escollir correctament la talla:

Ítem		Mida A	Mida B	Mida C	Mida D	
Model		S1R6	S2R8	S5R5	S7R6	S012
Potència del controlador (kW)		0.2	0.4	0.75	1	1.5
Capacitat màxima del motor aplicable (kW)		0.2	0.4	0.75	1	1.5
Capacitat de subministrament d'energia (kVA)		1.4	2.8	4.6	6.0	8.0
Corrent de sortida continu (Arms)		1.6	2.8	5.5	7.6	11.6
Corrent de sortida màxim (Arms)		5.8	10.1	16.9	23.0	32.0
Circuit principal	Corrent d'entrada continu (Arms)	2.3	4.0	7.9	9.6	12.8
	Tensió d'entrada	Monofàsic 200 VAC a 240 VAC, -10% a +10%, 50/60 Hz				
	Pèrdua d'energia (W)	10.21	23.8	38.2	47.32	69.84
Circuit de control	Tensió d'entrada	Alimentat a 220V				
	Pèrdua d'energia (W)	16				

Taula 12. Característiques dels SV660N monofàsics 1

A partir de la talla del servomotor escollirem el model concret del SV660N. Pel MS1H4-10C30CB-A331R la talla del servo accionament recomanada es la C, concretament el model S7R6 amb una potència de 1.0 kW i una corrent nominal de sortida de 7.6 A.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Aquest model és segurament suficient per controlar sense problemes el MS1H4, però per seguir amb la filosofia aplicada als servomotors on es busca tenir un marge bastant gran per assegurar un correcte funcionament, la talla escollida ha sigut la S012, amb una potència de 1.5 kW i una corrent nominal de sortida de 11.6 A.

Per tant el model escollit finalment es el SV660NS012I-FS-INT. A continuació es poden veure més característiques del servo accionament:

Item	Mida A	Mida B	Mida C	Mida D		
Model	S1R6	S2R8	S5R5	S7R6	S012	
Resistència de frenat	Resistència (Ω)	-	-	50	25	
	Potència del resistor (W)	-	-	50	80	
	Resistència mínima del resistor extern (Ω)	40	45	40	20	15
	Màxima energia de frenat absorbida pel condensador (J)	9.3	26.29	22.41	26.70	26.70
	Resistor de frenat	Tots els models suporten tant resistències de frenat internes i externes. Els de la mida A són els únics que no porten un incorporat de base.				
Mode de refredament	Convecció natural		Ventilador			
Categoria de sobretensió	OCIII					

Taula 13. Característiques dels SV660N monofàsics 2

El SV660N compta amb diversos modes per tenir un control de posició precís, control de velocitat i control de parell del servomotor.

En total, compta amb quatre modes de control, que són el control de posició, el control de velocitat, el control de parell i els modes de control compostos. Entre els quatre modes de control, el control de posició és el més important, i és el que farem servir pel moviment dels servomotors en aquesta aplicació

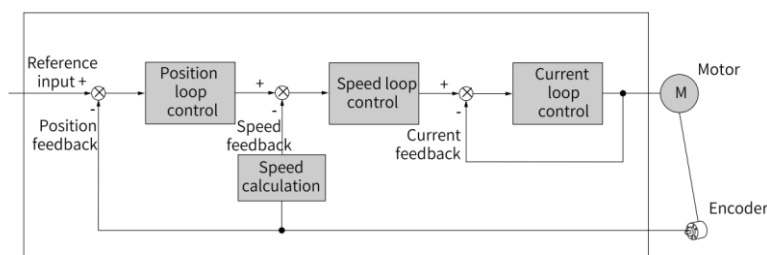


Figura 28. Estructura bàsica d'un servosistema.

Les descripcions dels modes de control són les següents:

- **Control de posició:** En el mode de control de posició, la posició objectiu del motor es determina per la suma de referències de posició, i la velocitat del motor es determina mitjançant els paràmetres que determinen la velocitat amb la que s'executa el posicionat. El servo accionament realitza un control ràpid i precís de

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

la posició i la velocitat mitjançant l'*encoder* de retroalimentació instal·lat en el motor o un *encoder* extern (control de bucle tancat complet, el qual no és possible en el SV660). El mode de control de posició s'aplica principalment a aplicacions que requereixen control de posicionament, com ara manipuladors, màquines SMT, màquines de gravat i fresat, i màquines-eina CNC.

- **Control de velocitat:** En el mode de control de velocitat, el servo accionament realitza un control ràpid i precís de la velocitat amb referències de velocitat establertes a través de la comunicació. El mode de control de velocitat s'aplica principalment a aplicacions (com màquines de gravat i fresat) que requereixen control de velocitat o on un controlador central s'utilitza per al control de posició o les ordres enviades des del controlador central s'utilitzen com a referències de velocitat.
- **Control de parell:** El parell de sortida del motor està determinat per una referència de parell. La referència de parell es pot establir a través del bus de comunicació (EtherCAT). El mode de control de parell s'aplica principalment a eixos que requereixen un control estricte de la tensió del material. Per exemple, en aplicacions de bobinat/desbobinat, s'utilitza el mode de control de parell on la referència es va modificant a mesura que canvia el radi de la bobina per aconseguir una tensió constant en el material.

5.1.2.2. SV680LN

Pel servo accionament del motor lineal es farà servir un SV680LN, el qual és el que ha estat dissenyat específicament pel control de motors lineals.

Juntament amb el motor lineal es va rebre el SV680LNS7R6I, el qual és de la mida correcta per controlar el motor lineal. A continuació les seves característiques:

Ítem		Mida A	Mida C		Mida D
Model		S2R8	S5R5	S7R6	S012
Potència del controlador (kW)		0.4	0.75	1	1.5
Capacitat màxima del motor aplicable (kW)		0.4	0.75	1	1.8
Capacitat de subministrament d'energia (kVA)		2.8	4.6	6.0	8.0
Corrent de sortida continu (Arms)		2.8	5.5	7.6	11.6
Corrent de sortida màxim (Arms)		10.1	16.9	23.0	32.0
Circuit principal	Corrent d'entrada continu (Arms)	4.0	7.9	9.6	12.8
	Tensió d'entrada	Monofàsic 200 VAC a 240 VAC, -10% a +10%, 50/60 Hz			
	Pèrdua d'energia (W)	23.8	38.2	47.32	69.84

Taula 14. Taula de característiques SV680LN monofàsics 1

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Item		Mida A	Mida C		Mida D
Model		S2R8	S5R5	S7R6	S012
Circuit de control	Tensió d'entrada	Alimentat a 220 V			
	Pèrdua d'energia del circuit de control (W)	16			
Resistència de frenat	Resistència (Ω)	-	50	25	
	Potència del resistor (W)	-	50	80	
	Resistència mínima del resistor extern (Ω)	45	40	20	15
	Energia abs. pel condensador (J)	18.59	32.42	32.42	47.68
	Resistor de frenat	Tots els models suporten resistències de frenat. Els de la mida A no porten una incorporada.			
Mode de refredat		Aire	Ventilador		
Categoria de sobretensió		OCIII			

Taula 15. Característiques dels SV680LN monofàsics 2

En quant als modes de funcionament, compta amb els mateixos que el SV660, afegint més modes compostos.

5.1.3. Mòduls d'expansió

Ja que el AC703 té un número d'entrades i sortides digitals limitades, caldrà afegir mòduls d'expansió al simulador, el qual permet una instal·lació més fàcil, al tenir totes les entrades i sortides localitzades gairebé al mateix lloc i, en cas que fes falta, permet ampliar la perifèria fàcilment.

La família GL20 de mòduls d'expansió és la que es farà servir per aquest propòsit. La filosofia d'aquesta gama de productes és molt compacta, amb una instal·lació senzilla, ràpida i sense necessitat de fer servir eines. Compten amb un temps de resposta molt ràpid i suporten es busos de comunicació EtherCat i PROFINET.



Figura 29. Mòduls d'expansió GL20

Dins de la gama de producte GL20 podem trobar els acobladors per bus de comunicació EtherCAT i PROFINET, que permeten comunicar els mòduls d'expansió afegits al acoblador amb el controlador, a través del bus. Els mòduls disponibles són: entrades i sortides digitals, sortides de relés, entrades i sortides analògiques i mòduls de detecció de temperatura.

En un acoblador es poden afegir fins a 16 mòduls d'expansió. Si s'afegeix un mòdul d'extensió de la font d'alimentació, es poden afegir 16 mòduls addicionals, arribant a un total de 32 mòduls.

5.1.3.1. GL20-RTU-ECT

El GL20-RTU-ECT és el acoblador de bus de comunicació EtherCAT. Aquest és l'encarregat de funcionar com esclau del IPC per tal de comunicar els mòduls d'expansió (entrades/sortides digitals en aquest cas) amb el IPC a través del bus de comunicació EtherCAT.



Figura 30. Mòdul GL20-RTU-ECT

Compta amb un temps de cicle mínim de 125 μ s i la capacitat de suportar fins 16 mòduls de entrdes/sortides a la vegada. En el cas de voler fer servir més, caldria afegir un GL20-PS2 (expansió de font d'alimentació). Té un port USB-C per a una fàcil actualització del firmware.

A la taula següent es descriuen les característiques tècniques del mòdul:

Ítem	Especificació
Codi de material	01440286
Model	GL20-RTU-ECT
Grau de protecció	IP20
Certificació	CE & UL
Font d'alimentació	
Tensió nominal d'entrada del terminal de l'alimentació	24 VDC (20.4 VDC a 28.8 VDC)
Corrent nominal d'entrada del terminal de l'alimentació	0.6 A (valor típic: 24 V)
Tensió nominal d'entrada del bus	5 VDC (4.75 VDC a 5.25 VDC)
Corrent nominal d'entrada del bus	2 A (valor típic: 5 V)
Protecció de l'alimentació	Protecció contra sobrecorrent, connexió inversa i sobretensions
Temperatura de funcionament ambiental	-20°C a 55°C
Mida (WxHxD: mm)	24x100x83

Taula 16. Característiques GL20-RTU-ECT

5.1.3.2. GL20-1600END

El GL20-16000END és un mòdul de 16 entrades digitals. Hi han 4 models els quals van des de les 8 entrades digitals fins les 32 (NPN/PNP).

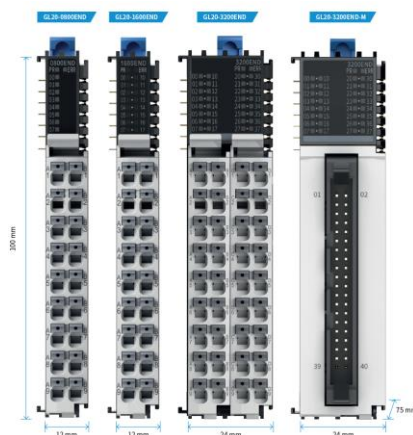


Figura 31. Mòduls GL20-XX00END

Les seves característiques són les següents:

Ítem	Especificació			
Model	GL20-0800END	GL20-1600END	GL20-3200END	GL20-3200END-M
Grau de protecció	IP20			
Certificacions	CE & UL	CE & UL	CE	CE
Temperatura ambient	-20°C a 55°C			
Font d'alimentació				
Tensió nominal d'entrada	5 VDC (4.75 VDC ~ 5.25 VDC)			
Corrent nominal d'entrada	100 mA		60 mA	125 mA
Tensió nominal d'entrada del terminal	N/A			
Corrent nominal d'entrada del terminal	N/A			
Funció de substitució en calent del mòdul	No suportat			
Entrada				
Mode d'entrada	Entrada digital			
Tipus d'entrada	PNP/NPN			
Nombre de canals d'entrada	8	16	32	32
Tensió d'entrada	24 VDC±10% (21.6 VDC a 26.4 VDC)			
Corrent d'entrada	4 mA (valor típic a 24 V)			
Tensió en ON	> 15 VDC			
Tensió en OFF	< 5 VDC			
Temps de resposta del hardware(ON/OFF)	100 us/100 us			
Impedància d'entrada	Valor de referència 5.3 k a 5.6 k			

Taula 17. Característiques GL20-XX00END

5.1.3.3. GL20-1600ETP

El GL20-16000ETP és un mòdul de 16 sortides digitals. Hi han 2 models, de 8 i 16 sortides digitals PNP.

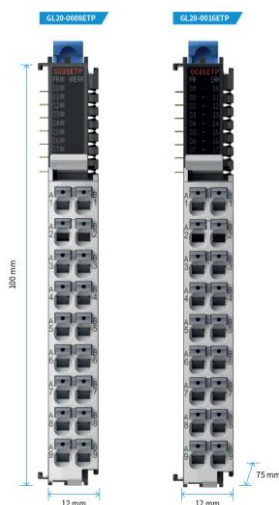


Figura 32. Mòdul GL20-00XXETP

Les seves característiques són les següents:

Ítem	Especificació	
Model	GL20-0080ETP	GL20-0016ETP
Grau de protecció	IP20	
Certificacions	CE & UL	CE & UL
Temperatura ambient	-20°C a 55°C	
Font d'alimentació		
Tensió nominal d'entrada	5 VDC (4.75 VDC ~ 5.25 VDC)	
Corrent nominal d'entrada	85 mA	
Tensió nominal d'entrada del terminal	24 VDC (20.4 VDC to 28.8 VDC)	
Corrent nominal d'entrada del terminal	2 A (typical value at 24 V)	
Funció de substitució en calent del mòdul	No suportat	
Entrada		
Mode de sortida	Sortida digital	
Tipus de sortida	PNP	
Nombre de canals d'entrada	8	16
Tensió d'entrada	24 VDC±10% (21.6 VDC a 26.4 VDC)	
Càrrega de sortida (càrrega resistiva)	0.5 A/per punt, 4 A/per mòdul	
Càrrega de sortida (càrrega inductiva)	7.2 W/per punt, 24 W/ per mòdul	
Temps de resposta del hardware(ON/OFF)	100 us/100 us	

Taula 18. Característiques GL20-00XXETP

5.1.4. Seguretat

Ja que Inovance no compta amb mòduls de seguretat propis, s'ha fet una col·laboració amb REER, una empresa que es dedica a la fabricació i distribució de mòduls de seguretat industrials.

A més de cedir un PLC de seguretat pel simulador i un mòdul d'ampliació de 16 entrades digitals, va proporcionar un assessorament per poder complir amb unes mesures de seguretat mínimes, proporcionant idees per millorar la mecànica. Una d'aquestes idees que s'han incorporat ha estat un tancament de seguretat per una porta, la qual limita la entrada i sortida de les persones al simulador quan la màquina està en marxa.

5.1.4.1. MOSAIC M1S COM

Aquesta unitat de control pot funcionar tant com a unitat principal de control com a una unitat autònoma dins d'una xarxa de control.



Figura 33. MOSAIC M1S COM

- **Com a unitat principal:** per controlar un sistema més complex proporcionant protecció per a maquinària més gran amb múltiples sensors.
- **Com a unitat autònoma:** per controlar maquinària més petita connectant fins a 4 dispositius de seguretat.

La configuració és remota mitjançant interfície Field-bus. Al ser programable permet tenir un control més personalitzat sobre els elements de seguretat afegits al sistema. El programa per configurar-lo és el Mosaic Safety Designer, el qual es basa en una programació per blocs. Està pensat per ser fàcil de programar mitjançant lògica digital i els seus propis mòduls creats pels dispositius de seguretat de REER.

Compta amb 4 sortides de seguretat OSSD, les quals són usades normalment en dispositius de seguretat com cortines de llum, barreres òptiques i sensors de seguretat.

Les sortides OSSD són sortides d'estat sòlid que proporcionen dos estats diferents: estat segur (OFF) o bé estat perillós (ON). En un sistema de seguretat, aquestes sortides es fan servir per controlar l'estat dels actuadors de seguretat, com frens, vàlvules de seguretat o parades d'emergència, assegurant que la màquina s'atura o entra en un estat segur quan es detecti un estat perillós.

En el cas del simulador, es farà servir per controlar totes les mesures de seguretat que integrarem a la màquina, com les parades d'emergència i el tancament de seguretat per la porta. No permetrà la posada en marxa del simulador si alguna d'aquestes mesures de seguretat no tenen un estat segur i, en cas que la màquina estigui en marxa i alguna de les mesures passi a estat perillós, activarà dues sortides de seguretat per fer una parada d'emergència: una sortida instantània per fer una maniobra de parada ràpida del simulador i, una altra retardada, per tal d'activar l'estat STO als servo accionaments.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A continuació la taula de característiques:

Característica	Especificació
Nivell de seguretat	PL e
Entrades de seguretat	8 entrades digitals
Nivell de seguretat (SIL / PL)	SIL 3 - SILCL 3 - PL e - Cat. 4
Temperatura de funcionament	-10 ... 55 °C
Tipus de sortida de seguretat	4 OSSD individuals, o 2 parells (PNP - 400mA a 24 VDC) amb protecció contra curtcircuits, sobrecàrregues i polaritat inversa
Connexions	Blocs de terminals extraïbles, contactes de cargol
Sortides de seguretat	4 OSSD individuals, o 2 parells (400 mA)
Sortides d'estat	4 PNP (100 mA)
Sortides de prova	4
Temperatura d'emmagatzematge	-20 ... +85 °C
Connector MSC proporcionat	No
Connexió amb BUS MSC	Sí
Entrades d'inici / reinici i EDM	4
Carcassa per a MCM	Sí
Entrada USB	Sí
Interfícies de Fieldbus	ETHERCAT, Ethernet IP, ModBus TCP, PROFINET
Dimensions de l'embalatge (Alçada x Longitud x Amplada)	58 x 127 x 113 mm

Taula 19. Característiques MOSAIC M1S COM

5.1.4.2. MI16

Per tal de poder administrar totes les entrades digitals dels dispositius de seguretat, s'inclourà un mòdul d'expansió d'entrades digitals: el MI16.



Figura 34. MI16

A continuació, la taula de característiques del MI16:

Característica	Especificació
Nivell de seguretat	PL e
Entrades de seguretat	16 entrades digitals
Nivell de seguretat (SIL / PL)	SIL 3 - SILCL 3 - PL e - Cat. 4
Temperatura de funcionament	-10 ... 55 °C
Característica	Especificació

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Característica	Especificació
Indicació amb LED	Indicació amb LEDs de l'estat de funcionament i diagnòstic de fallades. Indicació LED de l'estat de les entrades
Connexions	Blocs de terminals removibles, contactes de cargol
Sortides de prova	4
Temperatura d'emmagatzematge	-20 ... +85 °C
Connector MSC proporcionat	Sí
Connexió amb BUS MSC	Sí
Dimensions de l'embalatge (Alçada x Longitud x Amplada)	36 x 127 x 113 mm
Tensió d'entrada ()	24 VDC ± 20%
Grau de protecció	IP20

Taula 20. Característiques MI16

5.1.4.3. SAFELOCK SLK-E-M-2NC-24

Per tal d'evitar que les persones baixin o pugin del/al simulador en marxa, s'incorporarà una tanca elèctrica, la qual mitjançant una senyal digital tanca un relé que bloqueja una sivella metàl·lica acoplada a la porta del simulador, evitant que la porta es pugui obrir quan la màquina no està en un estat segur.



Figura 35. Tanca SAFELOCK de REER

Aquesta tanca limitarà la porta en marxa del simulador, ja que requerirà estar tancada i bloquejada per poder fer un rearmament. Quan es diu "tancada" vol dir que la sivella està a dins de la tanca, i "bloquejada" implica que la porta no es pot obrir degut al bloqueig electromecànic de la tanca. Aquestes condicions permeten operar la màquina de forma segura, ja que s'evita el risc de que algú pugui pujar o baixar del simulador quan està en operació.

Com la tanca és elèctrica, en cas de perdre tensió per una emergència, la porta permet la seva apertura.

Caldrà dissenyar una porta compatible amb el *cockpit* triat, per tal de poder fer un ús correcte de la tanca.

5.2. Desenvolupament del Software

A aquest apartat es podrà veure tot el software que s'ha fet servir pel desenvolupament del projecte, juntament amb la programació i visualitzacions fetes amb ells.

5.2.1. Assetto Corsa

Com s'ha comentat al principi de la memòria, cal escollir un videojoc sobre el qual es mourà tot el simulador. D'entre totes les opcions disponibles, el títol escollit ha estat Assetto Corsa.



Figura 36. Il·lustració de Assetto Corsa

L'estudi creador del títol, Kunos Simulazioni, té molta experiència desenvolupant simuladors de conducció, tant al sector dels videojocs com per companyies relacionades amb l'indústria del motor.

Assetto Corsa és un simulador que s'enfoca sobretot en carreres en pista i que permet un grau de personalització molt alt, tal que permet activar totes les ajudes disponibles per intentar ser el més accessible pels usuaris més casuals, o bé desactivar-les i configurar la pista en condicions desfavorables pels usuaris més experts.

És possible ajustar al detall la majoria d'aspectes del cotxe, com per exemple la pressió o compost dels neumàtics, la duresa de la suspensió, la càrrega aerodinàmica, la distribució de pesos, el mapa motor o fins i tot la quantitat de combustible amb el que es surt a pista.

Hi han molts modes de joc, com per exemple voltes de pràctica, voltes cronometrades, curses amb altres jugadors o fins i tot un mode carrera on

Aquest títol compta tant amb una ampla varietat de vehicles, des dels més clàssics als més moderns, com la majoria de circuits més importants. A més, permet descarregar contingut addicional gratuït mitjançant un *game manager*, el qual actua com un portal per poder ampliar el contingut del joc.

És per tot això que s'ha escollit per moure el simulador, però hi ha altres videojocs enfocats en la simulació que és possible que s'acabin incloent, com el DIRT, enfocat en rally o el F1, que simula cotxes de la categoria reina de l'automobilisme.

5.2.2. SimTools

Una vegada triat el videojoc que es simularà, cal trobar un software el qual sigui capaç de extreure les dades del videojoc. Aquest serà el SimTools.

SimTools està dissenyat per posar en funcionament simuladors de moviment, quadres de comandament, transductors (butt-kickers), simuladors de vent i més, el més ràpid

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

possible. Tot això oferint a l'usuari la flexibilitat necessària per a gairebé qualsevol tipus de disseny de simulador de moviment.

Proporciona l'enllaç que faltava entre el joc i el simulador de moviment. Extreure els valors del joc com la velocitat, la direcció del moviment, el canvi de marxa, les RPM del motor, l'acceleració i molt més. Després, tots aquests valors es barregen en un conjunt de dades estandarditzat que es pot utilitzar per controlar els motors del teu simulador de moviment.

SimTools està construït al voltant d'un sistema d'API de *pluguins* únic que permet ampliar-ho de moltes maneres diferents. El sistema de connectors permet crear nous connectors en qualsevol moment i per qualsevol persona. A continuació es presenta un breu resum de les API de connectors disponibles per a SimTools v3, la qual farem servir pel simulador.

- **Game Plugin:** Permet que nous jocs siguin compatibles poc temps després de sortir al mercat. Es pot escriure un *plugin* de joc per rebre telemetria pràcticament de qualsevol lloc des d'on vulguis captar telemetria. Ja sigui un joc a l'ordinador o un mòdul de telemetria en un vehicle teledirigit, SimTools es pot fer servir per extreure tota l'informació.

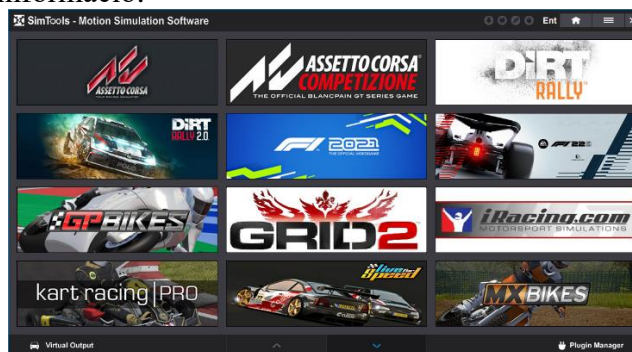


Figura 37. Pluguins dels jocs a SimTools

- **Axis Plugin:** Permet a un programador de *pluguins* controlar completament com es calculen les matemàtiques per a la seva sortida de moviment, permetent fer-ho de manera diferent per obtenir un simulador dissenyat a mida.
- **Interface Plugin:** Mai està obligat a utilitzar cap maquinari específic. El *plugin* d'interfície permet ampliar SimTools a nou maquinari en qualsevol moment. També es pot utilitzar per desbloquejar simuladors que poden estar lligats a un únic paquet de programari o quan l'empresa ja no estigui en funcionament. Pel simulador farem servir el *plugin* que ens permet establir comunicacions per Ethernet amb el protocol UDP.

SimTools va començar com un projecte comunitari que va madurar als fòrum de *xsimulator.net*, dedicat al món del *SimRacing*, sobretot en els simuladors de moviment fets per la comunitat.

5.2.2.1. Configuració de les Comunicacions

Per tal de comunicar les dades del joc al controlador, cal configurar les comunicacions de SimTools.

Com s'ha esmentat anteriorment, es farà servir un *plugin* permet escollir la xarxa Ethernet per enviar les posicions dels motors mitjançant el protocol de comunicacions UDP.

El protocol de comunicacions UDP (User Datagram Protocol) és un dels protocols principals de la capa de transport dins del model de xarxes OSI (Open Systems

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Interconnection). Al contrari del protocol TCP (Transmission Control Protocol), que és orientat a connexió i garanteix el lliurament de paquets, l'UDP és un protocol sense connexió i no garanteix el lliurament ni l'ordre dels paquets.

Al no requerir una connexió entre els dispositius abans d'enviar dades, la latència es redueix significativament i, a causa de la senzillesa del protocol, l'UDP és molt més ràpid en l'enviament de paquets.

És un protocol pensat per aplicacions on la velocitat i l'eficiència són més importants que la pèrdua de dades, per això és perfecte per un simulador de moviment, ja que amb la quantitat de posicions que s'han d'enviar, no importa perdre posicions intermèdies.

SimTools ens permet tenir fins a 6 configuracions per a com es comuniquen les dades de moviment, 3 més per les dades del tauler de control del cotxe i altres 3 per poder configurar un sistema de so al simulador.

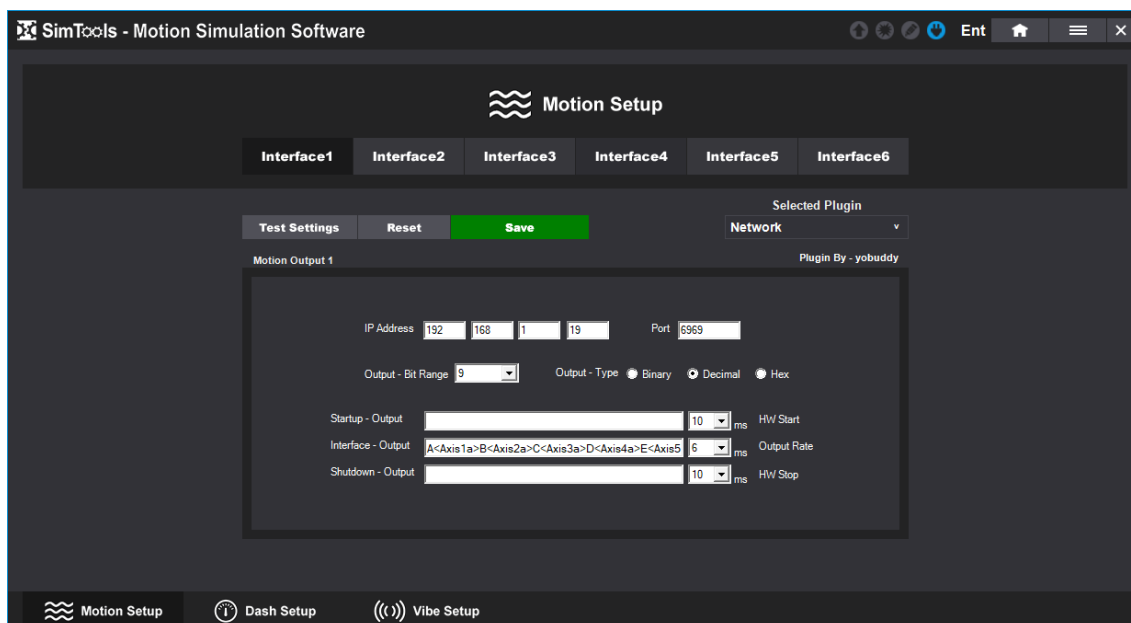


Figura 38. Configuració de comunicacions pel moviment

Per tal d'enviar les dades al controlador, solament cal saber la direcció IP d'aquest i establir un port de comunicació. A tots els AC703 la direcció IP de base és 192.168.1.88, i el port establert ha estat el 6969.

Com que el rang de moviment pels actuadors és de 300 mm, s'ha d'acotar el rang de moviment que pot extreure SimTools de l'Assetto Corsa. A la *Figura 38*, a més de la IP i el port, es pot veure com s'ha configurat el missatge de sortida a 9 bits amb un temps de 6ms per missatge. Això és per que amb 9 bits haurà un rang de valors en decimal que anirà de 0 a 511, i amb la configuració dels eixos s'acabarà d'ajustar al rang desitjat de 0 a 300.

A continuació, s'ha de definir el missatge que rebrà el AC703. A la *Figura 38* es pot veure part del missatge que s'envia. El missatge complet és mostra a continuació:

A<Axis1a>B<Axis2a>C<Axis3a>D<Axis4a>E<Axis5a>F

Aquí s'ha de definir quins eixos dels 6 que et permet configurar SimTools es volen enviar per UDP, per tant per enviar les posicions dels 5 eixos que es faran servir, s'ha d'escriure individualment com s'ha fet anteriorment el nombre de l'eix. Els quatre primers seran els encarregats d'enviar les posicions dels actuadors i el cinquè del *Traction Loss*.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Per tal de diferenciar els valors de cada eix dins de la cadena rebuda des del controlador, es fan servir els caràcters de control en majúscules. El caràcter 'A' defineix l'inici d'un missatge, mentre que la 'F' el final d'aquest. Les lletres intermèdies serveixen per separar les posicions dels eixos.

Per tal de fer proves amb les comunicacions i, a posteriori, amb les posicions al simulador, SimTools compta amb un mode de proves. Serà molt útil durant tot el projecte.

Fent servir aquesta funció de test, es pot simular el moviment dels eixos tant per separat, tant amb les combinacions de moviments que es configuren.

A continuació es pot veure una prova feta per veure el format del missatge de sortida a partir d'una simulació feta amb la funció de test:



Figura 39. Test Simulació de la posició dels eixos a SimTools

El missatge de sortida és el següent:

A0B511C255D357E161F

Es pot veure com no envia sempre 3 xifres, sinó que envia solament les xifres significatives. També s'aprecia com les posicions dels eixos de prova al SimTools corresponen al percentatge del màxim valor definit pel número de bits del missatge. Tot això s'haurà de tenir en compte a l'hora de fer servir aquesta cadena per moure el simulador.

Una altra cosa important sobre el format del missatge és que es tracta d'una cadena de caràcters en ASCII, pel que al tractar els valors al controlador s'haurà de fer una conversió d'ASCII a decimal.

5.2.2.2. Configuració dels eixos

Una vegada feta la configuració de les comunicacions, queda configurar els eixos.

Per tal de ajustar el rang de valors de sortida del SimTools, la configuració d'eixos permet limitar el rang d'aquests. Per tant, cal saber el percentatge de moviment necessari:

$$512 \cdot x = 300 \quad (19)$$

$$x = \frac{300}{512} \quad (20)$$

$$x = 0.5859 \approx 0.58 \quad (21)$$

És preferible truncar el valor a arrodonir-ho ja que així mai s'enviarà una posició superior als límits de l'actuador. Per tant, el rang màxim de moviment que obtindrem serà el següent:

$$512 \cdot 0,58 = 296,96 \cong 297 \quad (22)$$

El valor ara si que s'arrodoneix ja que el missatge de sortida és en números enters. A continuació es pot veure la limitació dels eixos:



Figura 40. Limitació dels eixos a SimTools

Com es pot observar a la Figura 40, es poden configurar fins a 3 grups de 6 eixos diferents. Això permet fer servir fins a 18 eixos a la vegada. El simulador d'aquest projecte solament farà servir 5 eixos, però sempre es poden afegir més eixos i és bo saber que SimTools no limita les opcions de personalització.

A la part inferior dreta de la Figura 40 es pot veure com hi ha una barra ajustable que determina el percentatge d'intensitat del perfil. Aquest paràmetre permet ajustar el com d'agressiu i responsiu és el simulador.

El següent pas és assignar els graus de llibertat als eixos. Per fer-ho, cal afegir un *plugin* pels eixos. Existeixen 5 *plugins* estàndard que es poden afegir directament des de SimTools, però sempre es pot escriure un *plugin* per tractar els eixos d'una forma més personalitzada.

Per la configuració dels eixos s'ha escollit el *plugin* per moviments lineals o 2D avançats. La diferència amb la resta de *plugins* per moviment lineal és el nivell de filtrat que es pot afegir a cada moviment.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

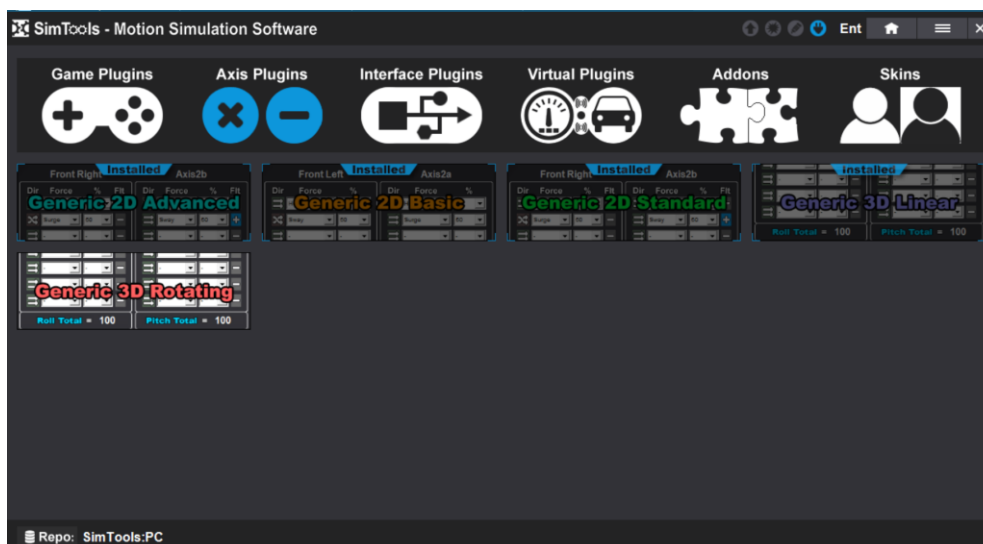


Figura 41. Plugins instal·lats al SimTools

Per acabar de configurar els eixos, cal saber com s'han de comportar els graus de llibertat a cada eix. Aquest *plugin* permet definir la direcció de de cada moviment i el rang de moviment que se l'hi vol assignar, com es pot veure a continuació:

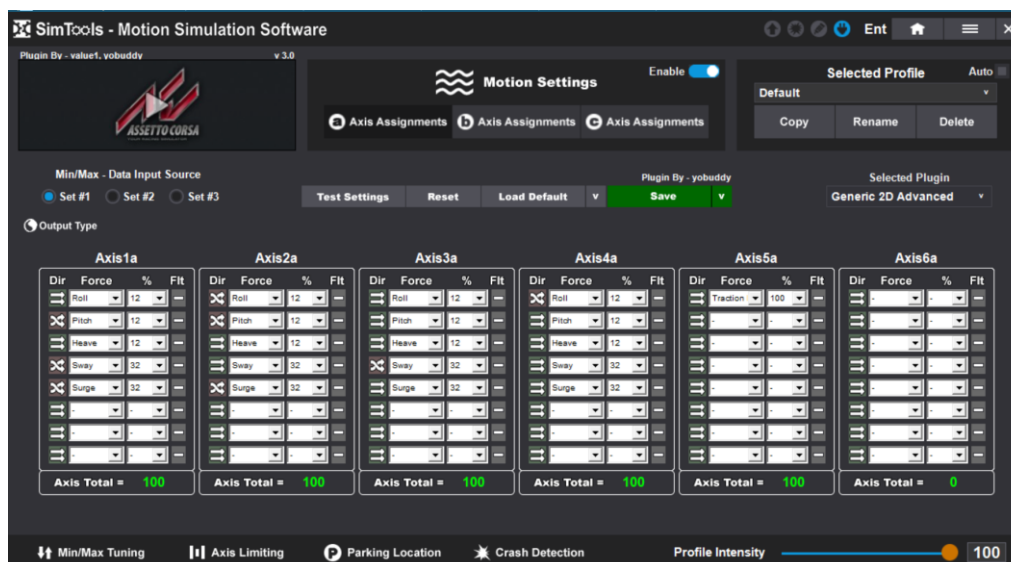


Figura 42. Configuració dels eixos

Com es pot veure a la *Figura 42*, els 4 primers eixos (del Axis1a al Axis4a) són els que corresponen als eixos verticals que mouran els actuadors lineals, mentre que el 5é eix és el responsable del motor lineal. Cada grau de llibertat requereix combinar de diferents formes les direccions que prendran a cada eix. Per exemple, per poder efectuar un *Roll* correctament, s'ha d'invertir la direcció dels eixos Axis2a i Axis4a respecte els eixos Axis1a i Axis3a. Això és així perquè el software suma o resta l'increment de moviment del moviment a cada eix en funció de la direcció aplicada a la configuració.

No tots els moviments tenen la mateixa direcció ni el mateix percentatge de moviment. Això es degut a que per tal de tenir una simulació de conducció més realista, cal accentuar molt més el *Sway* i el *Surge*, i és per això que tenen els percentatges de moviment més alts respecte la resta als eixos verticals. En el cas de tenir un simulador d'aviació, els moviments més accentuats serien el *Roll*, *Pitch* i *Heave*.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Cal tenir en compte que els percentatges no són fixes, ja que depenent del tipus de cotxe que es faci servir, el comportament dels moviments varia molt. És per això que SimTools permet tenir diferents perfils on guardar diferents configuracions d'eixos.

Per poder comprendre l'orientació dels moviments, caldrà observar les físiques d'un cotxe real. Per tal d'explicar-ho bé, es faran servir les següents figures:

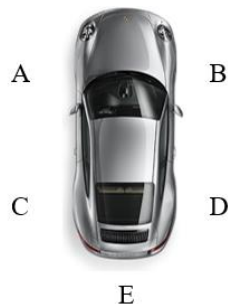


Figura 43. Perspectiva superior d'un cotxe

Els actuadors lineals aniran posicionats on hi estarien les rodes del cotxe al *cockpit*, per tant per poder situar cada eix, el *Axis1a* correspondrà a la roda davantera esquerra, el *Axis1b* a la roda davantera dreta, el *Axis1c* a la roda posterior esquerra i el *Axis1d* a la roda posterior dreta. Com l'eix *Axis1e* correspon a la pèrdua de tracció, es pot entendre que el motor lineal anirà situat a la part posterior del simulador, movent-se de dreta a esquerra, mantenint un eix fixe a la part frontal del simulador.

Per entendre el *Sway*, cal imaginar-se a un cotxe agafant una corba. Si aquest gira cap a la dreta, el cos tendeix a moure's cap a l'esquerra, i de forma contrària al girar a l'esquerra. Per tant, si es mira des del punt de vista de les rodes, a les rodes de l'esquerra s'estarà exercint més força que a les de la dreta, ja que com el cos del pilot, la carrosseria també tendeix a anar cap a la direcció contrària del sentit de gir.

És per això que els eixos A i C tenen la mateixa direcció, però contrària als B i D. És molt semblant al que passa amb el *Roll*, però de forma inversa, ja que el *Roll* és solidari a la inclinació del xassís.

El comportament del *Pitch* i del *Surge* és molt similar a l'explicat anteriorment, però agrupant els eixos davanters i els posteriors. Els davanters seran contraris als posteriors, però aquesta vegada els sentits del *Pitch* i el *Surge* seran iguals, ja que al accelerar la força s'exerceix des del darrere cap al davant, per tant quan s'acceleri la part davantera s'aixecarà i la posterior baixarà, i viceversa per la frenada.

D'aquesta manera, al inclinar el simulador cap enrere al accelerar, per la força de gravetat, es sentirà la pressió del suport del seient a l'esquena. Al revés passarà amb la frenada, al inclinar el simulador cap a la part frontal, el cos caurà cap endavant, simulant una frenada brusca d'un cotxe, on el seient deixa d'exercir força sobre el cos i aquest, per inèrcia, continua cap endavant fins trobar-se amb el cinturó.

Amb la configuració feta actualment ja es pot simular un videojoc a un simulador de moviment, però per tal de tenir un moviment més acurat, cal fer un *Tuning* o ajust.

SimTools té dos eines per poder fer-ho. La primera és poder aplicar una sèrie de filtres a cada moviment, per tal de corregir possible soroll o comportaments del cotxe que es vulguin eliminar per tal de tenir una experiència de simulació més satisfactòria.

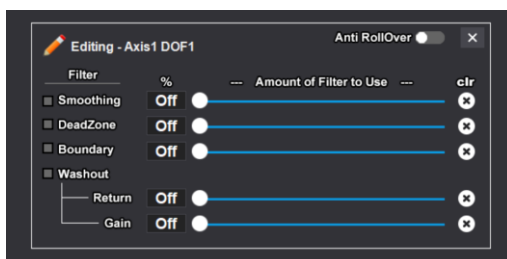


Figura 44. Filtres aplicables als moviments de cada eix

L'altre eina és l'ajust dels valors màxims i mínims de moviment que captura SimTools del joc.

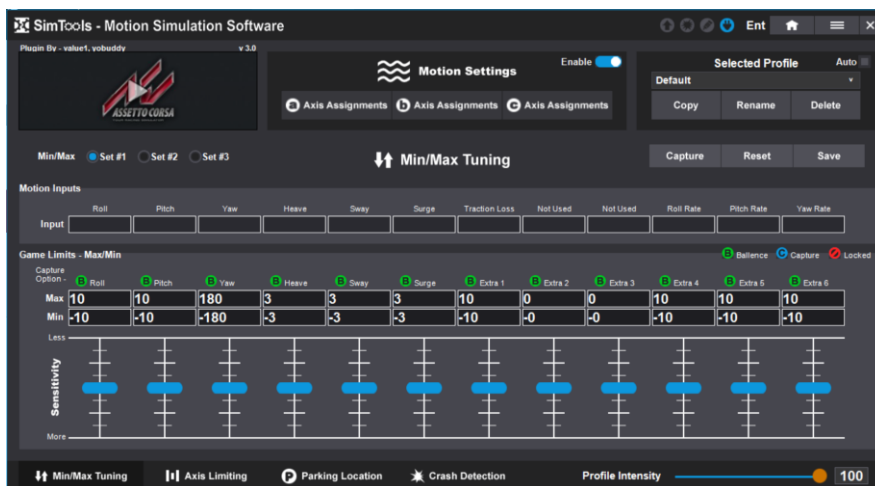


Figura 45. Ajust dels màxims i mínims dels valors capturats

Aquests valors, independents per cada moviment, els captura el propi SimTools. Per defecte, els màxims i mínims tenen els valors que es poden veure a la Figura 45. Cal tenir en compte que cada cotxe es comporta de forma diferent i que cada circuit pot canviar el comportament d'un mateix cotxe.

Per fer l'ajust, s'ha de fer un *reset* dels valors i començar a capturar mentre es dona una volta a la pista amb el videojoc. Aquesta volta ha de ser una volta "neta" (sense sortir fora de l'asfalt i sense pujar als pianos) ja que sinó els límits no seran correctes. Una vegada feta la captura dels màxims i mínims, es guarden al perfil corresponent al cotxe que s'està fent servir.

Aquest ajust fa que la simulació sigui molt més acurada, ja que accentua els moviments que serien més notables amb un cotxe concret a una pista concreta. Quant més petit és el valor límit, més sensible es fa el moviment, pel que és més fàcil notar l'efecte. Normalment els valors baixos són per el *Roll*, *Pitch* i *Heave*, ja que són moviments petits (a un simulador de conducció). En canvi, els valors més alts són pels moviments més bruscos i notables que no necessiten tanta sensibilitat per ser detectats, com el *Sway*, *Surge* o el *Traction Loss*.

5.2.3. Desenvolupament del codi i el control del simulador

Dins d'aquest punt es podran veure les parts més importants del codi desenvolupat, com el seu funcionament, tant com el control i les interfícies que s'han dissenyat.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

S'han hagut de fer servir diversos programes, ja que al fer servir controladors, servo accionaments i dues visualitzacions (una per WebVisu i l'altra per HMI), ha calgut emprar els diferents programes pensats per cada dispositiu.

En concret, s'han fet servir 4 programes per desenvolupar el codi i les interfícies de control:

- **InoProShop:** Configuració de la xarxa de comunicacions del bus EtherCAT, desenvolupament del codi per les comunicacions i tractament de dades entre el PC (SimTools) i el controlador (AC703), a més del codi encarregat del moviment del simulador (control dels servos) i de la maniobra. També s'ha fet servir per dissenyar una interfície de control per WebVisu.
- **InoDriverShop:** Configuració de paràmetres dels servo accionaments per establir modes de funcionament i configurar les entrades/sortides digitals.
- **InoTouchPad:** Disseny i programació del codi responsable de la interfície de control a la HMI. També ús del protocol de comunicacions OPC UA per poder controlar el PLC.
- **Mosaic Safety Designer:** Programació del PLC de seguretat per controlar tant les parades d'emergència, com la tanca de seguretat i limitar el rearmament de la màquina o fer les aturades d'emergència.

A continuació es podrà veure el funcionament dels programes (on la majoria són software desenvolupat per Inovance) i del codi desenvolupat a cadascun d'ells.

Per motius de confidencialitat, el codi escrit solament estarà disponible a la memòria confidencial.

5.2.3.1. InoProShop (CODESYS)

InoProShop és el software que es fa servir per programar els PLCs d'Inovance, el qual es basa en CODESYS.

CODESYS (Controller Development System) és un entorn de desenvolupament integrat (IDE) per la programació de controladors lògics programables (PLC). És un programari àmpliament utilitzat en l'automatització industrial per al desenvolupament i la implementació d'aplicacions de control per la seva versatilitat i potència, ja que és altament modular, permetent als desenvolupadors afegir biblioteques i mòduls segons sigui necessari.

Una vegada s'obre un projecte de InoProShop, el que es pot veure inicialment és el següent:

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

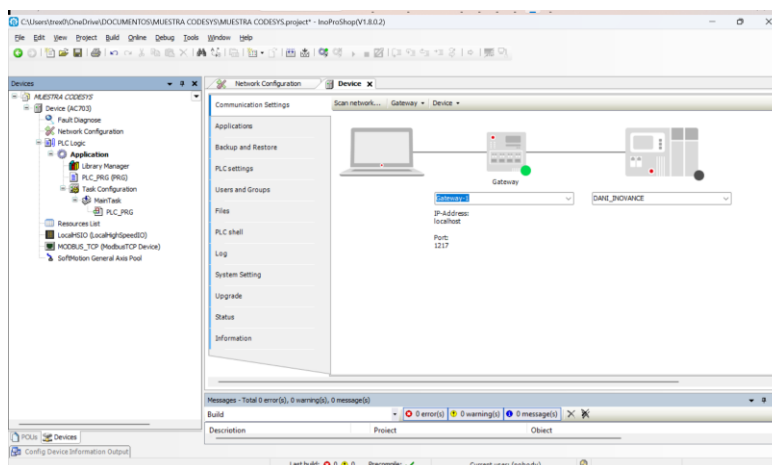


Figura 46. Exemple de projecte de InoProShop

Com es pot observar, hi ha diferents seccions destinades a la configuració de les xarxes de comunicacions, al desenvolupament de mòduls per la solució de l'aplicació, la gestió de les entrades/sortides del controlador, la configuració dels equips i la creació d'eixos virtuals per poder realitzar simulacions.

Abans de poder començar a programar el controlador, s'ha d'establir connexió amb el IPC. Això es farà des de la pestanya *Device/Communication Settings*, com es pot veure a la Figura 46. Des d'aquí, es farà un escaneig de la xarxa fins trobar el controlador. Pel desenvolupament de tot el projecte, s'ha fet servir una connexió per *Ethernet*, al port LAN A del AC703. A continuació es pot la connexió amb el controlador des del PC amb InoProShop:

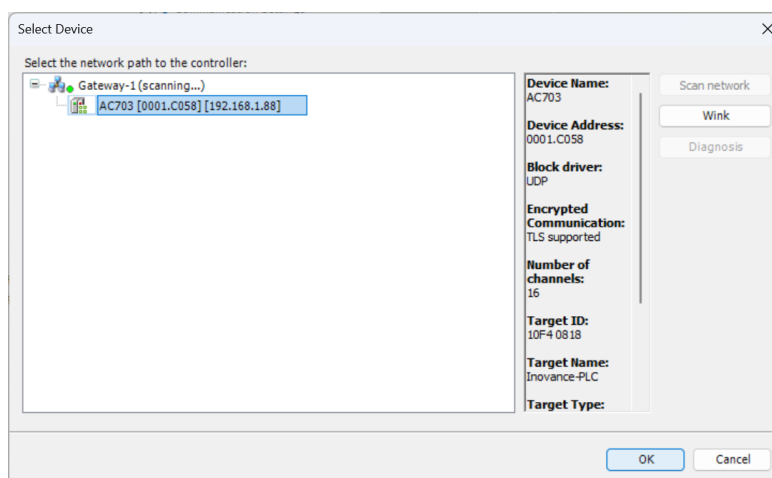


Figura 47. Establir connexions amb el IPC des de InoProShop

5.2.3.2. Configuració de Xarxa

Per poder comunicar el PC amb el SimTools amb el IPC, cal establir el controlador com a esclau *Ethernet*, però a la vegada, l'establirem com a màster EtherCAT per la resta dels equips que es faran servir al projecte i que cal afegir al projecte de InoProShop.

A la pestanya de *Network configuration*, es pot trobar un llistat de arxius ECT, els quals representen els diferents equips que es poden afegir a la xarxa. En el cas de InoProShop, es poden trobar tots els equips de la marca INOVANCE, pel que solament caldrà afegir el PLC de seguretats per tenir-lo en compte a la xarxa EtherCAT.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A continuació es pot veure com es configura el AC703 com esclau *Ethernet* i màster EtherCAT:

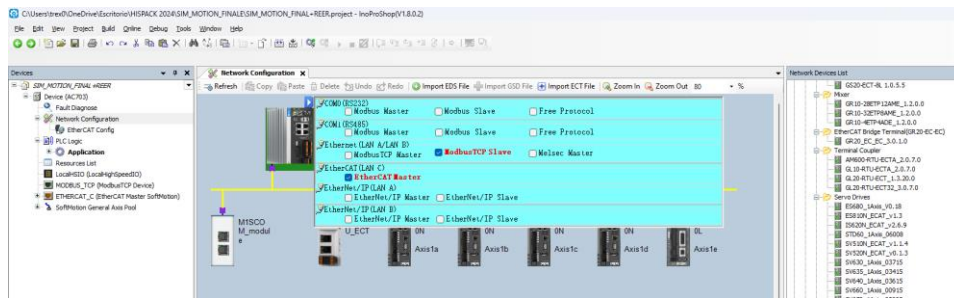


Figura 48. Configuració del IPC a la xarxa EtherCAT

A continuació, es pot veure amb més detall com els equips que es faran servir al simulador, com els mòduls d'expansió o el servo accionaments, estan configurats com esclaus del AC703:

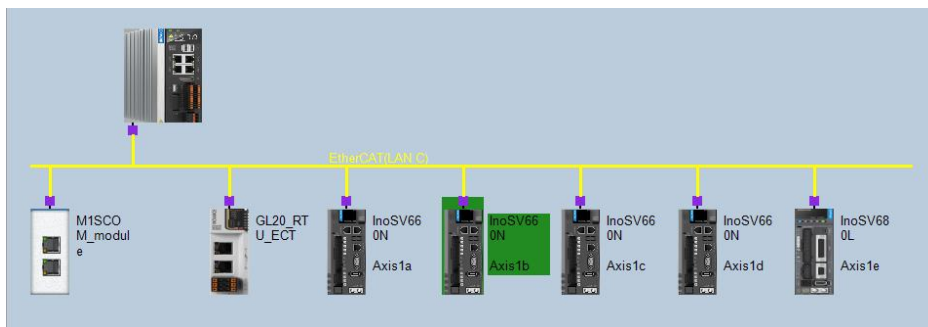


Figura 49. Xarxa EtherCAT de tots els equips

Una vegada afegits tots els equips que es faran servir, a la pestanya *Network Configuration/EtherCAT Config* es pot establir l'ordre dels equips dins la xarxa EtherCAT, a més de definir els mòduls d'expansió que es volen afegir a l'acoblador EtherCAT GL20_RTU_ECT, com es pot veure a la *Figura 50*.

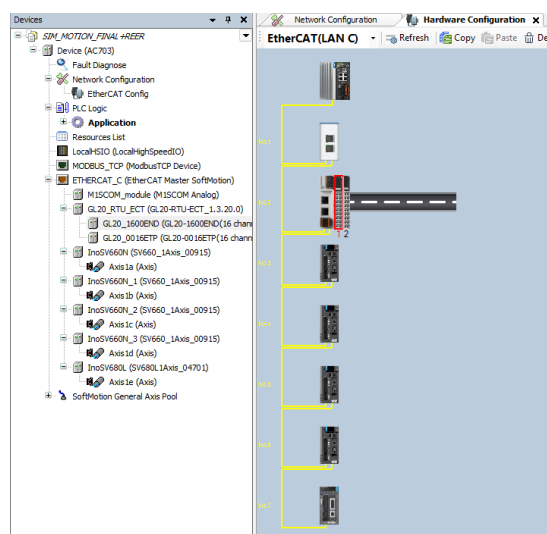


Figura 50. Ordre dels equips a la xarxa EtherCAT

5.2.3.1. Configuració dels equips

Per tal de poder fer servir els servomotors conjuntament amb els actuadors lineals, caldrà fer una configuració dels motors. També s’haurà de configurar el motor lineal.

Aquesta configuració és necessària per poder fer l’escalat del motor a les mesures que estarem fent servir (mm), com per fixar els valors límits de velocitat i acceleració per tal de no fer malbé el simulador o bé causar danys a les persones que estiguin a prop. Per configurar els servomotors, caldrà anar un per un. A continuació, es pot veure la configuració dels servomotors:

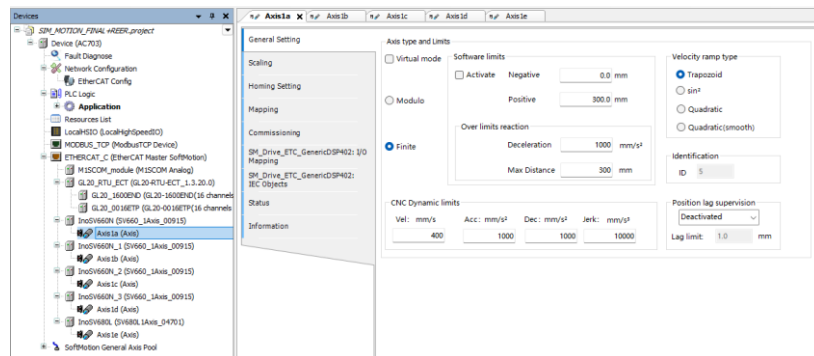


Figura 51. Configuració general dels eixos

Es pot veure com es determina els límits de moviment dels servomotors, com els límits dinàmics d’aquests. També es defineix el tipus de perfil de velocitat desitjada.

El límit de velocitat pel motor lineal és de 400 mm/s, i l’acceleració de 2000 mm/s².

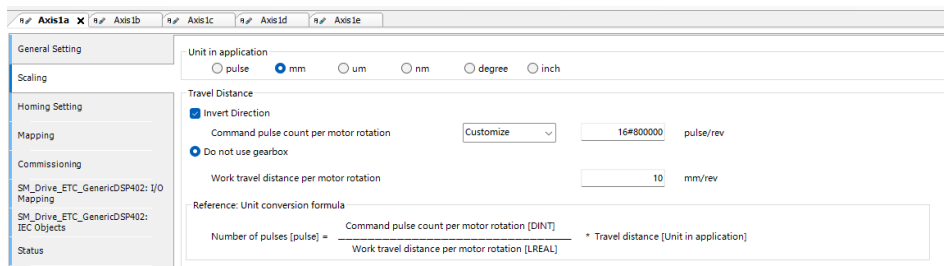


Figura 52. Escalat dels eixos

L’escalat serveix per definir el nombre de polsos que caldran per la distància d’aplicació de l’eix. Per poder calcular el nombre de polsos, es seguirà la fórmula següent:

$$\frac{n^{\circ} \frac{\text{polsos}}{\text{rev}}}{d \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} \cdot d_T = n^{\circ} \text{ de polsos} \quad (23)$$

El nombre de polsos per revolució serà l’equivalent a la resolució del encoder (23 bits) i la distància avançada per volta correspondrà al pas dels actuadors (10 mm/rev)

$$\frac{2^{23} \frac{\text{polsos}}{\text{rev}}}{10 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} \cdot 300 \text{ mm} = 251,65 \times 10^6 \frac{\text{polsos}}{\text{mm}} \quad (24)$$

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Pel motor lineal, el nombre de polsos per revolució es de 2795 polsos/rev i el pas la distància recorreguda per volta serà de 5 mm/rev, per tant:

$$\frac{2795 \frac{\text{polsos}}{\text{rev}}}{5 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}} \cdot 300 \text{ mm} = 167700 \frac{\text{polsos}}{\text{mm}} \quad (25)$$

5.2.3.1.1. InoDriverShop

InoProShop permet configurar paràmetres dels servo actuadors, però per poder anar més en detall cal fer servir InoDriverShop. Aquest software permet accedir a tots els paràmetres dels servo accionaments, programar-los i ajustar-los directament. Com que InoProShop ja fa el *tuning* dels servo accionaments, no caldrà fer-ho aquí, però si que es necessita per poder configurar els paràmetres corresponents als modes d'aturada i dels terminals d'entrada.

Per poder fer una parada d'emergència sense fre, es farà una frenada dinàmica, la qual funciona convertint l'energia cinètica i potencial del motor en energia elèctrica. Hi ha dos tipus de frenada dinàmica: frenada per resistència i frenada regenerativa.

Quan es frena fent servir la frenada per resistència, i el motor actua com un generador, l'energia elèctrica generada passa a través d'un transistor a una resistència, on es converteix en calor i es dissipa. A la frenada regenerativa, l'energia elèctrica generada durant la frenada és retornada al sistema d'alimentació o bé s'emmagatzema en una bateria o supercondensador.

Es farà servir la frenada per resistència durant l'operació (servo accionament ON), ja que els servo accionaments compten amb resistències de frenat incorporades. Tot i que la frenada regenerativa és més eficient energèticament, la frenada per resistència aporta simplicitat i fiabilitat, el que la fa adient pel simulador.

Una vegada creat el projecte corresponent al servo accionament que es farà servir, es té l'opció de configurar pràcticament tots els paràmetres de l'equip.

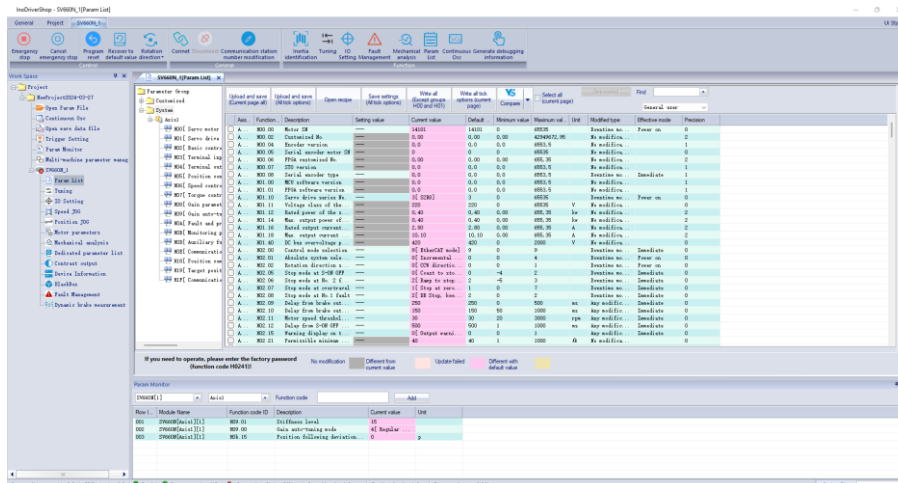


Figura 53. Entorn de treball de InoDriverShop

Com es pot veure hi ha una llarga llista de paràmetres que es poden manipular per poder adaptar l'equip a la aplicació per la que es vol fer servir. Pel simulador, modificarem un seguit de paràmetres de control.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

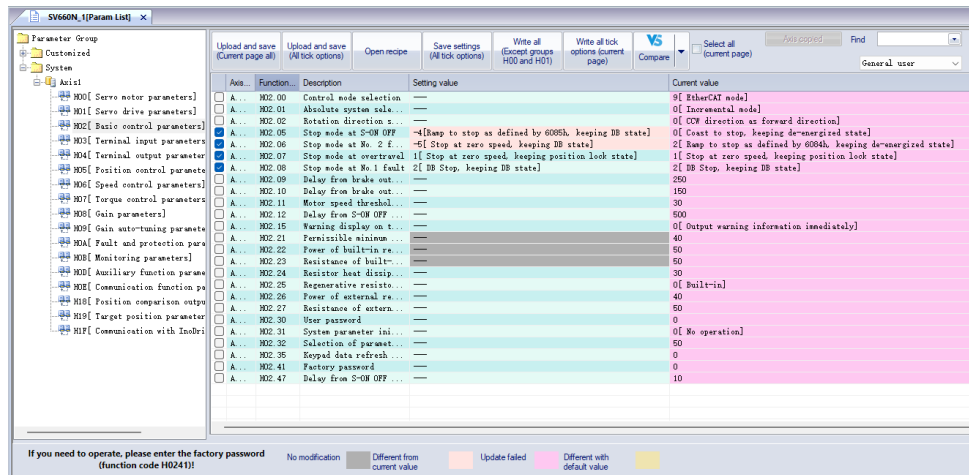


Figura 54. Configuració dels paràmetres de control del SV660

Com s'ha explicat anteriorment, es farà servir la resistència de frenat per dissipar l'energia regenerativa produïda durant l'operació (servo accionament ON), però en cas d'emergència es farà servir el curtcircuit de les fases per frenar la caiguda i desaccelerar el moviment quan el servo accionament no tingui el control per diferents motius: pèrdua de tensió d'alimentació, STO activa, error/alarma al drive o bé que el servo accionament ja no està en ON. Això ens permet no haver de fer servir servomotors amb fre.

Com que no es compta amb fre a cap dels servomotors, es farà servir la funcionalitat descrita anteriorment. Això es definirà al grup de paràmetres H02, concretament els paràmetres H02.5 i H02.6.

Axis...	Function...	Description	Setting value	Current value	Default ...
<input type="checkbox"/>	A... H02.00	Control mode selection	---	9 [EtherCAT mode]	9
<input type="checkbox"/>	A... H02.01	Absolute system sele...	---	0 [Incremental mode]	0
<input type="checkbox"/>	A... H02.02	Rotation direction s...	---	0 [CW direction as forward direction]	0
<input checked="" type="checkbox"/>	A... H02.05	Stop mode at S-ON OFF	-4 [Ramp to stop as defined by 6085h, keeping DB state]	0 [Coast to stop, keeping de-energized state]	0
<input checked="" type="checkbox"/>	A... H02.06	Stop mode at No. 2 f...	-5 [Stop at zero speed, keeping DB state]	2 [Ramp to stop as defined by 6084h, keeping de-energized state]	2

Figura 55. Selecció dels modes d'aturada

Per defecte, el mode d'aturada quan el servo accionament passa de ON a OFF (H02.5) és el de frenada per inèrcia (Coast to Stop). Aquest mode consisteix en permetre que es redueixi la velocitat de manera natural sense aplicar forces de frenada addicionals. La desacceleració es deu principalment a forces de fricció. Ho canviarem pel mode de frenada amb rampa, el qual desaccelera activament el sistema aplicant una reducció controlada i gradual de la velocitat. Això serà possible mitjançant la frenada per resistència. També en cas d'error, es canviarà el mode d'aturada (H02.6) a una parada a velocitat 0, ja que per defecte fa una rampa de frenat. Això és així perquè es necessita mantenir el parell constantment, ja que en cas contrari, el simulador cauria ja que els motors es quedarien lliures, poden fer mal a alguna persona o fins i tot a la mecànica.

A més, caldrà deshabilitar la sortida digital pel fre.

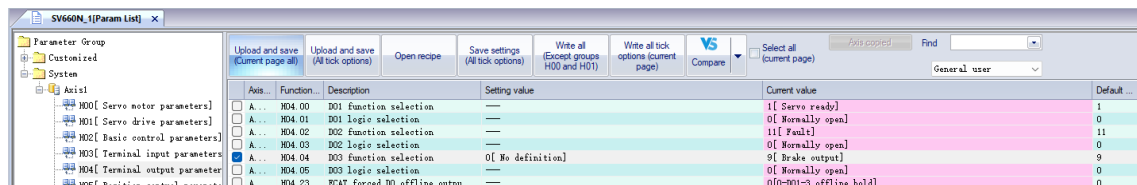


Figura 56. Configuració de les sortides

Aquesta configuració serà igual per tots els eixos.

5.2.3.2. Aplicació

Per poder completar l'objectiu de desenvolupar un codi per a la simulació i implementar una interfície visual pel control de la màquina, s'ha dividit el codi en tres parts principals: comunicacions, moviment i maniobra i, per últim, el control.

S'ha de tenir en compte que, mentre que les comunicacions i el moviment i maniobra estan desenvolupats íntegrament a InoProShop, el control mitjançant una interfície visual s'ha desenvolupat mitjançant WebVisu a InoProShop per la pantalla tàctil encarregada de controlar el simulador des de fora d'aquest i amb InoTouchPad, per la HMI que anirà fixada al *cockpit* per tenir un control a bord.

InoProShop compta amb un sistema de tasques, on es pot donar nivells de prioritat a les diferents rutines en funció de la seva importància i definir els temps d'execució d'aquests.

En el cas d'aquest projecte, s'han definit 3 tasques principals, dedicades al moviment, a les comunicacions i a l'execució de la visualització per WebVisu.

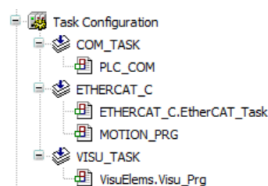


Figura 57. Tasques definides al projecte

L'orde de prioritats de les tasques, amb els temps d'execució establerts són els següents:

1. **ETHERCAT_C:** Màxima prioritat i un temps de cicle de 2 ms. És la tasca encarregada d'executar la rutina de moviment i la rutina de EtherCAT.
2. **COM_TASK:** Prioritat mitja i un temps de cicle de 3 ms. És la tasca encarregada d'executar la rutina de comunicacions entre el PC i el PLC.
3. **VISU_TASK:** Mínima prioritat i temps de cicle de 10 ms. És la tasca encarregada d'executar la rutina de control per la visualització per WebVisu.

A continuació es descriurà el funcionament del codi, on s'explicarà tant el funcionament de les rutines més importants, com la interacció que tenen aquestes entre elles i amb altres parts del projecte. També es podrà veure les interfícies de control que s'han desenvolupat per tenir un control del simulador, tant a bord com des de fora d'aquest.

Les rutines creades han estat desenvolupades mitjançant blocs de funció. La majoria de blocs de funció s'han creat especialment per aquest projecte en llenguatge estructurat i programació per contactes.

La programació dels blocs de funció es podrà veure amb més detall als Annexes de la memòria confidencial.

5.2.3.2.1. Comunicacions

El primer pas és poder rebre els missatges que envia SimTools amb les posicions dels eixos. Tenint en compte que es fa servir el protocol UDP, no cal establir una connexió amb el PC.

S'ha de recordar que el controlador és esclau *Ethernet* del PC, pel que rebrem les dades al port i direcció IP definits a SimTools (*veure punt 5.2.2.1*).

Una vegada es rebin les dades des del SimTools, caldrà tractar el missatge per poder separar les dades de cada eix i enviar les posicions a la rutina de moviment.

Per tant, hi hauran 2 parts diferenciades connectades una després de l'altre. La primera la de recepció i la segona de conversió de les dades.

També hi haurà una tercera part en la que hi hauran una sèrie de blocs de funcions creats per altres funcions relacionades amb les comunicacions.

A continuació, es pot observar la part de recepció i conversió de les dades de la rutina de comunicacions:

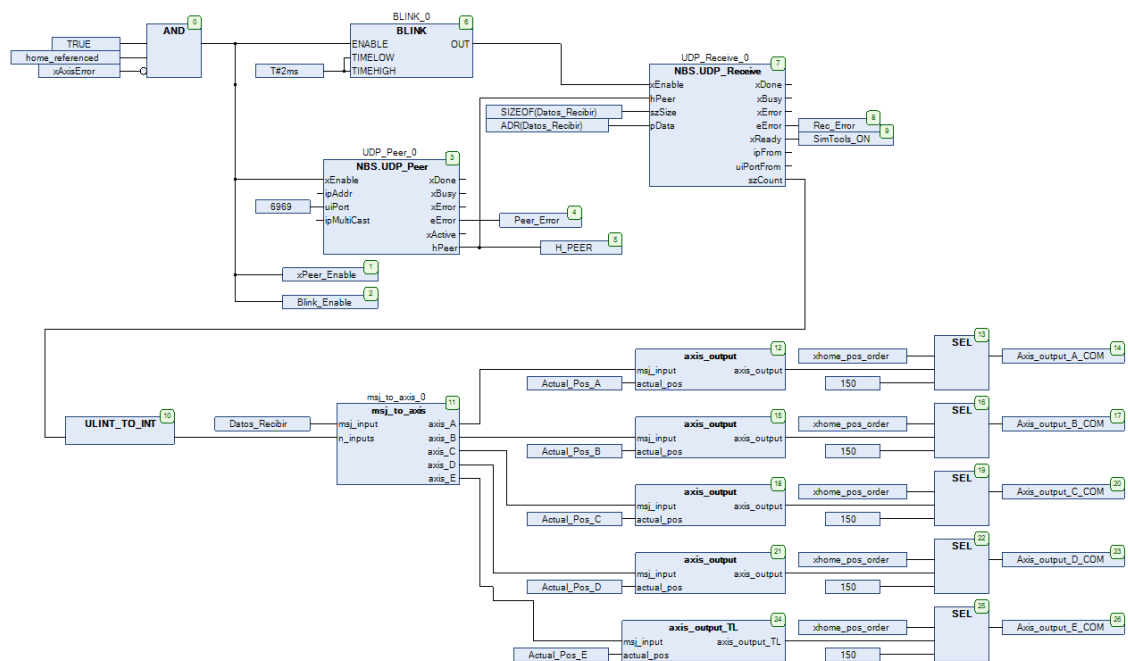


Figura 58. Rutina de comunicacions (Recepció i conversió de les dades rebudes)

Es pot observar com els blocs de funcions superiors estan separats dels inferiors. Això s'ha fet així per tractar de fer més entenedora l'explicació.

La part superior de la *Figura 58* és la dedicada a la recepció de les dades enviades des de SimTools, mentre que la inferior és per la conversió de les dades a valors enters.

Pel que fa a la recepció, s'han fet servir uns blocs de funcions que estan inclosos a les llibreries de CODESYS. Aquests són els *NBS_UDP_Recive_0* i *NBS_UDP_Peer_0*.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A continuació, es pot veure amb més detall la part dedicada a la recepció amb més detall:

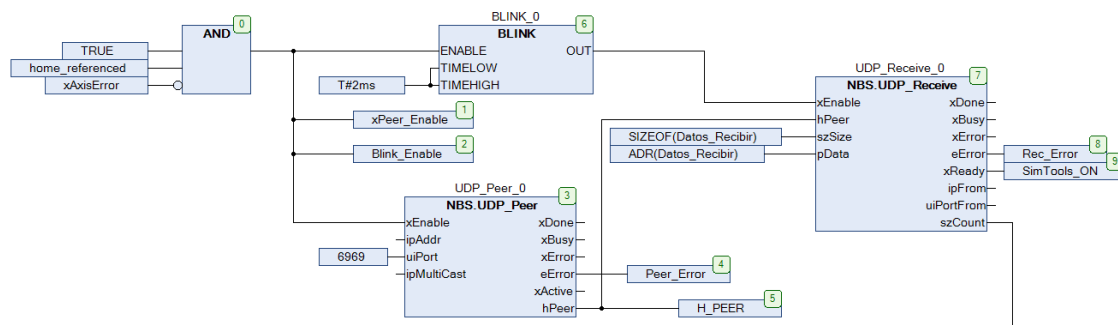


Figura 59. Blocs dedicats a la recepció de les dades

El bloc *UDP_Peer_0* és l'encarregat de gestionar la paritat amb el port on es rebran les dades. A l'entrada del bloc *uiPort* s'estableix el port de connexió on es reben les dades: 6969.

La paritat es refereix a la tècnica de detecció d'errors que s'utilitza per assegurar la integritat de les dades enviades i es fa servir per verificar si les dades han estat alterades durant la transmissió. El protocol UDP no proporciona paritat de manera nativa, però els sistemes que el fan servir poden implementar la paritat o altres mecanismes de verificació d'errors per assegurar la integritat de les dades, com és el cas. Les especificacions del bloc de funcions no especifiquen el mètode que es fa servir.

La sortida *hPeer* es connecta a la seva respectiva entrada al bloc *UDP_Receive_0* per tal de mantenir una gestió de la paritat del port.

Aquests blocs solament rebran dades quan l'entrada *xEnable* es mantingui en TRUE. Es pot apreciar una porta AND al començament de la rutina, la qual limita l'activació dels blocs mitjançant tres entrades: una constant de valor TRUE, les variables booleans *home_referenced* i *xAxisError*, explicades al punt corresponent a la rutina de [moviment i maniobra](#).

El bloc *UDP_Receive_0* s'encarrega de rebre les dades rebudes mitjançant la comunicació UDP al port establert i les introdueix a una cadena de caràcters de la mida del missatge. Tenint en compte que la longitud de la cadena rebuda és variable (com es pot veure al punt [5.2.2.1](#)), la taula que crearem ha de tenir l'espai suficient per contenir totes les dades. La taula on es guardaran les dades serà *Datos_Recibir*, una cadena de 30 bytes, i serà de tipus byte perquè els valors de la cadena rebuda són caràcters en ASCII, per tant es guardarà el valor decimal corresponent a cada valor, tant els caràcters de control com els caràcters corresponents a les xifres de les posicions.

L'entrada *szSize* s'encarrega de determinar el número màxim de bytes a llegir i *pData* és el punter que escriurà a la cadena *Datos_Recibir*. La variable de sortida *SimTools_ON* es farà servir per determinar si s'estan rebent dades o no, per saber si SimTools està activat o no. La sortida *szCount* dona el número de valors de la cadena rebuda per poder tractar el la cadena on es guarden els valors.

Es pot observar com l'entrada *xEnable* del bloc *UDP_Receive* no està connectat a la sortida de la porta AND com el *UDP_Peer*, sinó que està connectat a la sortida del bloc *BLINK_0*. Això és perquè el bloc *UDP_Receive* solament llegeix el missatge rebut una vegada després d'haver estat habilitat. Per tant es fa servir el bloc *BLINK*, el qual activa i desactiva la sortida en un cicle de 2 ms, per tant el bloc *UDP_Receive* canvia l'estat cada 2 ms, actualitzant també la cadena *Datos_Recibir*.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A continuació, es parlarà sobre la part dedicada a la conversió de les dades a decimals. A la següent imatge es pot veure més en detall:

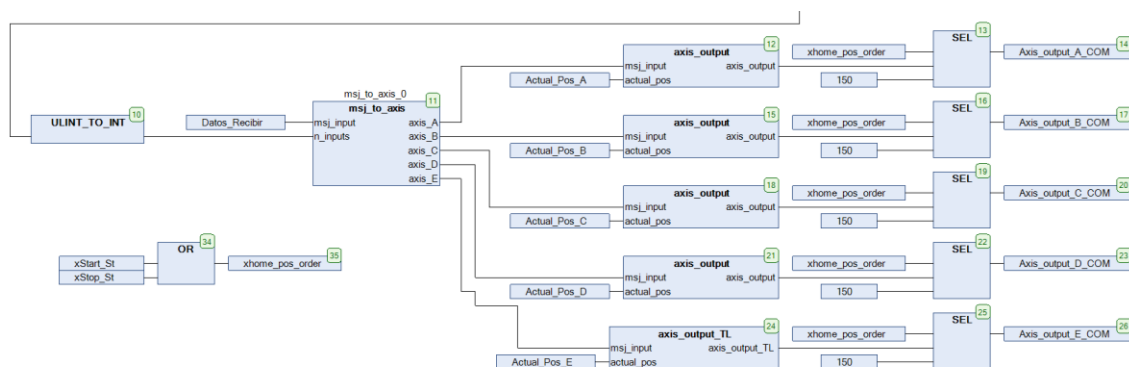


Figura 60. Blocs dedicats a la conversió de les dades

Al bloc *msj_to_axis_0* és on es duu a terme la separació dels caràcters corresponents a les xifres de posició de cada eix dels caràcters de control.

Compta amb dos entrades: la primera és per la cadena de caràcters *Datos_Recibir* la qual es tractarà, i la segona el nombre de caràcters a la cadena per poder tractar-la correctament, la qual ve directament del bloc *UDP_Receive*, com es pot veure a la *Figura 59*, passant per un bloc de conversió del tipus *unsigned long int* a *int*.

D'aquest bloc surten 5 cadenes de 3 bytes (una per eix), les quals passen als blocs de tipus *axis_output* i *axis_output_TL*. El funcionament d'aquests blocs és molt similar, amb la diferència que el primer està orientat als 4 eixos dels actuadors i el segon al eix del motor lineal.

Aquests blocs són els encarregats de fer la conversió de bytes a decimal. Cal tenir en compte que els valors que es reben estan dins d'un rang de 0 a 296, però que la posició de repòs de SimTools és el valor intermediari entre el valor màxim i mínim del missatge, és a dir 255, ja que el valor màxim era 511 (com s'explica al punt [5.2.2.1](#)).

Per tant, si el rang de moviment es de 0 a 296, els eixos es mouran 148 amunt i avall de 255, pel que la posició màxima dels eixos serà 403 i la mínima 107. Per tal de que els valors rebuts corresponguin amb les posicions reals en mil·límetres dels actuadors i el motor lineal, se li resta el valor mínim de posició que es pot obtenir a un eix (107) per tal de que els valors obtinguts vagin de 0 a 296 com es desitja.

La sortida dels blocs dona la posició a la que es deuran moure els actuadors i el motor lineal.

Els blocs *axis_output* i *axis_output_TL* també estableixen valors de sortida depenent de l'ordre donada pels elements de control seguint la [maniobra](#) definida.

Per últim, al final de la *Figura 60* es pot veure com la sortida dels blocs *axis_output* i *axis_output_TL* van a una de les tres entrades d'un bloc selector. Aquest bloc selector s'encarrega d'establir la posició intermèdia dels actuadors a la sortida depenent de si la variable *xhome_pos_order* és verdadera o falsa. Aquesta variable s'activa sempre que es

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

doni l'ordre d'iniciar el mode automàtic, per començar i acabar sempre a una posició coneguda abans i després de simular el moviment del cotxe a la rutina de moviment.

L'ordre bé donada per les variables $xStart$ i $xStop$, connectades a les dues entrades d'una porta OR, la sortida de la qual activa la variable $xhome_pos_order$, com es pot observar a la part inferior esquerra de la *Figura 60*. A les sortides dels selectors es adrecen les variables on es guarden els valors de posicionat dels eixos per la rutina de moviment i maniobra.

A la part final de la rutina es poden trobar blocs de funcions dedicats al control de les finestres i animacions de la visualització per WebVisu, els quals s'expliquen més endavant, a l'apartat sobre [WebVisu](#).

5.2.3.2.2. Moviment i maniobra

Aquesta rutina compta amb 5 blocs dedicats al control de moviment dels eixos: 4 per els actuadors lineals i el restant pel motor lineal,

Cada bloc controla el moviment d'un eix. Tots funcionen de la mateixa manera, afegint al bloc que controla el motor lineal la gestió del *homing*. Des d'aquest bloc es pot controlar l'eix mitjançant tots els modes disponibles al servo accionament: posicionament absolut e incremental, per velocitat i manual (jog).

La rutina també compta amb blocs encarregats de controlar la maniobra de la màquina i els estats, valors de velocitats/acceleracions i l'activació dels eixos. Per tal de fer més entenedora l'explicació, primer s'explicarà el funcionament dels blocs que controlen els eixos, on es veurà com s'executa el moviment dels motors a partir de les dades que arriben des de la rutina de comunicacions i els paràmetres de control que s'obtenen a partir del bloc.

Aquí es podrà veure també tant el [mode de simulació](#), com el [mode manual](#). El mode de simulació consisteix en moure els actuadors a partir de les dades de posicionament adquirides de la rutina de comunicacions. El mode de moviment manual tindrà dos modes:

- **Jog:** Consistirà en moure els eixos en un sentit o un altre mitjançant uns polsadors. Mentre es mantinguin polsats, depenent del polsador es mourà endavant o endarrere, però podent escollir els eixos que es volen moure.
- **3DOF:** Aquest mode permetrà moure el simulador manualment, però permetent combinar els graus de moviment *Pitch*, *Roll* i *Heave*. Consisteix en combinar els eixos per fer els moviments corresponents a cada grau de llibertat esmentat anteriorment mitjançant una sèrie de controls lliscants.

El control d'aquests modes es poden veure al punt dedicat al [control del sistema](#).

A la part dedicada a la maniobra s'explicarà la seqüència que segueix el simulador per posar en marxa la màquina o parar-la i com es gestionen les emergències, entre d'altres procediments.

5.2.3.2.2.1. Mode de simulació

Primer, cal assignar els eixos a cada servo accionament i nomenar-los per poder controlar-los des dels blocs de funcions *Axis_Base_FB*:

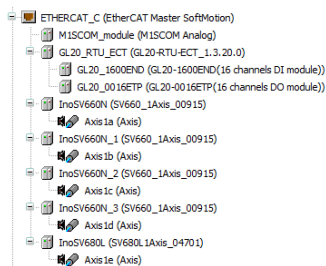


Figura 61. Assignació i nomenament dels eixos als servo accionaments

Una vegada assignats tots els eixos del servo accionament, caldrà controlar-los mitjançant el bloc *Axis_Base_FB*, el qual ha estat desenvolupat per un company de l'oficina de Vilafranca. Una vegada afegides les llibreries *CmpITEAxisControl v0.0.6.8* i *CmpITEUtils v0.0.0.2*, s'hauran d'integrar a la rutina de control de moviment.

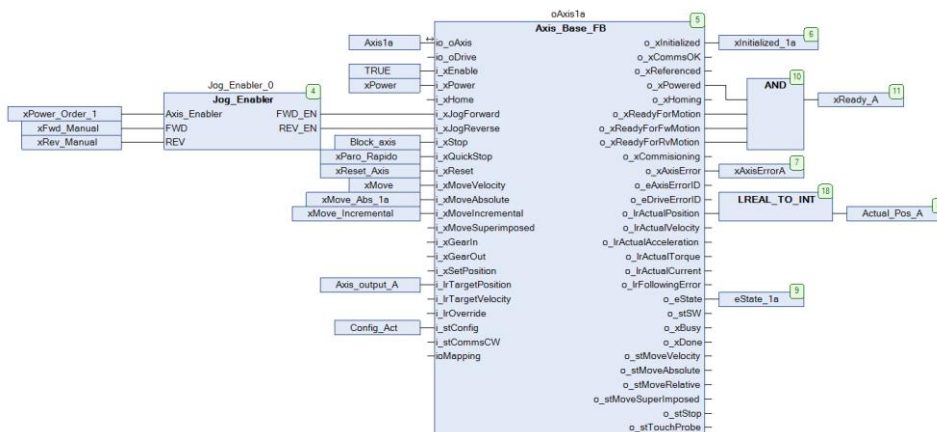


Figura 62. Bloc de control *Axis_Base_FB* de l'eix *Axis 1a*

Com es pot observar a la *Figura 62*, el bloc compta amb moltes entrades i sortides pel control de l'eix.

Una vegada assignat l'eix que controlarà mitjançant l'entrada *io_oAxis*, s'haurà d'habilitar el bloc mitjançant l'entrada *i_xEnable*. L'entrada es mantindrà habilitada mitjançant una constant, ja que es vol tenir el control del servomotor en tot moment, per saber l'estat de funcionament i si hi ha cap error d'eix. La variable booleana *xAxisErrorA* avisarà si hi ha hagut cap error mentre el bloc està en funcionament, el qual es podrà identificar tant a la finestra d'estat del SV660 de l'eix, com a la sortida *o_eAxisErrorId*.

Per posar en marxa el servomotor, s'haurà d'habilitar l'entrada *i_xPower*, la qual estarà controlada per la variable booleana *xPower*, la qual s'habilitarà solament si el simulador compleix les condicions per rearmar-se.

Per impedir moure el servomotor quan el SV660 no està en *RUN*, es farà servir la variable *xReady_A*, per saber quan el bloc determina que és possible el moviment. Aquesta variable està a la sortida d'una porta AND la qual compta amb 4 entrades, les quals estan connectades a les sortides *o_xPowered* (bloc encès), *o_xReadyForMotion* (posicionament del servomotor llest), *o_xReadyForFwMotion* i *o_xReadyForRevMotion* (moviment manual del servomotor llest).

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

A la *Figura 62* també es pot observar una variable més de sortida: *xInitialized_1a*, la qual determina que el bloc s'ha inicialitzat correctament. Per tal de mantenir un correcte control de tots els eixos, hi ha 2 portes AND per saber que tots els eixos estan inicialitzats i llestos per poder funcionar. També hi ha una porta OR per activar una variable general per totes les variables *xAxisErrorX*. Així, si es detecta un error a un dels eixos, es poden parar la resta d'eixos.

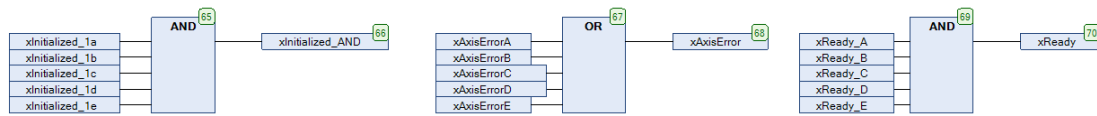


Figura 63. Portes AND i OR de control dels eixos

Com es rebran posicions noves constantment des de la rutina de comunicacions, es farà servir el mode de posicionament absolut per moure els servomotors. Aquest mode de moviment fa moure el motor a la nova posició des de la posició actual, per tant la posició inicial estarà canviant constantment a la vegada que la posició objectiu. La variable entera *Axis_output_A* serà la que doni la posició objectiu, mentre que a la variable entera *Actual_Pos_A* es podrà veure la posició actual, es a dir, la posició inicial de cada moviment.

Com es pot observar a la *Figura 60* i la *Figura 62*, es fa servir una variable diferent per establir la posició objectiu al mode de simulació, que la que es fa servir a la rutina de comunicacions (*Axis_output_A_COM*). Això s'explicarà a l'apartat de mode manual, concretament al mode de **3DOF**.

El bloc de control de moviment rebrà les posicions mitjançant l'entrada *i_IrTargetPosition*. Aquesta llegirà el valor contingut a la variable *Axis_output_A*, la qual contindrà un valor enter que correspondrà a la posició objectiu a la que es té que moure el servomotor.

Per tal de moure el motor, no és suficient amb canviar la posició objectiu de l'actual, s'ha de donar l'ordre de moviment a l'entrada *i_xMoveAbsolute*, la qual vindrà controlada per la variable booleana *xMove_Abs_A*.

Com que el bloc solament efectuarà un moviment quan la variable *xMove_Abs_A* canviï de falsa a certa (flanc de pujada), s'ha creat un bloc de funcions per controlar quan s'ha de moure el motor.

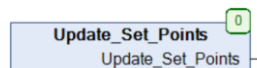


Figura 64. Bloc Update_Set_Points

Aquest bloc canvia l'estat de la variable *xMove_Abs_A* a cert si el valor objectiu actual és diferent al valor objectiu rebut anteriorment. En cas contrari, la variable serà falsa, pel que no s'efectuarà un posicionament del motor. A més, tindrà altres condicions en compte per efectuar un posicionament, com per exemple si hi ha un error d'eix o una aturada d'emergència.

La resta d'eixos funcionen exactament igual, canviant les variables per les seves corresponents, tot i que el bloc que controla l'eix del motor lineal (*Axis1e*) compta amb la gestió del *homing*.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

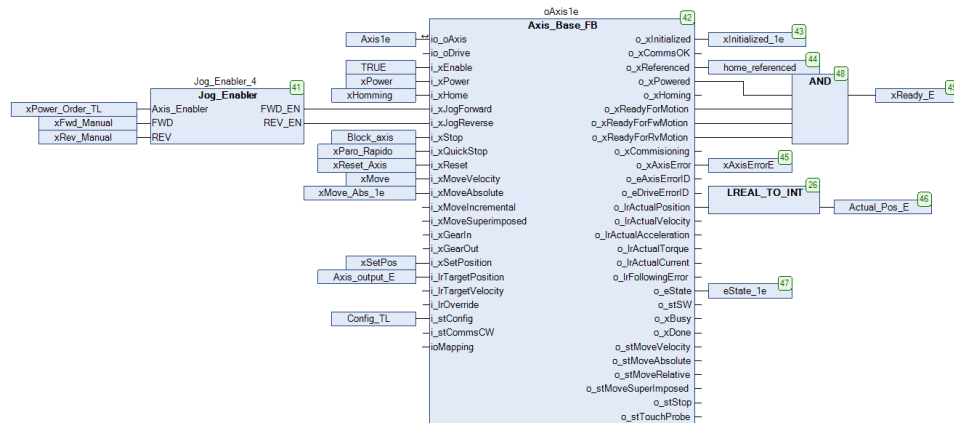


Figura 65. Bloc de control Axis_Base_FB de l'eix Axis1e

Per poder fer el *homing* o posicionat inicial del motor lineal, s'ha d'habilitar l'entrada *i_xHome*. Al activar-la mitjançant la variable *xHomming*, el motor lineal comença a executar el mode de posicionat inicial que s'ha establert al SV680L. Concretament el mètode 28 de posicionat.

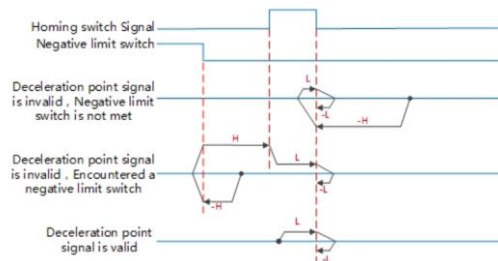


Figura 66. Mètode de posicionat 28 del SV680L

El que fa el servo accionament es moue inicialment sempre en el mateix sentit fins rebre la senyal del sensor de límit negatiu, el qual està situat a 150 mm del centre del motor lineal. Una vegada el troba, es mou en sentit contrari fins rebre la senyal del sensor de *home*, indicant que ja està a la posició intermèdia del seu rang de moviment màxim (300 mm).

Una vegada el procés de *homing* ha acabat, el motor lineal ja està referenciat, per tal la variable *home_referenced*, a la sortida *o_xReferenced* del bloc *Axis_Base_FB*, s'activarà.

Aquest procés de posicionat inicial solament es durà a terme una vegada, quan la màquina es posi en marxa per primera vegada, ja que després es manté referenciat durant tota l'estona que continuï funcionant.

Per tal de controlar els valors de la velocitat, acceleració i desacceleració dels motors, s'ha desenvolupat un bloc que canvia els valors depenent del mode de funcionament.

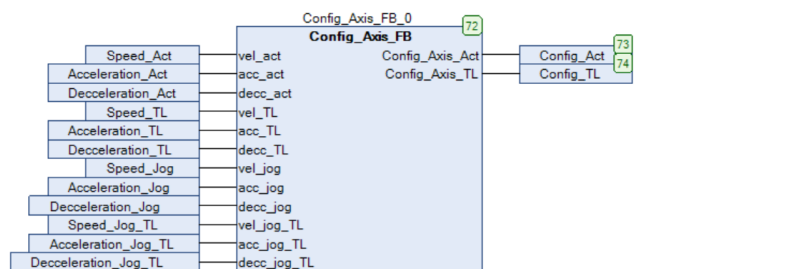


Figura 67. Bloc Config_Axis_FB_0 pel control dels paràmetres de velocitat/acceleració/desacceleració

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Gràcies a aquest bloc, es pot canviar automàticament els paràmetres dels eixos depenent de si estan en mode de simulació, el mode manual **JOG** o bé el mode manual **3DOF**.

Hi ha dos grups de variables, les que defineixen la velocitat al mode de simulació i les que defineixen la velocitat del mode **JOG**. Dins d'aquests grups, es diferencien també els paràmetres pels eixos dels actuadors lineals dels paràmetres pel motor lineal.

Aquestes variables permeten canviar fàcilment aquests paràmetres per complir les especificacions del projecte. Cal aclarir que es permet ajustar la velocitat del mode manual **JOG**, però està limitat a velocitats baixes per raons de seguretat

La velocitat del mode **3DOF** és fixa i està definida internament al bloc, ja que són moviments més agressius.

A més, quan s'està dins d'un dels modes, la resta de paràmetres es deshabiliten per evitar que hi hagin moviments involuntaris.

5.2.3.2.2.2. Mode Manual

Com s'ha esmentat anteriorment, el projecte compta amb dos modes de moviment manual: el **JOG** i **3DOF**. Per poder fer servir qualsevol dels dos modes, caldrà mantenir polsat un pulsador 'de l'home mort', el qual si es deixa de pulsar deixarà de moure el simulador. També les velocitats dels moviments estaran limitades pel bloc *Config_Axis_FB_0*, explicat anteriorment.

A continuació es descriu el funcionament dels dos modes funcionament:

- **JOG:** El funcionament és molt senzill, ja que com es pot observar a la *Figura 62* o la *Figura 65*, el bloc *Axis_Base_FB* compta amb dues entrades dedicades pel moviment manual.

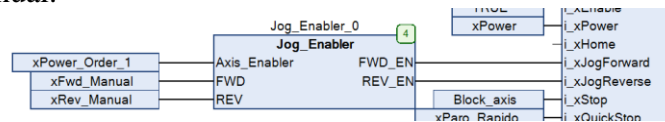


Figura 68. Control del mode manual JOG

Per poder discriminar quins eixos es poden moure al pressionar els pulsadors destinats al **JOG**, s'ha creat un bloc que solament activa la sortida corresponent al sentit de moviment desitjat quan el bloc s'habilita mitjançant la variable *xPower_Order_1*. El funcionament és el mateix a tots els eixos.

Per l'habilitació del **JOG** dels diferents eixos, s'ha creat un bloc que permet (mitjançant el control de la visualització) habilitar o deshabilitar els eixos desitjats.

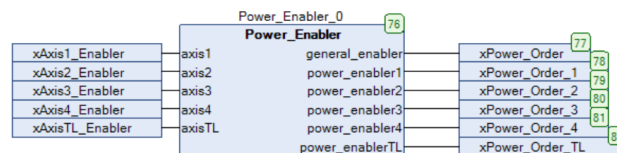


Figura 69. Bloc per habilitar els eixos al mode JOG

A partir de les entrades (esquerra), les quals estan associades a pulsadors a les visualitzacions, es pot escollir el eix/os a moure. Les sortides (dreta) són les encarregades d'habilitar els blocs *Jog_Enabler* de cada eix.

- **3DOF:** El funcionament del mode és més complex que l'anterior. El bloc *AXIS_CONTROL_MANUAL_V3* és l'encarregat de gestionar les posicions dels eixos.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

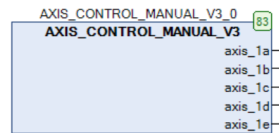


Figura 70. Bloc pel control del mode manual 3DOF

El funcionament del bloc és el següent: A partir dels valors que rep des de la visualització associada al control d'aquest mode, genera un seguit d'increments per cada grau de llibertat (*Pitch*, *Roll* i *Heave*). A partir de la posició de simulació (150 mm), es suma o resta els increments a una variable interna per cada eix (seguint el mateix criteri de sentits marcat a la [configuració dels eixos a SimTools](#)) per obtenir la nova posició objectiu. També es té en compte que els valors resultants es mantinguin dins dels límits dels eixos, per evitar arribar a tocar els límits mecànics dels actuadors o el motor lineal.

Al mode **3DOF** es fa el mateix que al mode de simulació per discriminar quan hi ha un canvi de posició. La posició actual dels eixos, la qual s'actualitza constantment a una variable interna del bloc, es compara amb la posició objectiu calculada. Si son iguals, la sortida es manté igual, mentre que si són diferents, la posició objectiu s'assigna a la sortida. D'aquesta manera solament es mourà quan hi hagi un canvi de posició als *sliders* de la visualització associada al control del mode 3DOF. Quan surt del mode, actualitza la posició objectiu a la posició de simulació (150 mm).

Per tal de poder discriminar les posicions del mode **3DOF** de les del mode de simulació (ja que les dos fan servir el mode de posicionat absolut), s'ha creat un nou bloc que assigna el valor de la posició objectiu a la variable *Axis_output_X*.

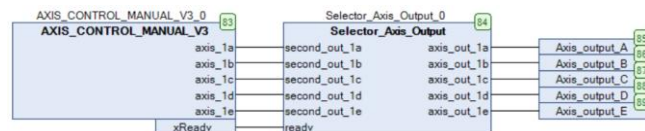


Figura 71. Bloc selector de posició objectiu

Depenent del mode en el que estigui operant la màquina, el bloc *Selector_Axis_Output* introduirà els valors de posicionat del bloc *AXIS_CONTROL_MANUAL_V3*, o bé els valors que provenen de la rutina de comunicacions (*Axis_output_X_COM*). Aquest bloc solament funcionarà si els blocs de control *Axis_Base_FB* de tots els eixos estan llestos per tal d'evitar errors al servo accionament per fer un moviment abans de temps.

5.2.3.2.2.3. Maniobra

Tota la maniobra bé controlada pel bloc *MOTION_CONTROL*, programat en Ladder.

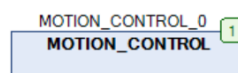


Figura 72. Bloc encarregat de la maniobra del simulador

Aquest bloc controla tota la maniobra del simulador, la qual ha estat separada en diverses parts. La seqüència d'operació del simulador és la següent: primer es troba en una posició de repòs segura, amb els motors aturats en estat STO.

L'estat STO (Safe Torque Off) d'un servo accionament és una funció de seguretat que desactiva el corrent cap al motor de manera segura, evitant que el motor generi parell. Aquesta funció s'utilitza per garantir la seguretat dels operadors i l'equip en situacions

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

d'emergència i/o durant el manteniment. El STO desactiva la sortida de corrent del accionament cap al motor, el qual evita que es generi qualsevol tipus de parell, fins i tot si el accionament rep ordres per fer-ho.

S'esperarà a donar l'ordre de rearmament per passar de STO a READY i solament es podrà rearmar el simulador quan la porta estigui tancada i bloquejada. Si cap interruptor d'emergència esta premut, es procedirà a fer el rearmament de la màquina.

Una vegada rearmat el simulador, s'haurà de fer un reset per desactivar l'estat d'emergència. El següent pas es pujar el simulador a la posició de simulació (150 mm). Per fer-ho es premerà el polsador a una de les pantalles de control per passar a la posició de simulació. Si és la primera vegada que es posa en marxa, farà un *homing* del motor lineal i, una vegada referenciat i en posició, pujarà el simulador.

A partir d'aquí, hi han tres opcions: passar al mode de simulació, al mode manual **JOG** o bé al mode manual **3DOF**. Tenint en compte que els modes d'ús manuals s'han desenvolupat a mode de demostració, s'obviaran a la maniobra.

Una vegada al menú del mode de simulació, es podrà activar per començar a simular el moviment a partir de les posicions rebudes des de SimTools.

Quan acabi la sessió, s'aturarà el mode simulació, es tornarà al menú principal i es baixarà el simulador a la posició de repòs. Aquí, es permetrà obrir la porta i el sistema tornarà a estar desarmat i en estat d'emergència. Per tornar a posar-lo en marxa, es seguirà el mateix procediment descrit, eliminant la part on es fa el *homing* del motor lineal.

A l'explicació de la maniobra no s'han tingut en compte en cap moment possibles errors d'eix, falles de comunicacions durant la simulació o aturades d'emergència.

A continuació, s'explicaran les diferents parts en les que s'ha dividit la maniobra:

- **Emergència:** Aquí s'activa l'estat de parada d'emergència. Aquest estat bloqueja tots els blocs dedicats al moviment. Quan el simulador no està rearmat, l'estat està actiu. També s'activa quan es deixen de rebre missatges de SimTools durant el mode de simulació. Per poder sortir de l'estat d'emergència, cal fer un reset després del rearmament del sistema.
Cal tenir en compte que l'estat d'emergència atura els eixos, però no atura el simulador, si es tracta d'una aturada per un error petit solament cal un reset per tornar al funcionament normal del simulador.
- **Comunicacions:** Aquesta part de la maniobra està destinada a detectar si es deixa de rebre missatges de SimTools mentre el mode de simulació està en marxa. Mitjançant la variable *SimTools_ON* (veure [Figura 59](#)), es pot saber si s'estan rebent missatges o no. Quan la variable fluctua entre els dos estats significa que està rebent missatges, pel que s'activarà un estat que determina que SimTools està comunicant. Si la transmissió de dades s'atura, la variable *SimTools_ON* passarà a estat fals i, si es manté durant 2 segons mentre el sistema esta en marxa, desactivarà l'estat i activarà una sortida per entrar en estat d'emergència.
- **Posicionat del simulador:** Per tal de poder pujar la màquina a la posició de simulació o bé, baixar-lo a la posició de repòs, es tindran en compte un seguit de condicions abans d'efectuar cap moviment.
Per tal de poder efectuar qualsevol dels dos moviments, caldrà que els equips estiguin inicialitzats, sense cap error i que l'estat d'emergència estigui desactivat. A més, no es podrà canviar la direcció del moviment si ja esta efectuant un altre

moviment, ja que al donar l'ordre de posicionar-se a la posició de simulació o de repòs, s'activa un estat indicant que els motors es mouen a la posició ordenada. Aquests estats també assignen el valor de posicionat a la sortida del bloc *axis_output* i *axis_output_TL*, corresponent a la posició ordenada (simulació o repòs).

Aquí és on s'ordena al SV680L afer el *homing* del motor lineal. Una vegada els servo accionaments reben potència (*xPower = true*), en el moment que s'activi l'estat de moviment a posició de simulació, es donarà l'ordre de fer el posicionat inicial del motor lineal. Això es fa activant una bobina a la que se li ha assignat la variable *xHoming*.

Els estats de moviment a posició no es desactiven fins que el simulador assoleixi la posició a la que es dirigeix. Per exemple, al fer el *homing*, l'estat de moviment a posició de simulació es mantindrà activat, esperant a rebre la confirmació de la variable *home_referenced* indicant que el motor lineal està referenciat i, començarà a moure el simulador fins arribar a la posició de simulació (150 mm). Una vegada arriba, l'estat es desactiva i el sistema estarà llest per simular o tornar a baixar. El funcionament per baixar a posició de repòs (5 mm) és el mateix, però a la inversa.

- **Encesa del mode de simulació:** Una vegada la màquina es troba a la posició de simulació i el menú de control del mode de simulació està activat, s'esperarà a rebre l'ordre de començar a simular moviment. Per poder simular, cal complir una sèrie de requisits: primer, el sistema no pot estar en un moviment de posicionat i ha d'estar referenciat. Si no es compleixen aquestes condicions inicials, no es passarà a la següent fase de la maniobra. Seguidament, es passa a comprovar que efectivament el simulador es troba a la posició de simulació i si s'estan rebent comunicacions. Si no es troba a la posició, farà un posicionat automàticament. En el cas de no estar rebent missatges de SimTools, saltarà l'estat d'emergència, com s'ha explicat anteriorment, aturant el mode simulació.

- **Aturada del mode de simulació:** Tant si no es reben missatges de SimTools o es dona l'ordre d'aturar la simulació de moviment, s'activarà l'estat de parada del mode.

Al activar-se aquest estat, s'ordenarà al simulador tornar a la posició de simulació des d'on estigui. Una vegada arriba i els eixos estiguin aturats a la posició, es desactivarà l'estat d'aturada.

- **Rearmament:** La seqüència de rearmament es gestiona amb el mòdul de seguretat MIS COM.

Inicialment, el sistema estarà aturat a la posició de repòs, amb els servo accionament en estat STO.

Quan la porta estigui tancada i bloquejada i cap dels interruptors d'emergència estigui premut, la condició per poder rearmar es complirà. Des del control, es polsarà un botó de rearmament i el sistema quedarà rearmat. El funcionament del procés de rearmament es pot trobar al punt corresponent al [software del MS1 COM](#).

5.2.3.2.2.3.1. Mosaic Safety Designer

A continuació es podrà veure el programa desenvolupat per la gestió de la seguretat del simulador pel MOSAIC MIS COM. A partir del software propi de REER per programar els seus controladors (Mosaic Safety Designer), s'ha desenvolupat un programa amb blocs de funcions per tenir el control sobre la seguretat del sistema.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

El programa està separat en dos parts: entrades i sortides.

A la part d'entrades, es gestionen els blocs dedicats als interruptors d'emergència.

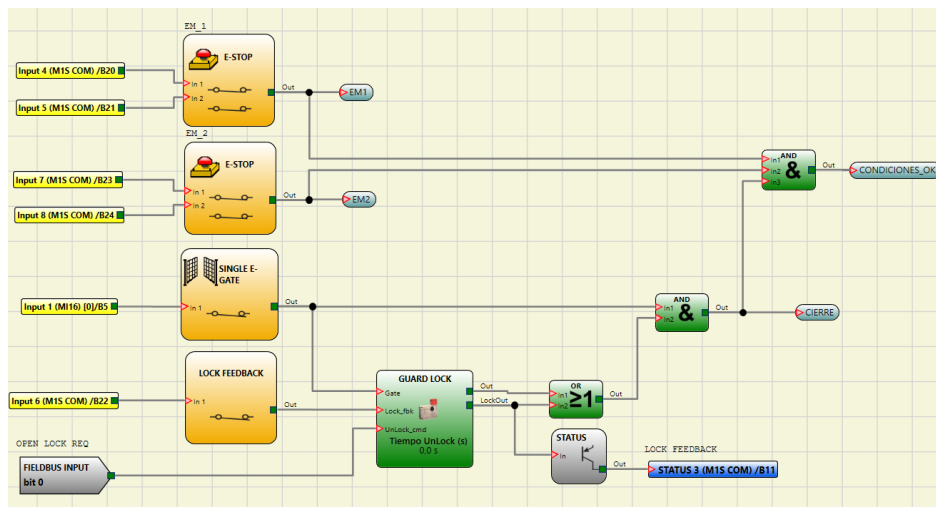


Figura 73. Gestió de les entrades del MIS COM

Es fan servir dos tipus de senyals d'entrada: les entrades digitals, les quals van cablejades físicament als ports digitals corresponents, i les entrades de bus de camp, les quals reben mitjançant el bus de comunicacions EtherCAT.

Com es pot observar a la *Figura 73*, hi han dos interruptors d'emergència, un està al simulador i l'altre al quadre elèctric. Les entrades dels interruptors estan duplicades per qüestions de seguretat. Es pot veure com les sortides del bloc van a una porta AND. Aquesta porta es la que determina si tots els mòduls estan preparats per permetre el rearmament. La sortida de la porta s'assignarà a una sortida digital a la part de sortides del programa.

A continuació es parlarà dels blocs per la tanca de seguretat. La tanca compta amb tres blocs diferents que treballen conjuntament. El primer és el *Single E-Gate*, el qual activarà la sortida donant un nivell alt quan la sivella estigui dins de la tanca. El *Lock Feedback* indica l'estat del relé de bloqueig, sent un nivell alt quan la tanca esta bloquejada i, un nivell baix quan no. L'últim bloc, i més important, és el *Guard Lock*. A partir de les sortides dels blocs anteriors, es sap si la porta esta bloquejada per un sistema de doble confirmació. Aquestes sortides van a les corresponents entrades del *Guard Lock*. Per tal de bloquejar la tanca elèctricament, es fa servir l'entrada *UnLock_cmd*, connectada directament a una entrada de bus de camp, la qual anirà associada a un interruptor al control per bloquejar i desbloquejar la porta. Al activar el relé i bloquejar la porta la sortida *LockOut* s'activa. Si qualsevol de les entrades cau, la sortida també.

La sortida *Out* es fa servir per sistemes amb entrades duplicades, i aquest no és el cas, pel que es fica una porta OR per tal de poder compilar el programa.

Quan els interruptors d'emergència es troben tancats (no polsats) i la porta tancada i bloquejada, s'habilitarà l'estat *Condiciones_OK*, la qual permetrà rearmar el sistema.

Totes les sortides de cada bloc van a la porta AND per habilitar *Condiciones_OK*, però també compten amb un estat individual. Això es deu a que a la gestió de les sortides es faran servir els estats individuals per afegir redundància.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

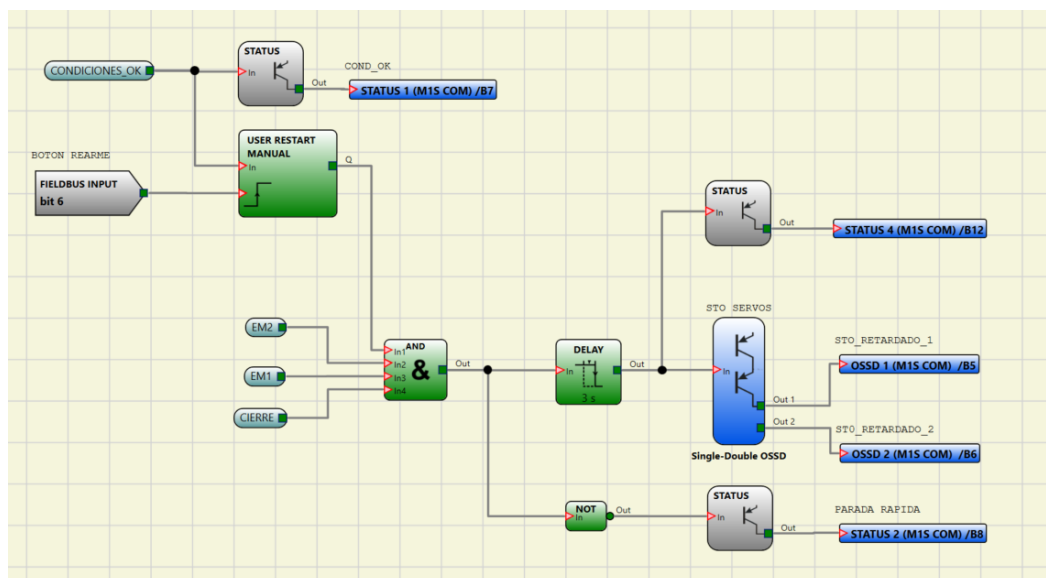


Figura 74. Sortides mòdul M1S COM

A la *Figura 74* es pot veure la segona part del programa, dedicada a les sortides del controlador de seguretat. Es pot observar que l'estat *Condiciones_OK* s'assigna a una sortida digital, la qual anirà cablejada al GL20-1600END per mostrar al control que es pot rearmar. També està connectat a un bloc anomenat *User Restart Manual*, el qual manté l'estat baix a la sortida fins que es rep un pols de pujada. Aquest pols vindrà controlat per un botó al control per fer el rearmament, ja que una vegada polsat, la sortida del bloc s'activarà, passant a una AND on es mira que les condicions de rearmament continuen correctes. Quan la sortida de la porta lògica passa de nivell baix a alt, les sortides *STATUS_4*, *OSSD_1* i *OSSD_2* s'activen, canviant l'estat dels servo accionaments de STO a READY.

Si és al revés (de nivell alt a nivell baix a la sortida de la porta AND), activa immediatament la parada ràpida dels blocs *Axis_Base_FB*, realitzant una parada controlada i, 3 segons després, desactiva les sortides *STATUS_4*, *OSSD_1* i *OSSD_2*, pel que es deixa de donar tensió a les entrades STO, passant els servo accionaments de READY a STO, parant la modulació dels servo accionaments, però sense deixar caure el simulador ja que el curtcircuit de les fases de sortida per part dels servo accionaments fa que es mantingui parell als servomotors.

Aquest la màquina es desarmarà tant si s'activa una emergència, una de les condicions de seguretat es desactiva durant la maniobra o la simulació, com si es fa una parada normal del simulador sense errors ni emergències.

5.2.3.2.3. Control

Pel control del sistema, l'objectiu és dissenyar dos visualitzacions diferents les quals funcionin per separat, mantenint les mateixes funcionalitats, però que treballin conjuntament. Una anirà fixada al *cockpit* per poder tenir un control a bord i l'altra a una pantalla tàctil, situada al quadre elèctric, la qual funcionarà com a màster de la primera, tenint la capacitat de restringir el seu ús quan es vulgui.

Com s'ha explicat anteriorment, es faran servir dos tipus de pantalles: una HMI IT7070 pel control a bord i una pantalla tàctil HP821W. Mentre que la primera és una pantalla intel·ligent que pot ser programada, l'altra solament farà d'interfície visual.

Al tenir dos tipus de pantalles diferents, la visualització de cadascuna es desenvoluparà amb entorns diferents. Per la HMI es farà servir el software propi de Inovance, creat per programar les seves pantalles intel·ligents: InoTouchPad. Aquest entorn de programació permet crear interfícies de control visuals i funcionals, gràcies a la varietat de recursos com polsadors, interruptors, *siders*, leds, etc... amb els que compta. Al ser una HMI, permet establir comunicacions amb l'IPC, el qual facilitarà que les dues visualitzacions pugin coexistir.

Per altra banda, la visualització de la pantalla tàctil es crearà en WebVisu, el qual és un entorn de desenvolupament de interfícies de control propi de CODESYS, les quals s'executen a l'explorador web. Això permet desenvolupar visualitzacions que poden ser manipulades des de qualsevol dispositiu amb accés a internet. Ja que la pantalla HP821W anirà connectada per displayport directament al AC703, es farà servir un *AddOn* desenvolupat pels tècnics de l'oficina de Vilafranca per a que el propi controlador executi la visualització a l'explorador internament. Això és possible perquè el sistema operatiu del controlador es Linux.

Per a que les dos pantalles treballin conjuntament, s'ha creat un seguit de variables globals que es faran servir exclusivament per fer els canvis de finestra a les dos visualitzacions. Hi hauran dos tipus de variables: booleans i enteres. Les booleans es faran servir per generar flancs de pujada al prémer els diferents polsadors per canviar de pantalla i, quan aquests flancs de pujada ocorrin, es canviarà el valor de les variables enteres, les quals definiran quina finestra s'ha d'obrir.

InoTouchPad permet canviar tant la pantalla, com els valors de les variables enteres directament als polsadors després d'haver sigut polsats, pel que no cal fer servir les variables booleans. El que sí que s'ha hagut de fer és un script de Java que obre les diferents finestres per quan el canvi de finestra es faci des de WebVisu.

Per la part de WebVisu, s'ha hagut de crear un bloc per modificar els valors de les variables enteres. WebVisu permet assignar variables a cada finestra per poder fer un canvi d'una a l'altra depenent del valor d'aquesta, pel que a partir de la creació d'un nou bloc es canviaran els valors a partir dels flancs de pujada dels polsadors.

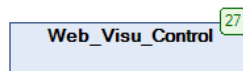


Figura 75. Bloc pel control de la visualització a WebVisu

El funcionament del bloc *Web_Visu_Control* és molt simple. Els polsadors per canviar de finestra canviaran el valor de les variables booleans i cada vegada que aquestes tinguin un flanc de pujada, els valors de les variables enteres canviarà.

5.2.3.2.3.1. InoTouchPad

InoTouchPad permet programar diferents tipus de finestres dins d'un mateix projecte: finestres simples, finestres *embedded*, finestres emergents i plantilles. Per la IT7070 es faran servir tots els tipus de finestres per satisfer les necessitats dels modes de moviment que s'han desenvolupat pel simulador. També compta amb múltiples opcions per desenvolupar la interfície de control.

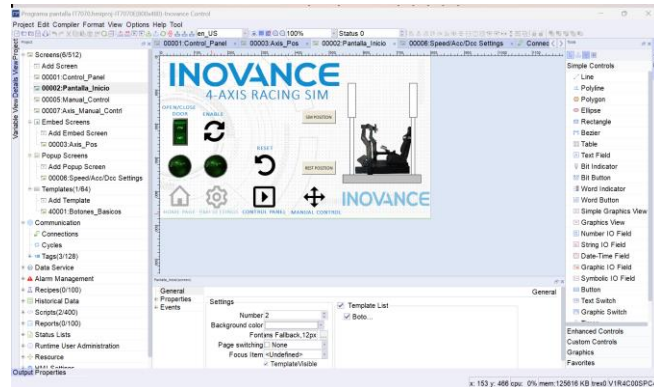


Figura 76. Entorn de programació de InoTouchPad

També es farà servir el protocol de comunicació OPC UA per controlar l'IPC des de la pròpia pantalla HMI. Per fer-ho, cal configurar les comunicacions.

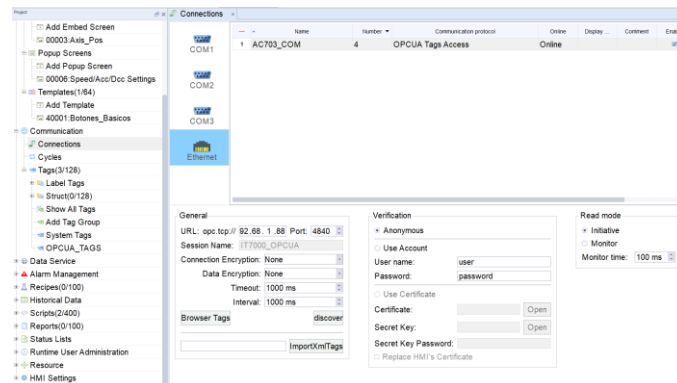


Figura 77. Configuració de les comunicacions a InoTouchPad

Per poder controlar l'IPC, caldrà afegir un *Symbol Configuration* al projecte en InoProShop per poder manipular les variables.

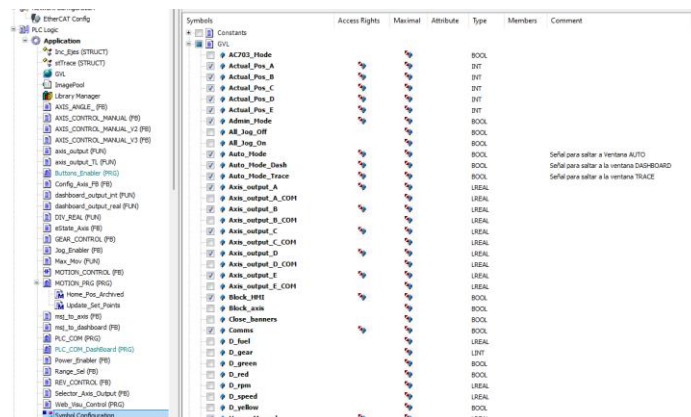


Figura 78. Symbol Configuration a InoProShop

5.2.3.2.3.1.1. Menú principal

Al menú principal (igual que al [menú principal de WebVisu](#)), es controlarà el tancament elèctric de la porta, el rearmament de la màquina i el posicionat a la posició de simulació i repòs de la màquina. Es compta amb una animació on es pot veure com el *cockpit* puja i baixa a les diferents posicions. Aquesta finestra també servirà de node entre les altres, ja que per canviar entre modes, s'haurà de retornar a aquesta finestra.



Figura 81. Finestra del menú principal

L'interruptor verd és l'encarregat de tancar elèctricament la porta de seguretat, mentre que el polsador *ENABLE* rearmarà el simulador si totes les condicions es compleixen. A continuació es pot veure la pantalla amb els leds encesos indicant que el simulador està rearmat.



Figura 82. Porta tancada i led de condicions de rearmament encés

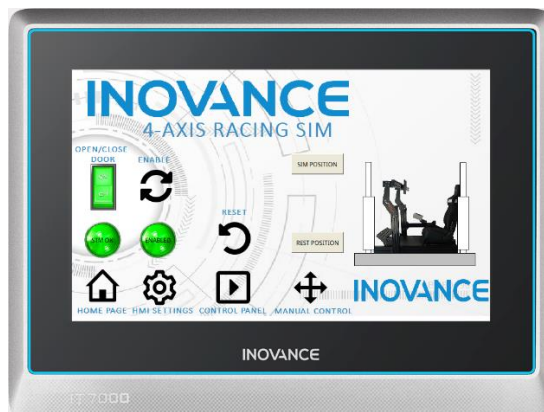


Figura 83. Sistema rearmat

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Al prémer el polsador *SIM POSITION*, el simulador pujarà a la posició de simulació i farà el *homing* si es la primera vegada que es posa en marxa. El polsador *REST POSITION* baixarà el simulador a la posició de repòs.

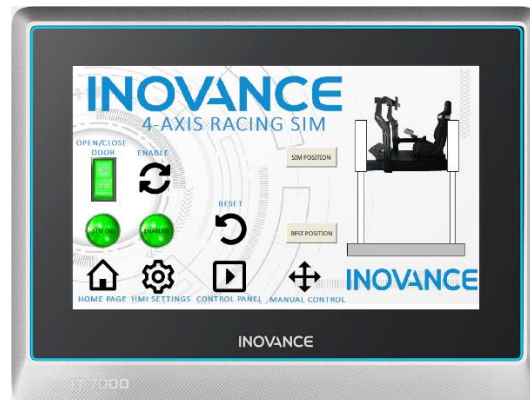


Figura 84. Animació en posició de simulació

A la part inferior de la finestra, es poden veure 4 polsadors:

- **HOME PAGE:** estarà fixe a totes les finestres i servirà per retornar a aquesta finestra.
- **HMI SETTINGS:** També estarà fixe a totes les finestres i permet accedir a la configuració de la pantalla HMI.
- **CONTROL PANEL:** Canvia a la finestra pel control del mode de simulació.
- **MANUAL CONTROL:** Canvia a la finestra pel control del mode JOG.

El polsador *RESET* permet deshabilitar l'estat d'emergència.

5.2.3.2.3.1.2. Mode de simulació

Al prémer el polsador *CONTROL PANEL* s'obrirà la finestra dedicada al control del mode de simulació.

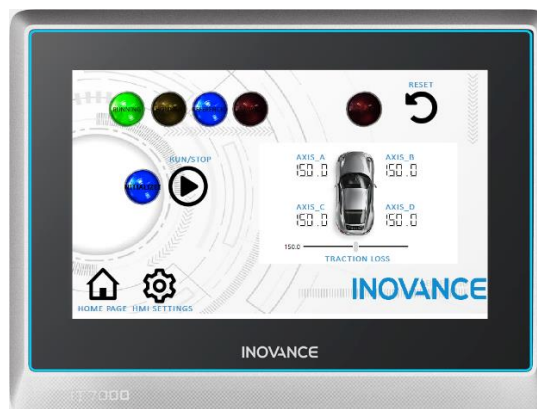


Figura 85. Finestra pel control del mode simulació

Aquesta pantalla solament compta amb dos elements d'entrada: l'interruptor de *RUN/STOP* que arranca i atura el [mode de simulació](#) tal com s'ha explicat anteriorment, i el polsador *RESET* per eliminar l'estat d'emergència. També compta amb 4 LEDs, els quals informen del que està passant durant la maniobra: el primer s'encén quan el mode de simulació està en marxa, el segon s'encén quan esta fent el *homing*, el tercer s'encén quan el motor lineal està referenciat i el quart s'encén quan s'està aturant el mode de simulació. També hi ha un cinquè LED que indica si els blocs estan inicialitzats.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

També compta amb una finestra *embedded* la qual mostra les posicions dels eixos en temps real, tant dels actuadors lineals com del motor lineal. La imatge del cotxe gira en funció de la posició del motor lineal per poder veure la inclinació d'aquest.

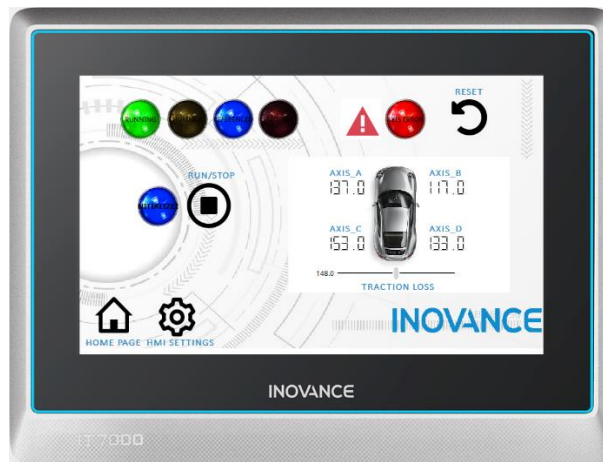


Figura 86. Finestra del mode de simulació amb errors

A la *Figura 86* es pot veure com es mostra l'estat d'emergència (senyal d'emergència) i l'error d'eix (LED vermell).

5.2.3.2.3.1.3. Mode JOG

Al prémer el polsador *MANUAL CONTROL* s'obrirà la finestra dedicada al control del mode JOG.

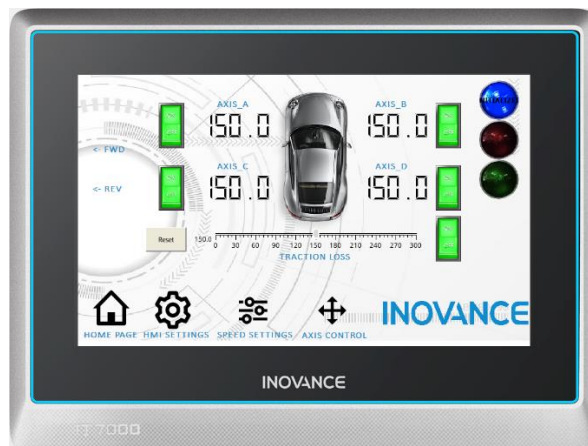


Figura 87. Finestra pel control del mode JOG

La finestra compta amb 5 interruptors per poder escollir els eixos que es volen moure. Els LEDs de la dreta indiquen el següent: el primer que els eixos estan inicialitzats, el segon que hi ha hagut un error d'eix i el tercer que el polsador “d’home mort” esta premut.

A l'esquerra de la pantalla es poden veure els texts “FWD” i “REV”, els quals indiquen el sentit de moviment dels polsadors físics.

El polsador RESET s'encarrega de retornar a la posició de simulació els eixos després de fer servir el mode JOG. Així no cal moure'ls manualment per tornar a la posició.

A la part inferior de la pantalla hi ha dos polsadors nous més: *SPEED SETTINGS*, el qual obre una finestra emergent on es poden modificar els valors de velocitat, acceleració i

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

desacceleració, i el pulsador *AXIS CONTROL*, el qual serveix per passar a la finestra pel control del mode 3DOF. Aquesta finestra també conté l'animació pel *Traction Loss*.

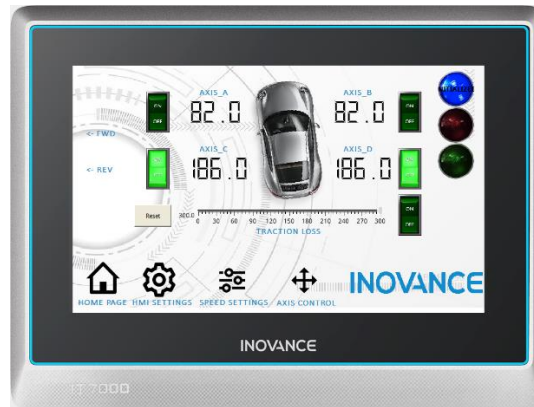


Figura 88. Posicions dels eixos modificades amb el mode JOG

També es poden veure les posicions dels eixos en temps real.

5.2.3.2.3.1.4. Mode 3DOF

Al prémer el pulsador *AXIS CONTROL* s'obrirà la finestra dedicada al control del mode 3DOF.

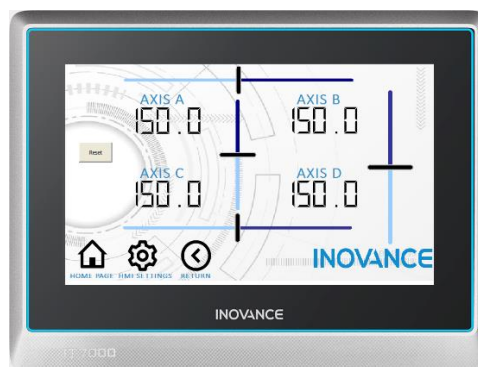


Figura 89. Finestra pel control del mode 3DOF

A la finestra trobem 4 *sliders* per moure els eixos combinant els moviments *Pitch*, *Roll* i *Heave*, a més del *Traction Loss*. El pulsador de *RESET* retorna els *sliders* a la posició de simulació, portant els eixos a aquesta posició també. Per poder moure el simulador amb aquest mode també cal prémer el pulsador "d'home mort". La finestra també mostra la posició actual dels eixos en temps real.

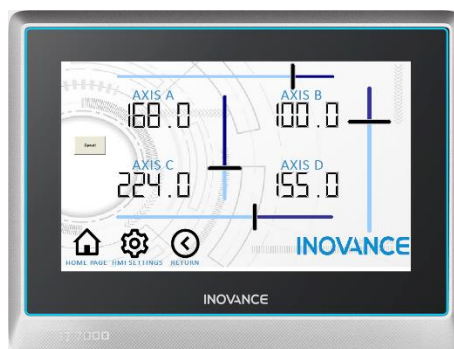


Figura 90. Posicions dels eixos modificades mitjançant el mode 3DOF

5.2.3.2.3.2. WebVisu

Per poder executar la visualització, cal afegir una visualització web al gestor de visualitzacions. Una vegada fet, s'haurà de configurar.

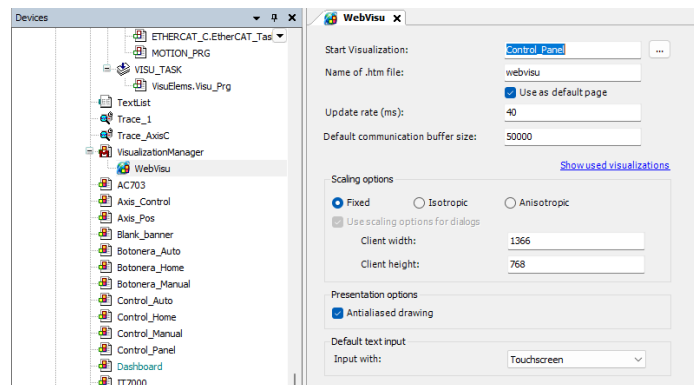


Figura 91. Configuració del WebVisu

Aquí es pot establir la visualització inicial i el nom de l'arxiu .htm, a més de poder definir la taxa de refresc i l'amplada del buffer. També permet establir la resolució de la visualització per poder ajustar-la a la de la pantalla. S'ha ajustat a les mides de la pantalla HP821W (1366x768).

Per poder crear la interfície de control, es faran servir els requadres o *frames* que proporciona WebVisu per intercanviar entre les diferents finestres.

Aquests *frames* permeten afegir referències a altres visualitzacions per canviar entre elles. Això es serà possible gràcies a les variables enteres que controlen la finestra que s'ha de mostrar, ja que les referències dels *frames* tenen assignats posicions segons l'ordre en el que són afegides al *frame*. Al assignar una variable al *frame*, aquest canviarà entre les referències afegides depenent del valor.

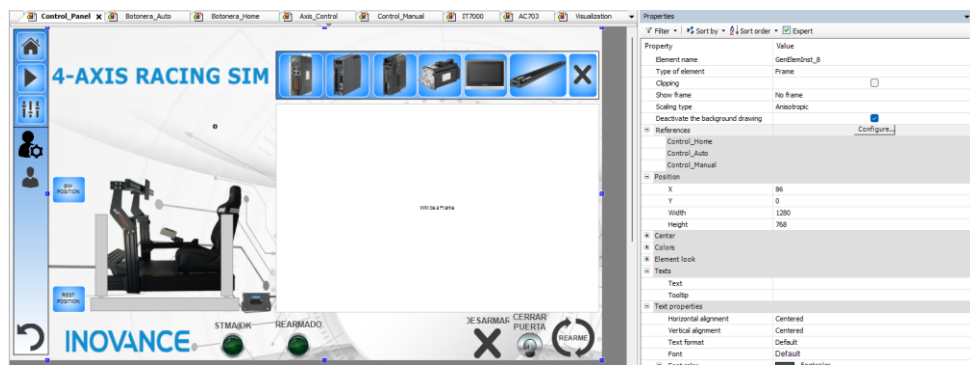


Figura 92. Configuració de les referències del frame

Com es pot veure, hi ha una llarga llista de paràmetres que es poden modificar tant al *frame*, com a la resta de paràmetres de control que es faran servir per l'interfície de control.

Tota la visualització es farà sobre una mateixa finestra amb un seguit de *frames* que aniran canviant segons el mode de funcionament que es vulgui controlar. La majoria de funcionalitats que s'han vist a les finestres de la pantalla HMI estaran les del WebVisu, pel que s'aprofundirà més en les funcions afegides.

5.2.3.2.3.2.1. Menú principal

El menú principal te les mateixes funcionalitats que el de la [IT7070](#).



Figura 93. Menú principal a WebVisu

La finestra compta amb els mateixos LEDs de la pantalla HMI per indicar que les condicions són correctes i que el sistema està rearmat. També compta amb els interruptors per obrir/tancar la porta, rearmar el sistema o deshabilitar l'estat d'emergència. La animació del simulador pujant/baixant també es pot veure a aquesta finestra.



Figura 94. Menú principal amb baners dels productes

Es poden observar una sèrie de pulsadors a la part superior dreta de la finestra, els quals s'encarreguen de mostrar a la pantalla els baners promocionals dels productes Inovance que s'han fet servir al simulador.

Els pulsadors per poder navegar entre els modes estan situats a la part superior esquerra de la finestra, seguint aquest ordre: el primer per obrir el menú principal, el segon per passar al mode de simulació i el tercer per passar al mode JOG.

Els dos últims pulsadors s'han afegit per passar de mode administrador a mode usuari. Aquests modes s'han creat per impedir el control a la pantalla HMI a les fires o demostracions on es porti el simulador, amb l'objectiu d'evitar un mal us del simulador o qualsevol tipus d'accident. El primer dels dos activa el mode administrador, on funcionen les dues pantalles i el segon activa el mode usuari, que inhabilita la pantalla HMI.

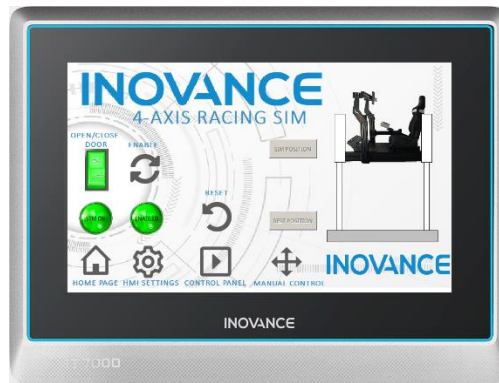


Figura 95. Pantalla HMI inhabilitada pel mode usuari

5.2.3.2.3.2.2. Mode de simulació

La finestra pel control del mode manual és més complerta que la de la HMI, ja que a la pantalla HP821W hi ha més espai amb el que treballar. Compta amb les mateixes funcionalitats, però mostra més informació a la pantalla.

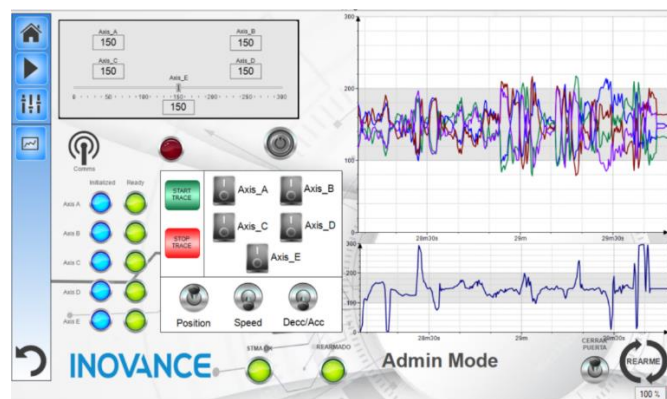


Figura 96. Finestra del mode de simulació

Es pot observar dues gràfiques a la dreta, on es poden veure els moviments dels eixos. La taula superior és pels actuadors lineals, mentre que la inferior és pel motor lineal.

Es poden afegir tots els eixos o bé visualitzar solament els que més interessa, gràcies als interruptors a l'esquerra de les gràfiques. També es poden visualitzar les corbes d'acceleració i de velocitat dels eixos.

També es pot veure quan les comunicacions estan activades i s'està rebent missatges de SimTools mitjançant el símbol *COMMS*. Aquest parpellejarà quan no s'estan rebent missatges i es quedarà fixe quan si es reben.

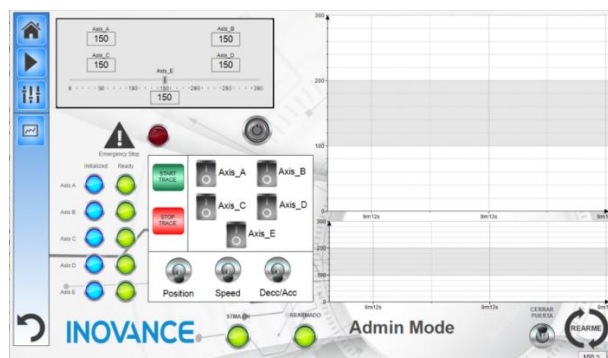


Figura 97. Finestra del mode de simulació amb error d'emergència

5.2.3.2.3.2.3. Mode JOG

Al prémer el pulsador del mode JOG, s'obrirà la següent finestra:

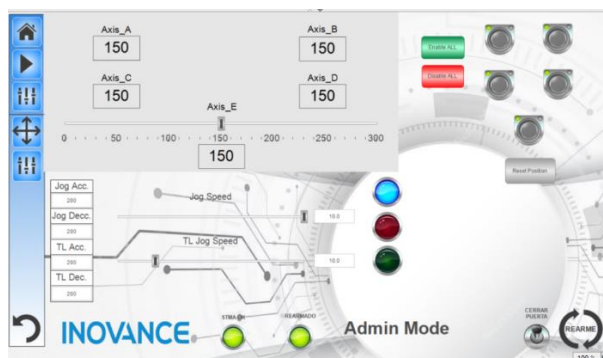


Figura 98. Finestra del mode JOG

Es poden actualitzar els paràmetres dels eixos per la velocitat, acceleració i desacceleració al mode JOG, a més de poder escollir els eixos que es volen moure. Aquesta pantalla serveix per tenir un cert control sobre el que es fa amb el mode manual, però depèn dels pulsadors al *cockpit*. També es mostra la posició en temps real dels eixos.

5.2.3.2.3.2.4. Mode 3DOF

Amb aquesta finestra passa el mateix que amb la del mode JOG, ja que té les mateixes funcionalitats que les de la HMI i depèn també dels pulsadors del *cockpit*, però solament del pulsador “d’home mort”, ja que les posicions s’establiran mitjançant els *sliders*.



Figura 99. Finestra del mode 3DOF

5.3. Disseny, fabricació i muntatge de la mecànica

El disseny de la mecànica ha estat la part més complicada de dur a terme, ja que inicialment cal fer una recerca sobre els diferents tipus de simuladors de moviment que existeixen i trobar la solució que més s’adapti al projecte. Això és solament el primer pas, ja que serveix per tenir una idea inicial, però cal desenvolupar-la, el qual ha fet que es passi per un seguit de versions diferents, amb canvis grans en el funcionament de l’estructura o petits canvis en alguna peça que acaben comportant modificacions a altres parts.

Durant aquest punt, es podrà veure la progressió i polit de la mecànica, passant per diferents versions amb diferents mètodes de solucionar els problemes mecànics que s’han plantejat. També es veurà el material escollit i el perquè, i com a afectat al disseny de les parts mecàniques del simulador.

5.3.1. Recerca

La gran part de les idees que s'han aplicat pel disseny de la mecànica s'han extret de simuladors de moviment que es poden adquirir al mercat, o de projectes petits que comparteix la comunitat de SimRacing al fòrum de xSimulator. Al llarg d'aquest es podrà veure d'on s'ha agafat la inspiració per acabar conformant el disseny final.

El primer que es va fer va ser estudiar l'infinitat de projectes particulars que es poden trobar al fòrum xSimulator, dedicat completament al SimRacing i la simulació de moviment. Aquí es poden trobar simuladors de moviment dissenyats i construïts per la comunitat, i van des dels simuladors més senzills de 2DOF, fins sistemes de moviment de 6DOF.

Tot i que durant la recerca s'han estudiat simuladors de moviment de diferents graus de llibertat, a la explicació ens centrarem en els simuladors més complexos.

La solució més comú per un sistema de la complexitat d'aquest projecte és la f'un simulador de 6DOF, amb un disseny molt semblant a un robot delta, ja que permet simular tots els moviments amb una mecànica compacta.



Figura 100. Disseny de sistema de moviment de 6 eixos

Aquests sistemes normalment fan servir motors de corrent continua amb un sistema de biela i cigonyal per transformar el moviment angular en lineal. Aquests sistemes són relativament fàcils de construir, ja que hi ha molta informació sobre com construir un a internet. Al ser tant compactes i complerts són una molt bona opció, però estan més pensats per la simulació d'aviació, que per la de conducció. Per això, i per la poca robustesa i durabilitat de la mecànica, queda descartat com a possible base pel disseny.

S'ha de recordar que el sistema ha de ser robust i durador ja que es farà servir a exposicions i fires, pel que estarà en funcionament durant moltes hores.

Per poder saber quina és la millor forma de simular el moviment d'un cotxe, cal pensar en com es generen els moviments que volem simular a un cotxe real. Al final, si es pensa en un cotxe com un sistema de moviment, compta amb 4 eixos de moviment, les rodes.

És per això que els simuladors dedicats a la simulació d'un cotxe de carreres més comuns són els de 3 i 4 DOF. Aquests simuladors compten normalment amb 4 eixos, els quals consisteixen en servomotors que transmeten el moviment a un actuador lineal per transformar el moviment angular en lineal. Aquests eixos es posicionen on estarien les rodes a un cotxe normal, ja que les rodes són el punt de contacte amb l'asfalt del cotxe. El moviment del vehicle és una combinació entre com interactuen les rodes amb la pista (sots, pianos, canvis de rasant, peralts, etc...) i les forces que es generen al circular a altes velocitats (força centrífuga, energia potencial, etc...).

DISSENY DE LA SOLUCIÓ



Figura 101. Sistema de 4 eixos i 3DOF

La *Figura 101* és un exemple d'aquest tipus de configuració, però és la més interessant ja que a partir d'un *cockpit* comercial i uns actuadors lineals fixats a aquest, obtenim un simulador de moviment compacte de 3DOF (*Pitch/Roll/Heave*). El problema està en que no es pot reproduir el *Traction Loss/Yaw* mitjançant aquesta configuració.

Al mercat es poden trobar diverses opcions que aconseguen simular la pèrdua de tracció, la més comú és l'addició d'un eix més, aquesta vegada orientat horitzontal i perpendicular al eix transversal del simulador. Aquest va fixat a una base, i el final de l'actuador agafat al *cockpit*. A partir de pujar la configuració de la *Figura 101* a una plataforma mòbil rota respecte un eix, es pot aconseguir simular l'efecte.



Figura 102. Sistema de moviment T1000 5M de PROSIMU

A la *Figura 102* es pot veure el model T1000 5M de PROSIMU, el qual a servit de base pel disseny de tota la mecànica, ja que compleix amb totes les especificacions definides inicialment, en una mecànica senzilla, robusta i modular, ja que el sistema pot funcionar sense la pa base inferior.

La combinació dels dos exemples anteriors seran la base pel disseny de la mecànica d'aquest projecte. Per tant, la idea serà buscar un *cockpit* de perfil·leria per poder fixar una estructura senzilla on aniran els actuadors lineals amb els servomotors. Posteriorment, es dissenyarà un mòdul addicional per la pèrdua de tracció. Així obtindrem un simulador funcional ràpidament, sense comprometre avançar amb el software de moviment, ja que si el mòdul de pèrdua de tracció s'ha de redissenyar, no compromet la resta d'eixos.

5.3.2. Cockpit

Com que l'objectiu és aconseguir un simulador modular, el qual pugui funcionar sense el mòdul addicional per la pèrdua de tracció, caldrà buscar un *cockpit* de perfil·leria al qual es pugui muntar una estructura senzilla on fixar els actuadors lineals, a més de la resta de la perifèria (pantalla, volant, pedals...). Ha de ser robust, ja que suportarà molta inèrcia durant la simulació, pel que les fixacions han de ser fortes. També es busca que sigui ajustable, ja que la idea és que es pugui pujar qualsevol persona.

Ja que existeix la possibilitat de dissenyar el *cockpit* a partir de perfil·leria d'alumini, al final es va optar per adquirir un de comercial, ja que molts es fan servir com a base per sistemes de moviment. Es prendran com a possibles eleccions els *cockpits* que es poden

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

veure a la *Taula 3* del punt [3.1.3](#), ja que són els més coneguts dins d'aquest nínxol de mercat i els productes són d'alta qualitat.

Es van considerar tres models com a possible *cockpit* del simulador: el GT1 EVO Sim Racing Cockpit de Sim Lab, el TR160 MK4 de Track Racer i el PRIME Cockpit de GTOmega.

Els tres models compten amb perfils d'alumini gruixos, el qual dona més robustesa a tota l'estructura. També permeten escollir entre diferents seients de tipus baquet, seients els quals es fan servir als cotxes de competició ja que subjecten a l'ocupant molt més que seients normals en front les forces centrífugues que es donen a altes velocitats. A més, compten amb suports per pantalles, els quals han estat dissenyats per ajustar-se específicament als models anteriors, pel que no caldria dissenyar un suport nou.

Dins d'aquestes tres opcions, la que menys punts a favor té sobre les altres és el GT1 EVO Sim ja que, tot i que és el que compta amb el preu més baix, és el que compta amb l'estructura menys robusta de les opcions. Es va fer una comparativa de preus entre els dos restants. A partir d'aquí, es va veure que el TR160 MK4 té un preu superior enfront el PRIME Cockpit, tenint una estructura pràcticament igual i amb els mateixos accessoris. A més, Track Racer situa la seva seu a Estats Units, i no compta amb seu a Europa, pel que el transport del *cockpit* encarriria molt més el preu final, pel que finalment, l'escollit ha estat el PRIME Cockpit



Figura 103. PRIME Cockpit de GTOmega

Compta amb compatibilitat per la majoria de perifèrics del mercat i es capaç de suportar fins a 200 kg, pesant solament 45 kg i mesura 137x58x79 cm. Està fabricat a partir d'alumini anoditzat i permet ajustar totes les peces per adaptar-ho a la posició de conducció més adient.

5.3.3. Actuadors

Un actuador lineal és un dispositiu que converteix el moviment rotatiu d'un motor en moviment lineal. Hi han de diversos tipus: hidràulics, pneumàtics, elèctrics amb cargol, De cinta o corretja...

Els més adients pel tipus d'aplicació i motor són els elèctrics amb cargol. Quan el motor fa girar el cargol, una femella acoblada al mateix es desplaça endavant i endarrera, produint així un moviment lineal precís i controlat. Aquest tipus d'actuadors ofereixen un control precís del moviment lineal, poden generar forces elevades gràcies al mecanisme del cargol i la seva fiabilitat és molt alta, ja que són molt robustos i tenen una llarga vida útil amb un manteniment mínim.

Inovance no fabrica actuadors lineals, però els encarrega fabricar a mida pels seus servomotors. L'empresa dedicada a la fabricació dels actuadors lineals és Unimotion.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Són coneguts per la seva alta qualitat i precisió i ofereixen una àmplia gamma de solucions que s'utilitzen en diverses aplicacions industrials. Compten amb un alt nivell de precisió en el control de moviment i estan dissenyats per ser duradors i fiables.

A partir d'una reunió amb un dels seus tècnics, es va escollir el model més adient per les necessitats del projecte. El model d'actuador és el PNCE 63-BS-2510-350-S-F. Les seves especificacions són les següents:

Cargol (d x l) [mm]	C [N]	F_{max} (eix) [N]	M_p [Nm]	v_{max} [m/s]	n_{max} [min⁻¹]	M₀ [Nm]	S_{min} [mm]	S_{max} [mm]	a_{max} [m/s²]
25 x 10	15800	15800	28	0,45	2700	0,55	40	350	20

Taula 21. Especificacions del actuador lineal PNCE 63-BS-2510-350-S-F

Com es pot veure als càlculs per escollir el servomotor, el pas mínim necessari per l'actuador lineal era de 6 mm. La *Taula 21* mostra que la velocitat lineal màxima de l'actuador lineal és de 0,45 m/s per una velocitat angular màxima de 2700 rpm, pel que hi ha bastant marge d'actuació, ja que la velocitat requerida pel projecte es de 0,3 m/s.

També es pot observar com la càrrega dinàmica C que poden suportar és molt superior a la que realment hi haurà, pel que s'assegura que els actuadors lineals no patiran molt estres durant la simulació.



Figura 104. Actuador lineal PNCE 63-BS-2510-350-S-F

Al final de l'actuador s'ha optat per posar una femella. Com el xassís conformat pels actuadors lineals i el *cockpit* ha de ser independent del mòdul per la pèrdua de tracció, s'han escollit uns finals amb femella per poder rosar unes potes, pel que els actuadors aniran directament a terra.

5.3.4. Versions anteriors

Com és normal durant un procés de disseny, hi ha hagut diverses versions de la mecànica.

Les versions inicials partien de la base de fer servir un actuador lineal per simular el moviment de la pèrdua de tracció, però amb l'aparició de l'oportunitat de fer servir un motor lineal, es van adaptar a aquesta nova idea, ja que simplificava bastant la mecànica.

El software fet servir pel disseny dels models 3D ha estat el Autodesk Inventor Professional 2024, ja que es un programa amb el qual ja es té experiència prèvia.

5.3.4.1. V1

La primera versió va ser la que va servir de base per tota la resta, ja que molts elements que es van dissenyar aquí, es van mantenir fins la versió actual, fent petites modificacions.

Va ser a aquesta versió on va sorgir la idea de fer servir tubs rectangulars estàndard a la major part de la estructura, per tal de facilitar tant la fabricació com el muntatge.

També és on es van dissenyar els suports pels actuadors, disseny que encara es conserva a la versió actual. Es tracta d'un tub rectangular amb dues seccions quadrades a la part superior per on passarien els actuadors lineals. També compta amb una sèrie de forats a la part superior per on es fixarà el suport al *cockpit*. Això serà possible a que el *cockpit* està fet amb perfil·leria, el qual permet fer servir una sèrie de passadors amb rosca a tots els rails dels perfils, als quals es fixarà el suport.

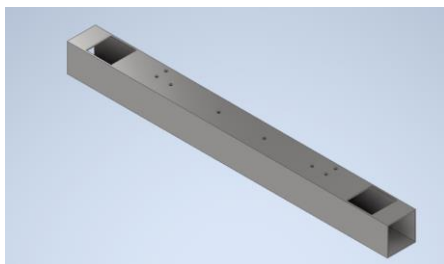


Figura 105. Part superior del model 3D del suport pels actuadors lineals

Als extrems de la part inferior, hi ha dos seccions circulars per a que acabi de passar el motor lineal. Al voltant d'aquestes seccions, hi han quatre forats a cadascuna, destinats a fixar l'actuator al suport. Els actuadors compten amb forats roscats, els quals coincideixen amb els del suport. També es pot observar com hi ha diverses seccions el·líptiques, les quals estan pensades per poder facilitar el muntatge.

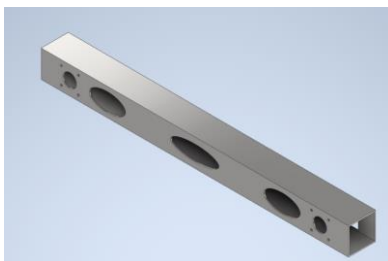


Figura 106. Part inferior del model 3D del suport pels actuadors lineals

A continuació, es pot veure com queden els actuadors fixats al suport. A més, es pot veure un rectangle fet amb perfil·leria, el qual ve a representar la base del *cockpit*. Per tal de no haver de modelar tot el *cockpit*, solament es va fer la base amb les mesures reals per poder veure on s'havien de fer els forats al suport pels actuadors per tal de fixar aquest al *cockpit*.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

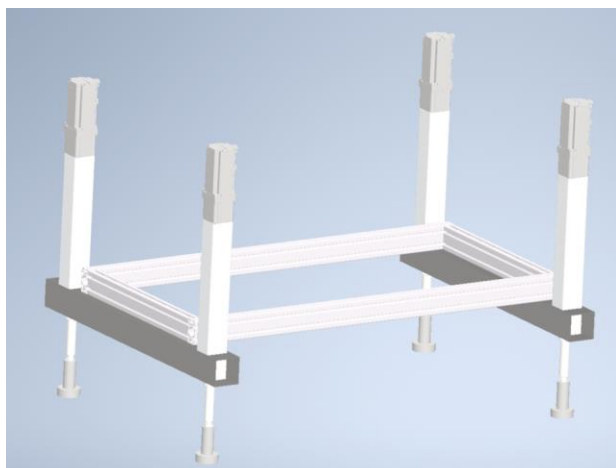


Figura 107. Model 3D dels actuadors i la base del cockpit fixats als suports

Amb aquest suport fet, ja es podria començar a fer proves reals amb el simulador, ja que som s'ha explicat anteriorment, aquesta part és totalment independent del mòdul per la pèrdua de tracció. Com es pot observar, al final dels actuadors s'han posat uns prototips de pota. La idea es fer servir un tipus de pota industrial amb una base de goma. Aquesta pota compta amb una vara roscada, la qual es faria servir per fixar-la a la femella del final de l'actuador lineal.



Figura 108. Pota de goma pel final de l'actuador lineal

Al tenir una base de goma, podria rotar sobre si mateixa amb llibertat i sense fer patir els actuadors. El problema amb aquest tipus de pota era que les rosques eren massa petites, ja que la femella del actuador lineal és de mida M16, mentre que la pota de goma té una rosca de mida M12. Es podria agafar una pota de goma més gran, amb una rosca M16, però la base seria massa gran el qual comportaria problemes amb el mòdul de pèrdua de tracció. Per poder adaptar la pota a l'actuador lineal, es va dissenyar una peça adaptadora:

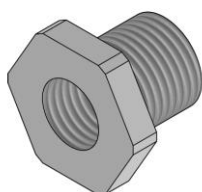


Figura 109. Peça adaptadora M12 a M16

La peça te una rosca exterior de mètrica M16 i una interior de M12, pel que la peça pot entrar al actuador i es pot passar la pota per la rosca interna.

Per poder unir les dues parts del simulador, el mòdul per la pèrdua de tracció compta amb uns contenidors on s'allotjarien les potes de goma, permetent un cert moviment d'aquestes, però contenint-les a un espai tancat per a que el xassís del simulador no es pogués despendre amb el primer moviment del mòdul.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

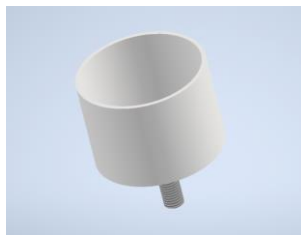


Figura 110. Contenidor per les potes de goma

Aquests contenidors es mantindran fins la versió final, però han estat modificats per ser més fàcils de fabricar, ja que es tracta d'una peça composta per diferents parts soldades.

A la imatge inferior es pot veure la primera versió del mòdul de pèrdua de tracció. Està constituïda per una base a partir de tubs rectangulars de diferents mides però mateixa altura, les quals aniran soldades per donar més integritat estructural.

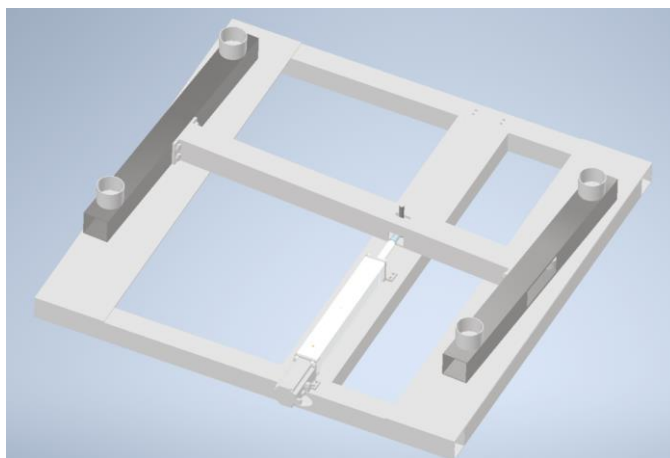


Figura 111. Primera versió del mòdul per la pèrdua de tracció.

A sobre de la base es pot veure una estructura en forma de "H". Aquesta és la part mòbil del mòdul. La base fixa contarà amb una rosca soldada la qual farà d'eix. Mitjançant un forat al centre de les bigues laterals de la "H", s'introduirà l'eix a la part mòbil a un dels costats, mentre que l'altre anirà lliure per permetre el moviment lateral.

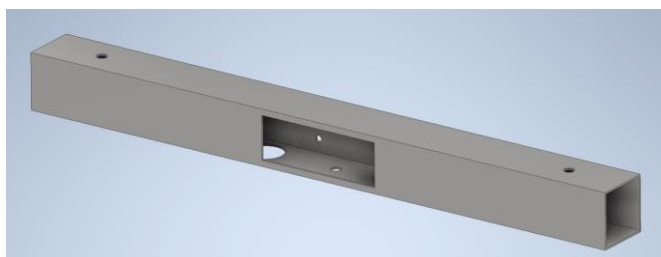


Figura 112. Vista frontal de les bigues de la part mòbil

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

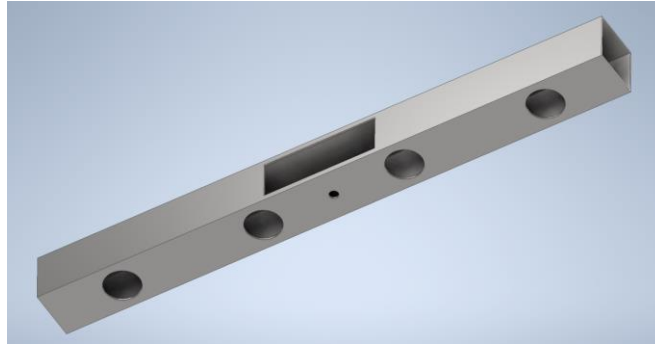


Figura 113. Vista inferior de les bigues de la part mòbil

A sota de les bigues dels costats hi ha uns forats on aniran allotjades unes boles de transferència.



Figura 114. Boles de transferència

Aquestes boles de transferència són capaces de suportar càrregues molt altes, de fins a 160 kg cadascuna. Cada biga lateral comptarà amb 4 boles de transferència (8 en total) per tenir suficients punts de contacte amb la base fixa, la qual tindrà dues planxes a cada extrem per on podran rodar.

Aquestes planxes són de la mida exacta per a que la part mòbil no pugui sortir. El moviment, com es pot veure a la *Figura 111*, vindrà donat per un actuator. Aquest actuator tindria una rosca mascle al final, per poder acoblar una ròtula, a la que s'introduiria una vara roscada. Aquesta vara roscada es la que es pot veure sobresortir a la biga transversal, la qual també uneix les dos bigues laterals. Com que el actuator del mòdul anirà fixat a la base, s'haurà de fer un colís a la biga transversal de la part mòbil per donar una certa tolerància. Com que el recorregut del actuator també serà de 300 mm, cal que la meitat del recorregut quedi al centre de la base, però el actuator és més llarg que el seu recorregut màxim, pel que cal desplaçar-lo cap un dels costats. A causa d'això, l'actuator sobresortiria massa, pel que els eixos de gir no estan exactament al centre de la base fixa. Això porta a una base que sobrepassa els límits establerts a les especificacions del projecte.

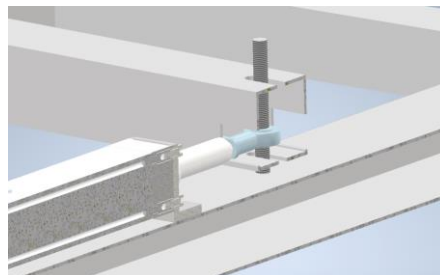


Figura 115. Vista detall del final de l'actuator amb la ròtula actuant a la biga transversal

El resultat final, amb el xassís superior muntat sobre el mòdul per la pèrdua de tracció seria el següent:

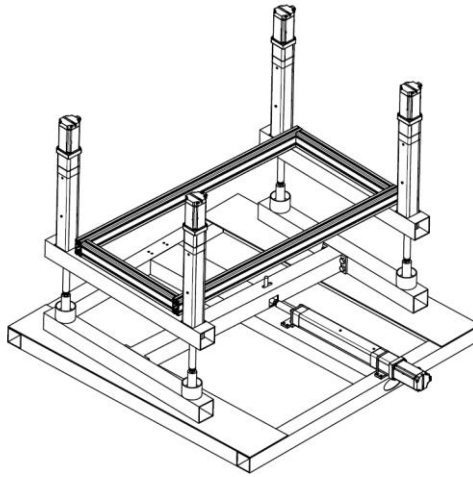


Figura 116. Primera versió de la mecànica conjunta

5.3.4.2. V2

Mentre es dissenyava aquesta segona versió encara no s'havia descartat l'anterior, però es volia provar a veure com seria una versió fent servir el motor lineal per transmetre el moviment. La filosofia del mòdul per la pèrdua de tracció era la mateixa: una base fixa amb xapes on lliscaria la base mòbil mitjançant unes boles de transferència.

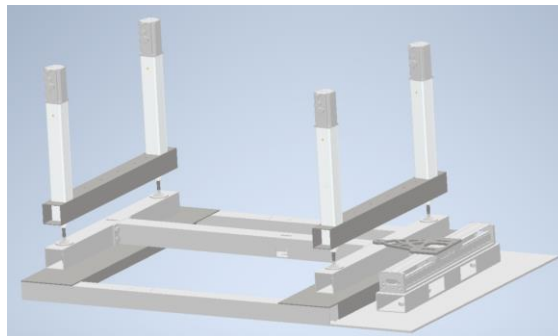


Figura 117. Vista general de la versió 2 del mòdul per la pèrdua de tracció

Com es pot veure a la *Figura 117* s'han eliminat els cilindres contenidors per les potes dels actuadors i s'han canviat aquestes potes per unes diferents. Aquest tipus de pota aniria fixat a les bigues dels laterals de la part mòbil, però compten amb una ròtula que permet angles de gir de fins a 15°.



Figura 118. Potes amb ròtula

Al final aquest tipus de pota s'acabaria descartant i es tornaria al sistema anterior amb els contenidors per les potes de goma lliures. Això és perquè la idea de fixar els actuadors era perillosa perquè amb moviments bruscos laterals podria aixecar la part mòbil del mòdul per la pèrdua de tracció al estar fixat a aquesta, podent ocasionar un accident. Amb l'altra solució es deixa més lliure el final de cada actuator, que pel propi pes del *cockpit* i l'ocupant es mantindrien al lloc i, en cas d'aixecar-se, no aixecaria la part mòbil del mòdul, a més que les altres tres potes compensarien el moviment.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

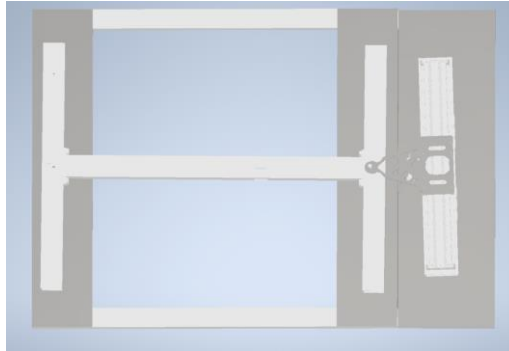


Figura 119. Vista superior de la versió 2 del mòdul de pèrdua de tracció

Com es pot veure a la *Figura 119*, al haber fet servir el motor lineal a la part posterior del mòdul, els eixos de gir queden centrats amb la base fixa, pel que no cal fer una base tant llarga com a l'anterior versió, fins i tot reduint-la el suficient per poder complir les especificacions de estar dins d'un àrea de 2 x 1,5 m.

La major part de la part mòbil del mòdul es igual que a l'anterior versió, excepte que ara l'eix sobre el que actua el motor lineal està a una de les bigues laterals.

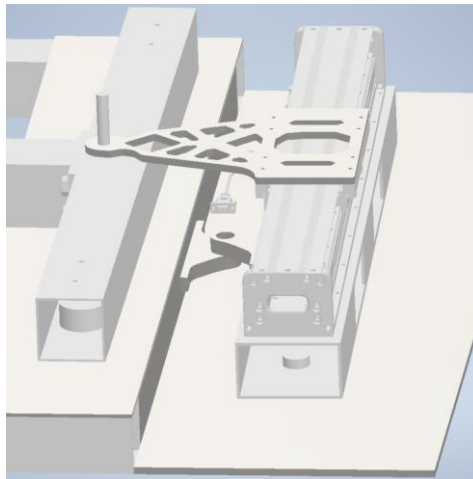


Figura 120. Estructura per transmetre el moviment lateral amb el motor lineal

Per tal de desplaçar de costat a costat la part mòbil del mòdul, es va dissenyar una peça que aniria fixada a l'eix del motor lineal per un extrem, mentre que al final d'aquesta peça hi hauria una vara roscada, la qual actuaria sobre un colís a la biga sobre la que faria contacte, transmetent el moviment de la mateixa forma que com es faria amb el actuador lineal de la primera versió.

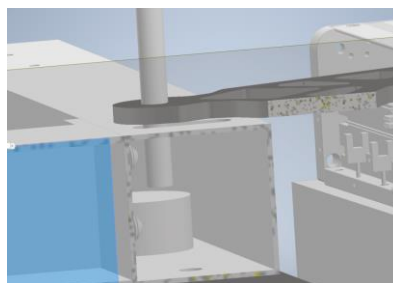


Figura 121. Vista detall del motor lineal actuant sobre el colís

La peça encarregada del moviment és un model que s'ha generat a inventor fent servir una funcionalitat que permet extreure material d'una peça massissa sense comprometre

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

la seva integritat estructural. Finalment, aquesta peça no es va acabar fent servir ja que era massa complexa i podia encarrir el procés de fabricació. Tot i així va servir per aprendre a fer servir l'eina que, en un futur, podria servir per extreure pes de la resta de peces.

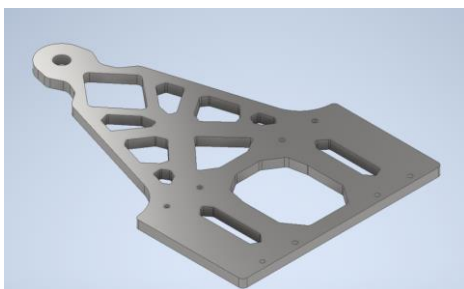


Figura 122. Peça connectora entre la part mòbil del mòdul i el motor lineal

A la *Figura 120*, es pot observar com el motor lineal està a sobre d'un tub rectangular, el qual compta amb una sèrie de boles de transferència, com la part mòbil del mòdul de pèrdua de tracció. Aquestes boles rodarien sobre una xapa que s'estendria per sota. També es pot apreciar com la biga del motor lineal està fixada a un eix conjuntament amb la base fixa del mòdul. Quan el motor lineal mogués el eix lateralment, transmetria el moviment a la part mòbil del mòdul i giraria paral·lelament a la part mòbil mitjançant aquest eix.

Aquesta segona versió es va acabar descartant, ja que implicava moltes parts mòbils que podien acabar sent perilloses, però va servir de base per les següents.

5.3.4.3. V3

La versió 3 serà l'última versió abans d'arribar a la versió actual. Amb aquesta iteració, es va refer el disseny per la part que correspon al motor lineal.

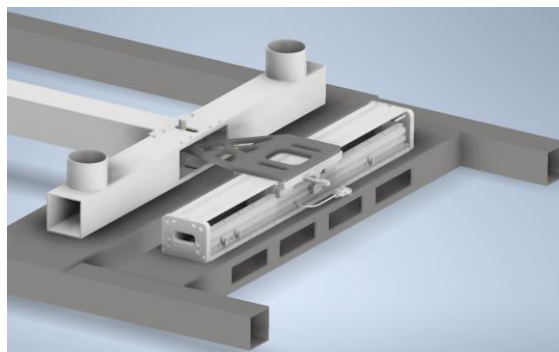


Figura 123. Nova versió del mòdul per la pèrdua de tracció

Com es pot observar, ara el motor lineal està fixe a un tub rectangular més ample que la resta. Això és per poder tenir espai per fixar-ho a la base mitjançant cargols. Aquesta base pel motor lineal anirà soldada a la base fixa del mòdul per la pèrdua de tracció, a la qual se li han allargat les bigues laterals. La nova base del motor compta amb una sèrie de forats per poder facilitar la fixació del motor.

El sistema de transmissió de moviment del motor lineal a la part mòbil del mòdul també ha canviat. El funcionament és el mateix que a les altres versions, mitjançant un colís a la base mòbil del mòdul, el motor lineal pot transmetre el moviment a partir de la peça que està fixa a l'eix del motor i una vara roscada.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Com es pot observar a la *Figura 122*, la peça connectora entre la part mòbil i el motor lineal sembla la mateixa, però aquesta vegada en comptes de anar a la cara superior de la part mòbil del mòdul, va a l'interior mitjançant una finestra.

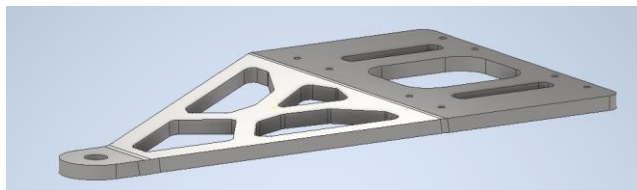


Figura 124. Nova versió de la peça connectora

A la *Figura 124* es pot veure com s'ha hagut de doblegar per poder baixar en nivell del eix en contacte amb el colís. També s'ha hagut d'allargar la peça per tal de mantenir l'abast de la peça anterior.

Com s'ha comentat anteriorment, aquesta peça es va acabar descartant ja que podia encarrir el procés de producció, pel que es va dissenyar una opció més senzilla:

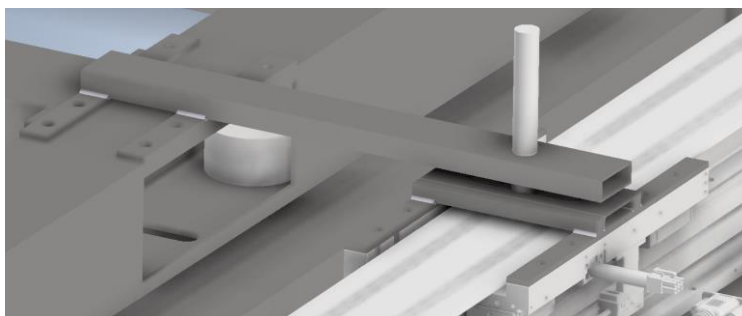


Figura 125. Nova versió per la transmissió de moviment.

En comptes de tenir la vara roscada que fa d'eix transmetent el moviment a la part mòbil del mòdul per la pèrdua de tracció, ara estava a la banda del motor lineal. Tot el sistema esta fet a partir de tubs rectangulars. La vara aniria soldada al tub més llarg per coincidir amb la peça fixada al motor lineal, la qual compta amb un colís, mantenint la mateixa filosofia que a totes les versions anteriors.

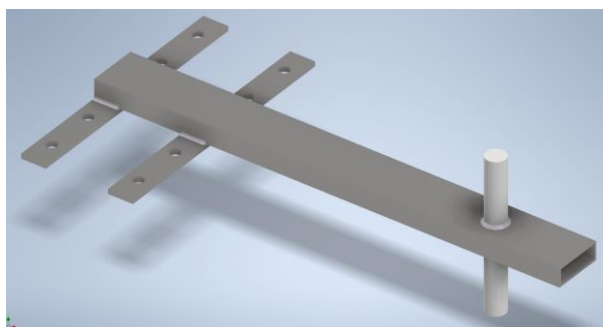


Figura 126. Peça per la transmissió del moviment de la part mòbil

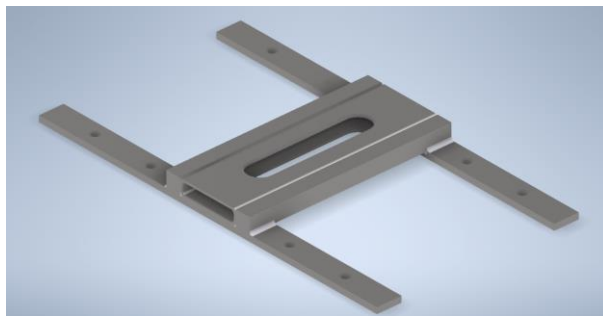


Figura 127. Peça per la transmissió de moviment del motor lineal

Aquesta seria l'última versió abans d'arribar a la versió actual. El sistema de transmissió de moviment del mòdul per la pèrdua de tracció es va millorar a la següent versió.

5.3.5. Versió actual (V6)

Aquesta es la última versió que es va dissenyar i es la que es va enviar a fabricar. Es va treballar amb Recam Làser, una empresa especialitzada en el tall amb làser i mecanitzat per aplicacions industrials.

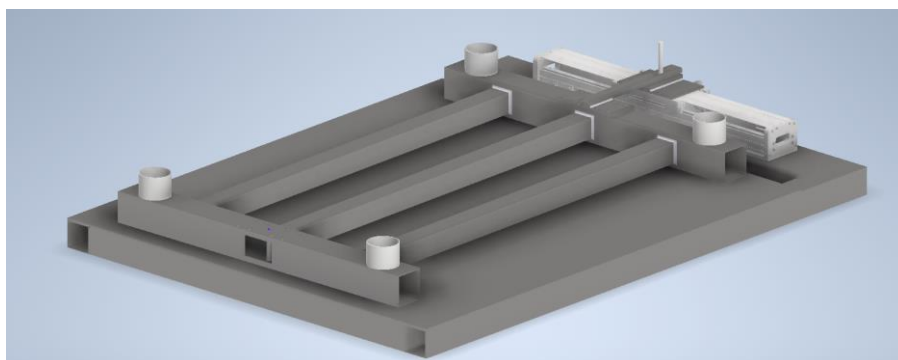


Figura 128. Versió actual del mòdul per la pèrdua de tracció

Tot i que és tracta gairebé de la mateixa versió que l'anterior, s'han introduït una sèrie de millores notables. A la *Figura 128* es pot observar com la part mòbil del mòdul compta amb tres bigues transversals en comptes d'una. Això ha estat una modificació per reforçar l'estructura, ja que a més, van soldades a les dos bigues dels extrems. També es pot apreciar com tota la base està coberta per una xapa, en comptes de les seccions concretes on lliscarien les boles de transferència. Aquest canvi es va fer per evitar possibles atrapaments, ja que al moure's tota l'estructura d'un costat de la base a l'altre, al afegir més bigues transversals es corria aquest perill. A més, afegia pes i robustesa a la base, el que evitava que es mogués durant la simulació. Tota la base va soldada entre si, tant la xapa com les bigues que la conformen, pel que és un bloc complet.

Per poder facilitar el transport de la mecànica, es van incorporar unes rodes especials a la base. Aquestes rodes funcionen tan com punts de fixació com a rodes per moure el simulador.



Figura 129. Rodas pel transport del simulador

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

Hi haurà una a cada cantó de la base, un total de 4. Aquestes rodes poden suportar fins a 250 kg cadascuna i estan destinades a ús industrial. Compten amb una rosca que permet aixecar el simulador per a que la roda deixi d'estar en contacte amb el terra, immobilitzant la base. A sota es ficarà una moqueta o un sòl tècnic per tal d'evitar lliscaments i no fer malbé el terra.

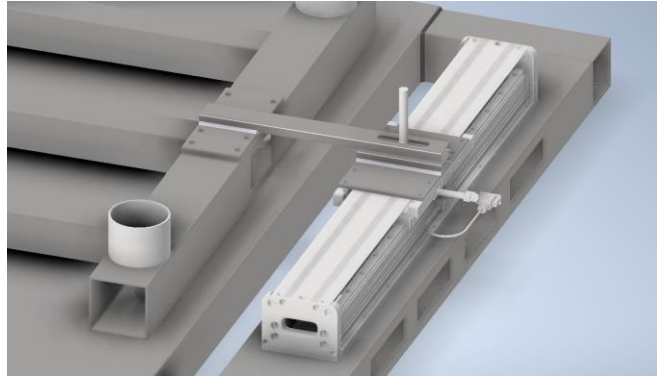


Figura 130. Versió actual per la transmissió de moviment del motor lineal

Per la part de la transmissió de moviment, es van escurçar les bigues laterals de la part fixa de la base per a que no sobresortissin.

També es va actualitzar les peces que connecten la part mòbil amb l'eix del motor lineal, soldant la vara roscada a la peça que va fixada al motor lineal i fent el colís al tub llarg fixat ala part mòbil del mòdul. Les bases per les fixacions de les dues peces es van fer una xapa completa per tal de donar més integritat estructural a la peça.

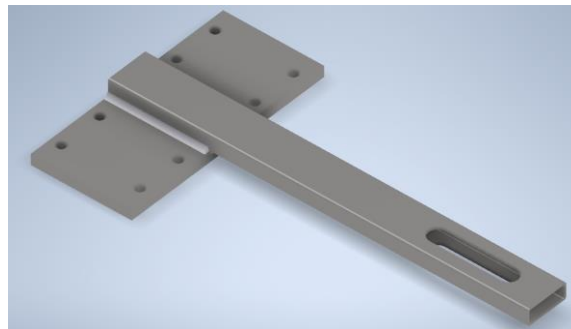


Figura 131. Peça per la transmissió de moviment per a part mòbil del mòdul

El colís és més llarg del que es necessita per evitar possibles problemes mecànics. A l'hora de fer el muntatge de les dos peces, s'inclourà un rodament que anirà a la vara roscada i per dins del tub llarg on hi ha el colís per tal salvar la distància que pot haver-hi entre les parets del colís i de la rosca, ja que es deixa una distància mínima. Al no fer servir un rodament, seria metall contra metall, el qual acabaria desbastant una o les dues peces. D'aquesta manera s'assegura la integritat de les peces i que no hi hagi toleràncies que ocasionin sorolls durant la simulació.

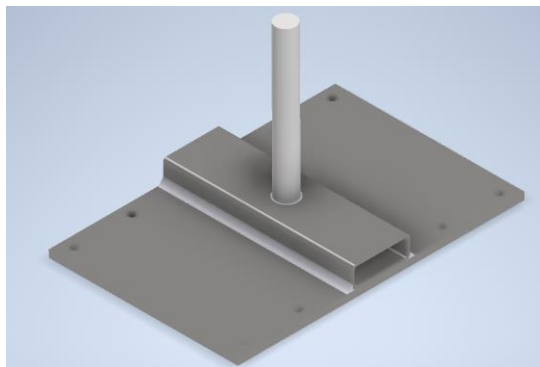


Figura 132. Peça per la transmissió del moviment per el motor lineal

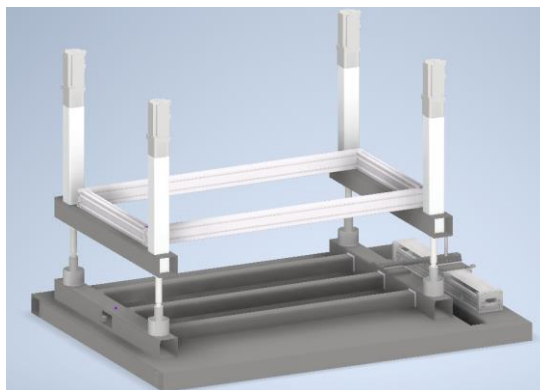


Figura 133. Model actual del simulador

5.3.5.1. Muntatge

Una vegada van arribar totes les peces i l'estructura, tocava muntar-ho tot per poder saber si la mecànica dissenyada era funcional o calia refer algunes parts.

Primer, es va muntar el *cockpit* amb els actuadors i el seu suport. Es van fer proves a terra per veure que la dinàmica del sistema funcionés correctament i per poder començar a ajustar els servomotors. També es va comprovar que el *cockpit* era capaç de suportar els moviments.



Figura 134. Part superior del xassís muntada amb els actuadors lineals

També es pot veure com s'ha integrat la pantalla HMI al simulador. El cockpit compta amb una placa per posar canvis de marxes manuals, pel que es va aprofitar per fixar una

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

carcassa pensada per pantalles de 7 polzades. També compta amb forats per poder posar polsadors, els quals farem servir per controlar el mode manual.



Figura 135. IT7070 fixada al cockpit amb els polsadors

Una vegada muntada la part superior del simulador, es van ficar les potes amb els adaptadors als actuadors lineals per veure el comportament.



Figura 136. Pota de goma amb els adaptadors de rosca

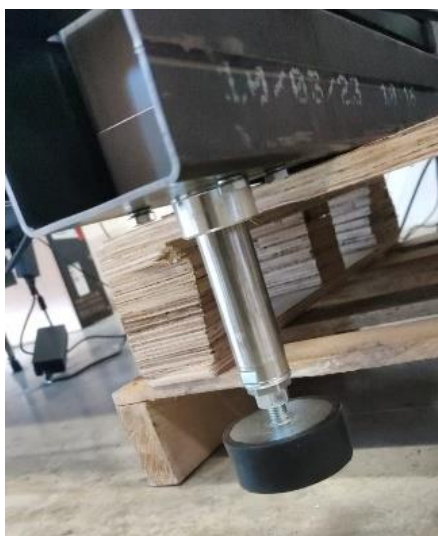


Figura 137. Pota al actuator lineal

Tot i que les potes funcionaven bé durant la simulació, no era la millor forma de entrar en contacte amb el terra, ja que amb inclinacions altes no tota la superfície de la pota estava en contacte amb el sòl, el qual feia que la rosca es doblegués una mica, el qual era perillós per la integritat dels actuadors.

Finalment no es van fer servir les potes. En substitució, es van posar uns cargols de mètrica M16 directament a la femella amb una funda de goma. Aquesta solució era molt més senzilla i fàcil de mantenir.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ



Figura 138. Nova solució per les potes del simulador



Figura 139. Xassís superior simulant Assetto Corsa

Es va comprovar que eren una millor solució, ja que al ser un punt de contacte més petit i estret, no comprometia la integritat del actuador amb inclinacions altes. A més, les gomes són bastant resistents i eviten que el simulador llisqui. Aquesta solució ha acabat sent la que s'ha fet servir finalment ja que es senzilla, barata i totalment funcional.

A la vegada que es feien les proves amb els actuadors lineals, es provava el motor lineal amb el mòdul de pèrdua de tracció.



Figura 140. Mòdul de pèrdua de tracció muntat

DISSENY DE LA SOLUCIÓ



Figura 141. Motor lineal fixat al mòdul amb el sistema de transmissió de moviment

Es va comprovar que la mecànica funcionava tal com s'esperava, pel que no caldria refer tota l'estructura. Solament quedava pujar el xassís superior sobre el mòdul per poder comprovar si el motor lineal era capaç de moure tot el sistema i veure si el mòdul era prou resistent com per suportar la simulació.



Figura 142. Tota l'estructura del simulador muntada

La mecànica dissenyada va resultar un èxit. El motor lineal era capaç de moure tot el simulador sense problemes, però també era capaç de frenar-ho. El major dubte que hi havia era si les noves potes es mourien molt dins dels contenidors, però gràcies a la goma no es desplaçava pràcticament.

Una vegada es va comprovar que tot funcionava correctament en conjunt, es va desmuntar per poder pintar les peces. Es va aplicar una capa d'imprimació a totes les peces i, posteriorment, es van pintar de negre setinat amb pintura per ferro. Prèviament a la pintura, es va passar una capa de dissolvent per totes les peces per treure tota la societat i netejar la superfície



Figura 143. Pintat de la mecànica

DISSENY DE LA SOLUCIÓ

La base fixa del mòdul per la pèrdua de tracció es va pintar amb pintura epoxi negra per la part de la xapa que estaria en contacte amb les boles de transferència. Es va fer servir aquest tipus de pintura per evitar fer malbé les boles o la xapa, ja que amb el moviment i el pes que suporten es podien fer malbé.



Figura 144. Resultat final del simulador

A la *Figura 144* es pot veure el resultat final del simulador. Com es pot apreciar, es va afegir la porta. Aquesta porta està feta amb un marc de perfils d'alumini. Al estar el *cockpit* construït amb perfils la porta queda perfectament integrada. Aquesta porta està fixada mitjançant dos frontissos les quals permeten obrir-la i tancar-la. A l'altre extrem de la porta es situa la sivella la qual s'introdueix a la tanca.



Figura 145. Sivella de la porta per la tanca de seguretat

El quadre situat a la part posterior del simulador a la *Figura 144* va estar muntat per una empresa dedicada a les instal·lacions i manteniment industrial. Es va fer servir un tipus de quadre especial el qual té una finestra de metacrilat a la porta per poder veure els equips que hi ha a l'interior. Això és va fer així per a poder mostrar els equips de Inovance a la fira.

Compta amb un suport per pantalles giratori a la part superior per poder tenir-la a mà a l'hora de mantenir el control del simulador. Al suport de la pantalla està l'altre polsador d'emergència.

DISSENY DE LA SOLUCIÓ



Figura 146. Quadre del simulador

La porta del quadre compta amb una finestra de metacrilat per poder veure tots els equip en funcionament.

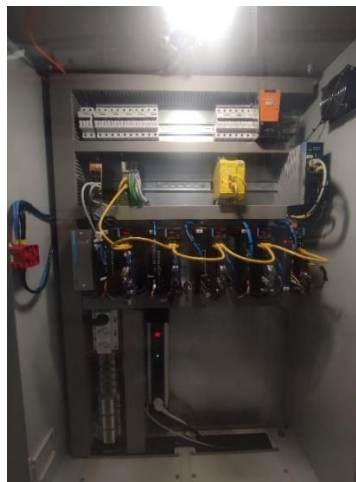


Figura 147. Interior del quadre

Per tal de fer-ho intuïtiu, la primera línia del quadre està dedicada al subministrament de tensió a totes les parts, dividint en una sèrie de 9 magneto tèrmics : els 6 primers destinats a la part de potència (servo accionaments i filtre), mentre que els 3 de la dreta són per la part de control (ILC, alimentació PC i endolls, mòduls d'entrada i sortida, PLC de seguretat). Tota l'alimentació es pot tallar mitjançant un seccionador que es troba per fora del quadre.

La següent fila es tota la part destinada al control, on es pot veure un *switch* a l'esquerra per permetre connectar-se al IPC al PC, la HMI i el portàtil per si cal fer alguna reprogramació. Tot comença des del AC703 (dreta), seguint pel PLC de seguretat de REER i acaba als mòduls d'entrades i sortides.

L'última fila està destinada a tota la part de potència. Es pot veure el filtre que s'ha fet servir pels 5 servo accionaments a l'esquerra del tot, seguit dels 3 SV660N, acabant al SV680L a la dreta del tot.

A la part inferior esquerra és on es faran totes les connexions que venen des del simulador a bornes. Aquí aniran els sensors de final de carrera, el cablejat de la tanca i el cablejat dels pulsadors de la pantalla HMI. Aquesta part també compta amb una sèrie d'endolls per poder connectar els perifèrics del simulador: pantalla, volant i PC.

L'espai que es veu a la part inferior dreta de la *Figura 147* està destinat al PC.

6. CONCLUSIONS

El desenvolupament del simulador de moviment de 5 eixos ha estat un projecte exitós que ha permès aplicar i expandir coneixements en automatització i control de sistemes.

Gràcies al treball de recerca realitzat prèviament, s'ha pogut adquirir molta informació sobre els diferents simuladors que existeixen, tant com dels productes que es poden trobar al mercat, el qual ha ajudat a desenvolupar una idea inicial sobre com ha de ser un simulador i el requisits mínims per poder aconseguir portar-ho a la realitat.

Gràcies a establir uns objectius clars, s'ha pogut treballar en els diferents apartats del projecte amb una idea concreta, el qual ha fet que el desenvolupament del projecte avanci molt més ràpid. Tenir una llistat de les tasques a realitzar per a cada punt clau del simulador permet treballar de forma modular. Això és molt beneficiós, ja que a partir d'un conjunt de tasques petites s'acaba aconseguint un objectiu més complex d'una forma més senzilla i descentralitzada.

El disseny de la solució ha estat un repte des del començament del projecte, ja que s'han hagut de realitzar investigacions i moltes proves en cadascun dels àmbits que involucren el simulador. Des del disseny d'una mecànica funcional, al desenvolupament d'un software pel moviment i una interfície de control, s'han hagut de superar molts reptes, els quals a base d'aplicar els coneixements adquirits i de demostrar constància a l'hora de enfrontar-los, s'han pogut superar.

La selecció del material i software seleccionat pel desenvolupament del simulador ha sigut crucial, ja que una mala decisió pot acabar limitant tot el projecte. És per això que s'ha hagut de ser rigorós en saber si tot el material que es vol fer servir és capaç de complir els objectius pels quals estan sent escollits.

El desenvolupament d'un software pel control del moviment i de les comunicacions ha estat un repte, ja que s'ha posat a prova la capacitat de poder generar un codi que compleixi amb el funcionament que s'espera de la màquina. Aprendre a fer servir l'entorn CODESYS ha permès treballar d'una forma modular i relativament senzilla, on es podia començar a fer proves amb un sistema més senzill i, a base d'afegir nous mòduls, s'han anat assolint les diferents necessitats del software que es demanava. També s'ha posat a prova la capacitat de controlar un sistema en temps real, amb l'optimització dels recursos que això implica per a poder executar tots els processos de forma eficient i ràpida. Un dels aspectes claus per aconseguir un software funcional ha estat el comprendre el funcionament dels servo accionaments i els seus estats i modes, el qual ha portat a definir una maniobra adaptada per una solució concreta, on s'ha hagut de tindre en compte els diferents modes de funcionament del simulador, tant com les mesures de seguretat que s'han hagut d'implementar per tal de preveure les possibles eventualitats que poden ocórrer durant el funcionament de la màquina.

S'ha aconseguit dissenyar un xassís mecànic versàtil i modular sense comprometre la robustesa i l'estabilitat. Tot el procés de disseny i construcció ha servit per aprendre sobre la complexitat de desenvolupar sistemes mecànics i de la importància d'aprendre de totes les versions que es pugin arribar a fer, ja que totes serveixen com a base per acabar trobant una solució final. Gràcies al mètode de prova i error, s'ha pogut estimular la generació d'idees per tal de solucionar un problema concret, ja que cada versió millorava un aspecte concret sobre l'altra, servint així per aprendre a cada iteració.

CONCLUSIONS

Tot i així, no ha sigut fins la construcció de la solució on s'han començat a veure millores. Això demostra que tot i que una solució sigui vàlida, arribar a la més òptima és un procés lent, ja que a la fase de disseny no es pot arribar a pensar en totes les possibles complicacions que poden arribar a passar. Això ha forçat a millorar la capacitat de resoldre problemes i complicacions sobre la marxa.

Finalment es pot dir que s'ha aconseguit complir amb tots els objectius marcats des del començament del projecte.

Aquest projecte ha estat una oportunitat per aprendre a com funciona un sistema de moviment complex, funcionant en temps real, on s'han de tenir en compte molts aspectes a la vegada. Ha servit per veure com és treballar per projectes, on s'ha d'aconseguir complir amb l'objectiu marcat dins d'unes dates concretes, exigint un nivell de compromís i organització molt gran. També ha estat una experiència molt enriquidora, ja que l'oportunitat de treballar amb un equip de professionals en un projecte tant únic que implica moltes parts complexes, ha forçat a millorar com a enginyer i com a integrador de sistemes.

Tot i que el simulador encara té un potencial de millora molt gran, ha sigut tot un èxit aconseguir assolir un sistema de moviment funcional i realista.

7. OPTIMITZACIONS I/O MILLORES

Una vegada ha estat muntat el simulador i s'han pogut fer proves exhaustives de la màquina, s'ha pogut veure on es pot millorar tant en la mecànica com en el software creats.

La mecànica és la part que té més capacitat de millora. Parts com el mòdul de pèrdua de tracció es poden optimitzar molt per tal de reduir pes i facilitar el transport d'aquesta.

Per tal de reduir costos i pes, s'ha vist que la barra central de la part mòbil del mòdul per la pèrdua de tracció no cal i que la xapa on llisca no és necessari que sigui integral a tota la base, sinó solament on llisquen les boles de transferència i per on es puja al simulador. Treure part d'aquesta xapa i substituir la part estreta per una malla, fa que es redueixi el pes total sense sacrificar la seguretat en front possibles atrapaments.

Durant les proves de simulació, es va veure que la pintura de *epoxi* feta servir a la xapa de la base no és la més adient, ja que al ser les boles de transferència d'acer inoxidable i tenir un punt de contacte molt petit amb molt de pes a sobre, s'aplica molta força sobre la xapa i va acabar menjant-se la pintura al recorregut del moviment. Aquest tipus de pintura està pensat per fer-se servir a garatges de cotxes, on el desgast que sofreixen és molt inferior, ja que els cotxes reparteixen el pes a quatre punts (rodes) amb una superfície de contacte molt més gran, a més de no ser d'acer, sinó de cautxú.

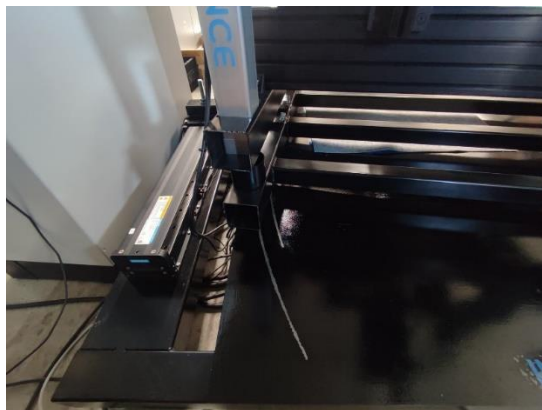


Figura 148. Marques a la base fixa del mòdul.

Una possible solució a aquest problema seria ficar un sòl tècnic a la xapa per tal d'esmoreir la pressió aplicada de les boles de transferència. Una altra opció seria augmentar el nombre de forats per allotjar boles de transferència de niló, les quals no son capaces de suportar càrregues tan grans, però al augmentar el total d'aquestes i ser d'un material més tou que l'acer, podrien solucionar aquest problema.

Ja que les connexions de les entrades i sortides digitals actualment van directament a bornes al quadre, s'ha de fer un sistema de connexió senzill i ràpid, ja que al fer-ho a bornes es fa tediós i lent, a més que facilita la incorrecta connexió dels cables, ja que no hi ha molt d'espai per poder manipular. Una possible solució seria afegir una sèrie de connectors DB, ja que solament caldria connectar els cables de cada equip al seu corresponent sòcol, fent molt més ràpida e intuïtiva la connexió del simulador.

Per tal de continuar amb possibles millores del cablejat, es podria afegir a la mecànica un sistema per poder passar els cables de forma segura des del simulador al quadre, on quedin recollits i no calgui retirar-los de la màquina, sinó que simplement s'hagin de passar al quadre i connectar-los.

OPTIMITZACIONS I/O MILLORES

Tot i que no ha fet falta, l'addició d'un cinturó de cotxe de competició al simulador podria solucionar problemes amb el volant de Fanatec, el qual al estirar d'aquest es desconnecta. Això passa perquè la gent que no està acostumada al moviment agressiu del simulador, tendeix a estirar del volant, ja que és l'únic punt per agafar-se durant la simulació.

En quant a la part de control, es pot millorar la interfície, simplificant-la per facilitar l'ús i la configuració del simulador per part d'operadors menys experimentats. Un disseny de la interfície més intuïtiu i accessible podria augmentar l'eficiència operativa i reduir el temps d'entrenament necessari.

També seria interessant afegir noves dades a mostrar a la pantalla, com per exemple el número de persones que han pujat durant la jornada o el consum mitjà de la màquina. La possibilitat d'extreure més dades de telemetria també permetria millorar les habilitats de les persones que busquin créixer com a pilots de simulador, per tal de poder analitzar les seves voltes.

Per tal de fer el simulador molt més pràctic, seria interessant poder canviar entre diferents configuracions de SimTools o del propi simulador directament des de la interfície de control, ja que actualment el control del simulador no està associat al del PC, pel que pot arribar a fer tediosa l'acció de fer una posta en marxa inicial o canviar de cotxe durant una sessió de simulació.

La implementació de noves tecnologies com la realitat virtual podria oferir una experiència molt més immersiva i detallada, així com l'addició de ventiladors i altaveus integrats al xassís per poder rebre més sensacions a la simulació.

8. FUTURES VERSIONS

Per a les futures versions, es planteja fer un disseny basat en el actual però molt més modular i transportable, permetent desmuntar fàcilment tota la base. També permetria afegir un altre motor lineal a la part frontal, el qual podria treballar conjuntament amb l'actual per tal de apropar els moviments simulats molt més a la realitat.

Amb l'addició d'aquest eix, es podria simular el sobreviratge del cotxe, a més de obtenir un *Sway* lateral, en comptes de rotatiu com a la versió actual.

Per això, caldrà optimitzar la base per tal de treure tot el pes possible i desenvolupar sistemes de fixació fàcils de desmuntar.

Al seguir una filosofia modular, el simulador permet afegir nous mòduls poc a poc, el qual permet una comercialització personalitzable del mateix. Els possibles consumidors podrien escollir el grau de complexitat i realisme del simulador que volen, o bé, començar amb una opció més econòmica, la qual es pot anar millorant poc a poc fins arribar a la versió definitiva del simulador.

També és interessant tractar de fer el simulador molt més adaptable a les diferents categories dins del món de l'automobilisme, potser reforçant-lo per poder simular disciplines més exigents com el ral·li, o afegint configuracions noves, per exemple per simular curses de Fórmula 1.

Com s'ha parlat al apartat d'[optimitzacions i/o millores](#), l'intenció és la d'afegir un cinturó de seguretat integral. Una possible futura millora seria incorporar un sistema en el que segons les forces del cotxe, l'arnés estiri al ocupant del simulador, donant més realisme a la simulació. Existeixen sistemes que es venen per separat per aquest propòsit, però es podria dissenyar per integrar-lo al simulador.

9. WEBGRAFÍA

- [1] P. Hegevall, “Racing Dreams: Los mejores simuladores de carreras de la historia”, *Gamereactor*, 06-mar-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.gamereactor.es/racing-dreams-los-mejores-simuladores-de-carreras-de-la-historia/>. [Consultado: 02-oct-2023].
- [2] SRS, “Motion 101: Roll, pitch, yaw, sway, surge, heave and traction loss explained”, *Sim Racing Studio*, 30-oct-2019. . Disponible en: [Motion 101: Roll, Pitch, Yaw, Sway, Surge, Heave and Traction Loss explained \(simracingstudio.com\)](https://www.simracingstudio.com/motion-101-roll-pitch-yaw-sway-surge-heave-and-traction-loss-explained/) [Consultada: 019-oct-2023].
- [3] “Motion racing rig - 3-axis HERO (H3) with SFU”, *DOF Reality*, 29-nov-2023. [En línea]. Disponible en: <https://dofreality.com/product/racing/motion-racing-rig-3-axis-hero-h3/>. [Consultada: 03-dic-2023].
- [4] “T1000 5 motions racing simulator”, *Prosimu.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.prosimu.com/en/t1000-5motions.html>. [Consultada: 02-oct-2024].
- [5] “D-mover”, *D-mover.com*. [En línea]. Disponible en: <https://d-mover.com/>. [Consultada: 02-oct-2023].
- [6] “Showroom - Smitty’s Rotary Servo 6DOF build (Complete!)”, *Motion Simulator Community*. [En línea]. Disponible en: <https://www.xsimulator.net/community/threads/smittys-rotary-servo-6dof-build-complete.16736/>. [Consultada: 14-nov-2023].
- [7] “Motion Simulator Community - Tutorials construction plans and DIY Kits”, *XSimulator Motion Simulator*, 09-ago-2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.xsimulator.net/>. [Consultada: 07-nov-2023].
- [8] “About – SimTools”, *Simtools.us*. [En línea]. Disponible en: <https://simtools.us/about/>. [Consultada: 21-nov-2024].
- [9] “Our customers from around the world!”, *eRacing-Lab*. [En línea]. Disponible en: <https://eracing-lab.com/pages/our-customers>. [Consultada: 12-oct-2023].
- [10] “Actuadores lineales: tipos y cómo seleccionar el adecuado”, *igus*. [En línea]. Disponible en: <https://www.igus.es/info/actuadores-lineales>. [Consultada: 06-feb-2024].
- [11] Wikipedia contributors, “Actuador lineal”, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Actuador_lineal&oldid=147921296. [Consultada: 06-feb-2024].
- [12] “Hypex-website”, *hypex-website*. [En línea]. Disponible en: <https://unimotion.eu/category/88457>. [Consultada: 14-feb-2024].

WEBGRAFÍA

- [13] “CODESYS group”, *Helpme-codesys.com*. [En línea]. Disponible en: <https://content.helpme-codesys.com/en/libs/Net%20Base%20Services/Current/NetBaseServices/Function-Blocks/fld-Function-Blocks.html>. [Consultada: 12-dic-2023].
- [14] *Control.com*. [En línea]. Disponible en: <https://control.com/technical-articles/understanding-and-using-safe-torque-off-sto-for-motion-systems/>. [Consultada: 12-mar-2024].
- [15] *Com.mx*. [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com.mx/es/articles/regenerative-braking-on-motor-driven-axes>. [Consultada: 12-mar-2024].

INDEX D'IMATGES

Figura 1. Simulador de moviment	6
Figura 2. Il·lustració dels graus de llibertat	9
Figura 3. Taula comparativa dels controladors	16
Figura 4. Taula comparativa amb els protocols de comunicació	17
Figura 5. Servo accionaments IS810, SV660, SV670 i SV680.....	18
Figura 6. Motor lineal LMC d'Inovance	18
Figura 7. PC muntat i funcionant.....	22
Figura 8. AMD Ryzen 7 5800X 3.8 GHz.....	22
Figura 9. Model de MSI de la targeta GeForce RTX 4060	23
Figura 10. Kingston FURY Beast DDR4	24
Figura 11. Kingston NV2 1TB SSD.....	24
Figura 12. MSI MPG B550 GAMING PLUS	24
Figura 13. MSI MAG A650BN 650W 80 Plus Bronze.....	25
Figura 14. Tempest Liquid Cooler 360	25
Figura 15. Forgeon Mithril ARGB Mesh Torre ATX Negra	26
Figura 16. MSI Optix MAG342CQR 34"	26
Figura 17. CSL DD bundle (8 Nm)	27
Figura 18. CSL P1 V2	28
Figura 19. Pedals CSL.....	28
Figura 20. IPC AC703	29
Figura 21. Exemple de l'arquitectura del sistema	29
Figura 22. Protocols Ethernet/IP, OPC UA i MODBUS TCP	30
Figura 23. HMI IT7070E.....	31
Figura 24. Pantalla HP821W	32
Figura 25. Gràfica Parell-Velocitat	35
Figura 26. Motor LMC1	36
Figura 27. SV660NS012I-FS-INT	38
Figura 28. Estructura bàsica d'un servosistema.	39
Figura 29. Mòduls d'expansió GL20.....	41
Figura 30. Mòdul GL20-RTU-ECT.....	42
Figura 31. Mòduls GL20-XX00END	43
Figura 32. Mòdul GL20-00XXETP.....	44
Figura 33. MOSAIC M1S COM	45

Figura 34. MI16.....	46
Figura 35. Tanca SAFELOCK de REER	47
Figura 36. Il·lustració de Assetto Corsa	48
Figura 37. Pluguins dels jocs a SimTools.....	49
Figura 38. Configuració de comunicacions pel moviment.....	50
Figura 39. Test Simulació de la posició dels eixos a SimTools	51
Figura 40. Limitació dels eixos a SimTools	52
Figura 41. <i>Plugins</i> instal·lats al SimTools	53
Figura 42. Configuració dels eixos.....	53
Figura 43. Perspectiva superior d'un cotxe	54
Figura 44. Filtres aplicables als moviments de cada eix	55
Figura 45. Ajust dels màxims i mínims dels valors capturats	55
Figura 46. Exemple de projecte de InoProShop	57
Figura 47. Establir connexions amb el IPC des de InoProShop.....	57
Figura 48. Configuració del IPC a la xarxa EtherCAT	58
Figura 49. Xarxa EtherCAT de tots els equips.....	58
Figura 50. Ordre dels equips a la xarxa EtherCAT	58
Figura 51. Configuració general dels eixos	59
Figura 52. Escalat dels eixos	59
Figura 53. Entorn de treball de InoDriverShop	60
Figura 54. Configuració dels paràmetres de control del SV660	61
Figura 55. Selecció dels modes d'aturada.....	61
Figura 56. Configuració de les sortides	61
Figura 57. Tasques definides al projecte	62
Figura 58. Rutina de comunicacions (Recepció i conversió de les dades rebudes)	63
Figura 59. Blocs dedicats a la recepció de les dades	64
Figura 60. Blocs dedicats a la conversió de les dades	65
Figura 61. Assignació i nomenament dels eixos als servo accionaments	67
Figura 62. Bloc de control Axis_Base_FB de l'eix Axis1a	67
Figura 63. Portes AND i OR de control dels eixos	68
Figura 64. Bloc Update_Set_Points	68
Figura 65. Bloc de control Axis_Base_FB de l'eix Axis1e	69
Figura 66. Mètode de posicionat 28 del SV680L.....	69
Figura 67. Bloc Config_Axis_FB_0 pel control dels paràmetres de velocitat/acceleració/desacceleració.....	69

Figura 68. Control del mode manual JOG.....	70
Figura 69. Bloc per habilitar els eixos al mode JOG.....	70
Figura 70. Bloc pel control del mode manual 3DOF	71
Figura 71. Bloc selector de posició objectiu.....	71
Figura 72. Bloc encarregat de la maniobra del simulador	71
Figura 73. Gestió de les entrades del M1S COM.....	74
Figura 74. Sortides mòdul M1S COM	75
Figura 75. Bloc pel control de la visualització a WebVisu	76
Figura 76. Entorn de programació de InoTouchPad.....	77
Figura 77. Configuració de les comunicacions a InoTouchPad	77
Figura 78. Symbol Configuration a InoProShop.....	77
Figura 79. Etiqueta pel control de les variables del AC703	78
Figura 80. Exemple de configuració dels elements de control.....	78
Figura 81. Finestra del menú principal	79
Figura 82. Porta tancada i led de condicions de rearmament encés	79
Figura 83. Sistema rearmat.....	79
Figura 84. Animació en posició de simulació	80
Figura 85. Finestra pel control del mode simulació	80
Figura 86. Finestra del mode de simulació amb errors.....	81
Figura 87. Finestra pel control del mode JOG	81
Figura 88. Posicions dels eixos modificades amb el mode JOG.....	82
Figura 89. Finestra pel control del mode 3DOF.....	82
Figura 90. Posicions dels eixos modificades mitjançant el mode 3DOF	82
Figura 91. Configuració del WebVisu.....	83
Figura 92. Configuració de les referències del frame.....	83
Figura 93. Menú principal a WebVisu	84
Figura 94. Menú principal amb baners dels productes.....	84
Figura 95. Pantalla HMI inhabilitada pel mode usuari.....	85
Figura 96. Finestra del mode de simulació.....	85
Figura 97. Finestra del mode de simulació amb error d'emergència	85
Figura 98. Finestra del mode JOG.....	86
Figura 99. Finestra del mode 3DOF	86
Figura 100. Disseny de sistema de moviment de 6 eixos.....	87
Figura 101. Sistema de 4 eixos i 3DOF.....	88
Figura 102. Sistema de moviment T1000 5M de PROSIMU	88

Figura 103. PRIME Cockpit de GTOmega	89
Figura 104. Actuador lineal PNCE 63-BS-2510-350-S-F.....	90
Figura 105. Part superior del model 3D del suport pels actuadors lineals	91
Figura 106. Part inferior del model 3D del suport pels actuadors lineals	91
Figura 107. Model 3D dels actuadors i la base del cockpit fixats als suports	92
Figura 108. Pota de goma pel final de l'actuador lineal	92
Figura 109. Peça adaptadora M12 a M16.....	92
Figura 110. Contenidor per les potes de goma	93
Figura 111. Primera versió del mòdul per la pèrdua de tracció.....	93
Figura 112. Vista frontal de les bigues de la part mòbil.....	93
Figura 113. Vista inferior de les bigues de la part mòbil	94
Figura 114. Boles de transferència	94
Figura 115. Vista detall del final de l'actuador amb la ròtula actuant a la biga transversal	94
Figura 116. Primera versió de la mecànica conjunta.....	95
Figura 117. Vista general de la versió 2 del mòdul per la pèrdua de tracció	95
Figura 118. Potes amb ròtula.....	95
Figura 119. Vista superior de la versió 2 del mòdul de pèrdua de tracció	96
Figura 120. Estructura per transmetre el moviment lateral amb el motor lineal	96
Figura 121. Vista detall del motor lineal actuant sobre el colis	96
Figura 122. Peça connectora entre la part mòbil del mòdul i el motor lineal.....	97
Figura 123. Nova versió del mòdul per la pèrdua de tracció.....	97
Figura 124. Nova versió de la peça connectora.....	98
Figura 125. Nova versió per la transmissió de moviment.	98
Figura 126. Peça per la transmissió del moviment de la part mòbil.....	98
Figura 127. Peça per la transmissió de moviment del motor lineal.....	99
Figura 128. Versió actual del mòdul per la pèrdua de tracció.....	99
Figura 129. Rodes pel transport del simulador.....	99
Figura 130. Versió actual per la transmissió de moviment del motor lineal	100
Figura 131. Peça per la transmissió de moviment per a part mòbil del mòdul	100
Figura 132. Peça per la transmissió del moviment per el motor lineal	101
Figura 133. Model actual del simulador.....	101
Figura 134. Part superior del xassís muntada amb els actuadors lineals.....	101
Figura 135. IT7070 fixada al cockpit amb els polsadors.....	102
Figura 136. Pota de goma amb els adaptadors de rosca	102

Figura 137. Pota al actuator lineal	102
Figura 138. Nova solució per les potes del simulador.....	103
Figura 139. Xassís superior simulant Assetto Corsa	103
Figura 140. Mòdul de pèrdua de tracció muntat.....	103
Figura 141. Motor lineal fixat al mòdul amb el sistema de transmissió de moviment. 104	
Figura 142. Tota l'estructura del simulador muntada	104
Figura 143. Pintat de la mecànica.....	104
Figura 144. Resultat final del simulador	105
Figura 145. Sivella de la porta per la tanca de seguretat	105
Figura 146. Quadre del simulador	106
Figura 147. Interior del quadre	106
Figura 148. Marques a la base fixa del mòdul.....	109
Figura 149. Estand de Inovance a Hispack 2024.....	121

INDEX DE TAULES

Taula 1. Comparativa dels volants DD del mercat	10
Taula 2. Comparativa dels pedals al mercat	11
Taula 3. Comparativa dels cockpits al mercat	12
Taula 4. Taula comparativa dels simuladors de moviment al mercat	13
Taula 5. Especificacions del AC703.....	30
Taula 6. Especificacions de la HMI IT7070E	31
Taula 7. Especificacions de la pantalla tàctil HP821W.....	32
Taula 8. Taula de valors per la selecció del servomotor	33
Taula 9. Paràmetres servomotor	34
Taula 10. Especificacions del MS1H4-10C30CB-A331R	35
Taula 11. Taula de talles dels LMC.....	37
Taula 12. Característiques dels SV660N monofàsics 1.....	38
Taula 13. Característiques dels SV660N monofàsics 2.....	39
Taula 14. Taula de característiques SV680LN monofàsics 1.....	40
Taula 15. Característiques dels SV680LN monofàsics 2	41
Taula 16. Característiques GL20-RTU-ECT.....	42
Taula 17. Característiques GL20-XX00END.....	43
Taula 18. Característiques GL20-00XXETP.....	44
Taula 19. Característiques MOSAIC M1S COM.....	46
Taula 20. Característiques MI16	47
Taula 21. Especificacions del actuador lineal PNCE 63-BS-2510-350-S-F.....	90

ANNEXES

10. ANNEXES

10.1. Fira Hispack 2024

Durant la segona setmana de maig es va celebrar la Hispack 2024 a Barcelona, un dels punts de trobada més important de l'ecosistema de packaging i automatització al sud d'Europa. Al llarg de 4 dies, milers de professionals i expositors del món dels automatismes i packaging s'aprofiten d'aquest aparador per descobrir les solucions i tendències que marquen el rumb per a la indústria

Empreses i professionals d'una àmplia gamma d'indústries hi participen per donar a conèixer els seus últims productes en un esdeveniment que crea oportunitats de negoci, fomenta noves aliances i aposta pel saber fer i la innovació.

Aquesta va ser la primera fira a la que va assistir Inovance Technology España SL, on es va portar el simulador per promocionar a l'empresa i el producte. Serviria per cridar l'atenció de possibles clients i per poder fer una prova de resistència amb el simulador, i així comprovar si havia estat dissenyada pel que havia estat concebuda, a més de veure possibles millores.



Figura 149. Estand de Inovance a Hispack 2024

La fira va ser un èxit, ja que el simulador va aguantar els 4 dies durant les jornades de 9 hores en les que estava la fira oberta. De mitja, es calcula que van pujar al simulador unes 100 persones al dia, ja que es deixaven 5 minuts per persona i va haver-hi cua des del matí, fins a la tarda quan tancava la fira, donant un total d'aproximadament 400 persones durant tota la fira.

Els problemes que es van detectar era la falta de robustesa del volant, degut a un disseny de la mecànica del *direct drive* de Fanatec, on si s'estirava del volant aquest es podia desconnectar i calia reiniciar el volant, cosa que passava molt sovint.

També es van experimentar problemes amb la gestió del calor dins del quadre, pel que aquest va estar obert gairebé tota l'estona. Això es devia a que faltava un sistema de ventilació que no es va instal·lar, pel que no hi havia circulació d'aire. La falta d'una correcta ventilació dins del quadre va ocasionar problemes amb la gestió de la temperatura del PC, ja que no era capaç de refredar bé els components al no tenir aire nou i estar a l'interior de la caixa. Però tot i així, el PC va suportar jornades de simulació constants de fins a 9 hores durant 4 dies.

Per tant, la conclusió és que el simulador que s'ha dissenyat, programat i construït durant aquest projecte ha demostrat que compleix amb totes les especificacions proposades, a

ANNEXES

més de tractar-se d'un simulador robust i durador preparat per aguantar sessions de simulació llargues i exigents, ja que les persones que pujaven al simulador no eren expertes, pel que la conducció dels cotxes no era molt fina, ocasionat sortides de pista i accidents els quals forçaven al simulador a fer moviments molt bruscos. Això no va afectar en cap manera el correcte funcionament del simulador, ja que tant l'electrònica no va sofrir en cap moment i la mecànica va aguantar sense cap tipus de problema.