



MODELATGE I SIMULACIÓ DEL ROBOT IRB 360 D'ABB



Treball Fi de Grau

Autor: Joan Espí Mompó

Tutor: Josep Lluís Suñer Martínez

Índex

1. Introducció	3
1.1 Història	4
1.2 Definicions	5
1.3 Morfologia del robot	7
1.3.1 Estructura mecànica	7
1.3.2 Transmissions i reductors	8
1.3.3 Actuadors	9
1.3.4 Sensors	11
1.3.5 Efectors finals	12
2. Robots paral·lels	13
2.1 Història	14
2.2 Classificacions	16
2.2.1 Robots planars	16
2.2.1 Robots espacials	17
2.3 Conclusions	18
3. Robot Delta	19
3.1 Tipus	20
3.1.1 Morfologia bàsica (3 g.d.l.)	20
3.1.2 Variants amb 3 g.d.l.	21
3.1.3 Delta 4 g.d.l.	21
3.1.4 Delta 6 g.d.l.	22
4. Robot IRB 360	23
4.1 Parts	24
4.2 Versions	26
4.3 IRB 360-6/1600 Standard	27
5. Modelatge	29
5.1 Necessitats	30
5.2 Objectius	31
5.3 Procediment	31
6. Simulació	51
6.1 Mesures	52

6.2 Moviments	55
6.3 Funcions	57
6.4 Cinemàtica directa	58
6.4.1 Simulació DespP positiu. Efector Final ascendent	58
6.4.2 Simulació DespP negatiu. Efector Final descendent	60
6.4.3 Simulació pars rotacionals positius. Efector Final descendent (5 segons, 100 steps) 61	
6.4.4 Simulació pars rotacionals negatius. Efector Final ascendent (5 segons, 100 steps) 61	
6.5 Cinemàtica inversa	62
6.5.1 Simulació eix Y descendent (5 segons, 100 steps)	62
6.5.2 Simulació eix Y ascendent (5 segons, 100 steps)	63
6.5.3 Simulació eix X sentit positiu(5 segons, 100 steps).....	64
6.5.4 Simulació eix X sentit negatiu(5 segons, 100 steps).....	64
6.5.5 Simulació eix Z sentit negatiu(5 segons, 100 steps).....	65
6.5.6 Simulació eix Z sentit positiu(5 segons, 100 steps)	66
6.6 Conclusions.....	67
7. Plec de condicions	71
8. Pressupost	73
Annex I. Bibliografia i enllaços	75

1. Introducció

L'objectiu d'aquest treball va a ser el de crear un model del robot IRB 360 amb el programa ADAMS View, el més fidel possible a la realitat. Així, es farà una breu introducció a la robòtica, començant per la seva història i passant per les definicions, funcionaments i coneixements bàsics i tipus de robots fins a centrar-nos en el robot que volem analitzar. Després de crear aquest model, s'explicaran les simulacions fetes amb ell i s'estudiaran els resultats obtinguts.

1.1 Historia

En els temps que vivim tothom coneix la paraula robot i està familiaritzat amb ella. Açò es degut a que a pesar de ser els robots unes màquines complexes, han sigut objecte de la ciència ficció, mitificant-los i creant una aura de misteri al seu voltant. Encara que pareixen moderns i una cosa molt nova, els robots, o almenys els seus predecessors, porten molt de temps entre nosaltres.

Al llarg de tota la història, el ésser humà s'ha sentit fascinat per totes aquelles màquines que foren capaces d'imitar els moviments dels éssers vius. Ja els grecs tenien una paraula per descriure aquest tipus de mecanisme: *automatos*, de la qual prové la paraula **autòmat**. Des de l'any 85 d.C. ja existien mecanismes animats que funcionaven amb dispositius hidràulics, politges i palanques, i que tenien objectius lúdics. Aquest tipus de mecanismes foren estudiats i desenvolupats al llarg del temps, com per exemple a l'època renaixentista (segles XV i XVI) Leonardo da Vinci (1452 – 1519) va construir el *Lleó mecànic* per al rei Lluís XII que s'obria el pit amb les seues garres i mostrava l'escut d'armes. Als segles XVII i XVIII, el gremi de la rellotgeria va crear mecanismes pareguts als robots actuals amb la fi d'entretenir, com era el cas de *l'ànec de Vaucanson*. I ja a finals del segle XVIII, es construïren enginyosos mecanismes per a l'indústria tèxtil.

Ja la paraula **robot** va ser utilitzada per primera vegada a una novel·la de l'autor txec Karel Capek (1890 – 1938) amb origen de la paraula eslava *robota*, que feia referència al treball realitzat de manera forçada. D'aquesta forma, com hem comentat avanç, la literatura va ajudar a que aquesta paraula no caigués desús i a crear un interès per la robòtica.

Llavors, l'escriptor Isaac Asimov (1920 – 1992) amb la seva novel·la *Jo Robot* publicada l'any 1945 va enunciar les tres lleis de la robòtica:

1. Un robot no pot perjudicar a un ésser humà, ni amb la seva inacció permetre que un ésser humà sofria cap mal.
2. Un robot ha d'obeir les ordres rebudes per un ésser humà, a no ser que aquestes entren en conflicte amb la primera llei.
3. Un robot ha de protegir la seva pròpia existència, mentre tal protecció no entre en conflicte amb la primera o la segona llei.

*A aquesta se li va afegir la anomenada llei zero que posava el bé comú de la humanitat per davant del individual.

En el camp de l'enginyeria va ser R.C. Goertz a l'any 1948 qui va desenvolupar un telemanipulador per a manipular elements radioactius. Sent així els **telemanipuladors** uns dels predecessors dels robots.

Al 1954, George C. Devol va concebre la primera idea d'un dispositiu de transferència d'articles programada que es va patentar al 1961 a Estats Units sent així el primer robot programable. Mentre tant, al 1956, Devol es va associar amb Joseph F. Engelberger i junts crearen Unimation (Universal Automation), primera empresa de robòtica.

Des d'aleshores, la robòtica va tenir un creixement vertiginós, de tal manera que Unimation es va associar amb Kawasaki a l'any 1981 per crear robots.

Al mateix temps, diferents associacions de robòtica nasqueren. Primer al Japó, després a Amèrica i més tard a Europa.

Algunes dels descobriments i invents importants d'aquestes dècades són, entre altres:

- El desenvolupament del robot "Shakey" per part de la Universitat d'Stanford als anys 60.
- Unimation, amb el suport de General Motors, desenvolupa el robot PUMA en 1978.
- Al 1982, el professor Makino de la Universitat Yamanashi desenvolupa el concepte de robot SCARA amb un nombre reduït de graus de llibertat, baix cost i orientat a l'assemblatge de peces.
- La primera arquitectura reactiva (*Subsumption*) es implementada en 1985 per Roodeny Brooks del MIT.
- En 1986, Ronald Arkin implementa la primera arquitectura híbrida (AuRA).

Fins a dia d'avui la robòtica es un camp que segueix creixent i millorant de tal manera que nous descobriments i avanços es podrien incloure en la llista prèvia.

1.2 Definicions

Les definicions en el camp de la robòtica són innumerables, començant per ella mateixa fins a les diferents eines que utilitza o inclou. Açò es degut a que engloba molts tipus de mecanismes o dispositius, els quals es diferencien enormement entre ells, i a més el fet de que les diferents associacions al voltant del món tenen una percepció diferent de robot, i el que l'envolta.

Avui en dia, hi ha robots que realitzen aplicacions molt diverses, des d'investigar altres planetes (robots espacials) fins als que trobem en cadenes de muntatge. Aquests són diversos i amb morfologies diferents. En aquest treball anem a centrar-nos amb els anomenats robots industrials, però avanç de començar amb ells, es donarà una definició de **robot** prou acceptada per a l'àmbit que ens ocupa:

“Manipulador automàtic servo controlat, reprogramable, polivalent, capaç de posicionar i orientar peces, útils o dispositius especials, seguint trajectòries variables

reprogramables, per a l'execució de tasques variades. Normalment té la forma d'un o més braços acabats en un canell. La seua unitat de control inclou un dispositiu de memòria i ocasionalment de percepció de l'entorn. Normalment el seu ús es basa en realitzar una tasca de manera cíclica, podent-se adaptar a una altra sense canvis permanents en el seu material. “

Centrant-nos més en el cas que ens ocupa, la definició més acceptada de **robot industrial** es la que ens dona l'Associació d'Indústries Robòtiques (RIA):

“Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaç de moure matèries, peces, ferramentes o dispositius especials, segons trajectòries variables, programades per a realitzar tasques diverses.”

En aquest apartat s'han d'incloure diferents definicions del camp de la robòtica que seran necessàries per a poder entendre el contingut d'aquest treball:

- **Graus de Mobilitat:** quantitat d'elements que es poden moure de forma independent. Aquest terme sol associar-se amb el nombre d'actuadors.
- **Graus de Llibertat:** quantitat de variables de posició de l'efector final independents en relació a un sistema de coordenades fixe. Aquest nombre té de màxim 6, sobre els eixos d'un sistema de referència ortogonal (3 de rotació i 3 de translació).
- **Espai de treball:** l'espai de treball d'un robot està definit com el grup de punts que poden ser assolits pel seu efector final.
- **Grau de connexió:** per a cada eslavó del robot, aquest nombre és el nombre de cossos rígids que estan units a ell mitjançant articulacions.

Els robots es poden classificar de moltes maneres diferents. Ara mateixa amb el coneixement de que es disposa no seria útil explicar-les totes, per tant s'inclourà una d'elles, i en els propers apartats s'exposaran d'altres després d'explicar els seus criteris.

Classificació dels robots per generacions:

- **Primera Generació:** són els robots que repeteixen la seua tasca programada seqüencialment sense tindre en compte les alteracions del seu entorn.
- **Segona Generació:** adquireixen informació limitada del seu entorn i actuen en conseqüència. Poden localitzar, classificar i detectar esforços i adaptar els seus moviments. Les seues principals característiques són el processament i la planificació del camí que té que realitzar. Dintre d'aquesta generació podem distingir dos grups diferents, que es caracteritzen per la recollida de la informació:
 - o 1. Sensorització Exteroceptiva: recull la informació de l'exterior.
 - o 2. Sensorització Propioceptiva: recull la informació de l'interior del robot.
- **Tercera Generació:** la seua programació es realitza mitjançant l'ús d'un llenguatge natural. Posseeix la capacitat per a la planificació automàtica de les

tasques. El llenguatge natural que presenta el robot pot variar en funció de qui l'utilitza o el programa (anglès, castellà, valencià, alemany...), però sempre ha d'estar coordinat amb el idioma del intèrpret de llenguatge, que és una part essencial d'aquesta generació, juntament amb la planificació mencionada anteriorment. Alguns robots d'aquesta generació, al poder planificar les seues tasques i al ser capaços de recollir informació del exterior i processar-la, poden treballar de forma conjunta amb els humans, ja que estan capacitats per a saber si hi ha algun objecte o persona, el que fa que si detecten el mínim contacte no previst paren immediatament la seua tasca, el que evita accidents laborals i proporciona una major seguretat. Aquest tipus de robots s'anomenen col·laboradors.

1.3 Morfologia del robot

Un robot està format pels següents elements: estructura mecànica, transmissions, sistema d'accionament, sistema de control i elements sensorials. En aquesta apartat es donarà a conèixer alguns d'ells.

1.3.1 Estructura mecànica

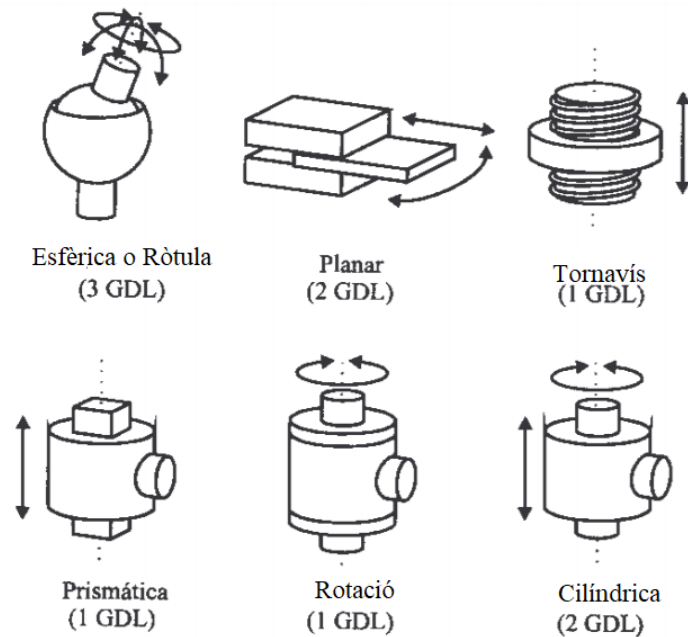
Mecànicament, un robot està format per una sèrie d'elements o esclavons units mitjançant articulacions que permeten un moviment relatiu entre esclavons consecutius. Molts robots industrials son familiars a la morfologia d'un braç humà, per tant en molts cassos es gasta la terminologia braç, colze i canell.

Els moviments de les articulacions poden ser de gir, desplaçament, o una combinació d'ambdós. D'aquesta manera són possibles els sis tipus d'articulació que es mostren a la *imatge 1*.

En la *imatge 1* s'exposen els diferents tipus d'articulacions amb el seus respectius graus de llibertat. Tot els robots fan ús d'aquestes articulacions, bé sigui per aplicar un moviment (pars actius: articulació amb un actuator) com per a unir dos esclavons (par passiu).

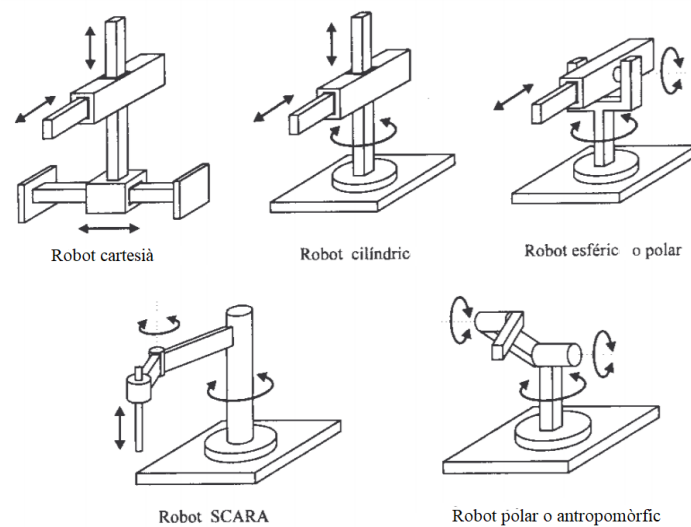
Ara que ja es coneixen que són les articulacions, i com funciona el sistema d'eslavons, es descriuen així dos tipus de cadenes d'eslavons:

- **Cadena cinemàtica oberta:** Són aquelles en les que els seus membre posseeixen un grau de connexió menor o igual a 2. És així el cas dels braços robots, els quals tenen un efector final lliure. Són també anomenats manipuladors serials.
- **Cadena cinemàtica tancada:** Són aquells en els quals, a excepció de la base, els elements tenen un grau de connexió igual o major a 3.



Imatge 1. Esquema dels 6 parells cinemàtics més comuns.

A la *Imatge 2* es mostren les combinacions més freqüents de dites articulacions en el cas de robots de cadena oberta.



Imatge 2. Morfologies bàsiques dels robots amb cadena oberta

Un altre tipus de morfologia que no està inclosa en aquesta imatge és la dels anomenats robots paral·lels, els quals s'entrarà més en detall en apartats posteriors, per ser l'objecte d'estudi d'aquest treball.

1.3.2 Transmissions i reductors

Les transmissions són les encarregades de transmetre el moviment des dels actuadors fins a les articulacions. S'inclouen ací també els reductors, encarregats d'adaptar el par i la velocitat a la eixida de l'actuador als valors correctes per al moviment dels elements del robot.

Degut a que l'efector final d'un robot sol tenir acceleracions altes, és de gran importància reduir al màxim el seu moment d'inèrcia. Al mateix temps, els pars estàtics que han de vèncer els actuadors depenen directament de la distància de la massa a aquest. Per tant s'intenta crear eslavons no molt llargs i es traslladen els actuadors a les articulacions més properes a la part fixa.

En els robots podem trobar diferents tipus de transmissions classificades per el tipus de moviment que transmeten:

- **Circular – circular:** Engranatges, corretges dentades, cadenes, paral·lelograms i cables.
- **Circular – lineal:** Tornavís sense fi, cremallera.
- **Lineal – circular:** Cremallera.

Tots aquest tipus de transmissions permeten moure pesos elevats i tenen uns rendiments elevats. Per contra, degut a ser transmissions, totes tenen folgança per poca que sigui. Si a açò se li afegeix el fet de que al desgastar-se aquesta creix, ens porta a l'existència d'imprecisions.

Es poden distingir dos tipus de robots segons el tipus d'accionament que tenen; **d'accionament directe** o **d'accionament indirecte**.

Tots aquells que tenen transmissions s'anomenen **d'accionament indirecte**, i aquells que no en tenen, **d'accionament directe**, ja que l'actuador es troba a la mateixa articulació i li transmet el moviment a aquesta sense intermediaris.

Avui en dia, els robots amb accionament directe van en augment gràcies a l'avanç de la tecnologia. Fa temps, aquest tipus d'accionament no era viable, ja que es necessiten pars elevats a poques revolucions, i no existien actuadors que foren capaços de proporcionar-ho. Per tant, s'utilitzaven transmissions, que encara que reduïen la precisió del robot, permetien que aquest treballarà amb grans carregues.

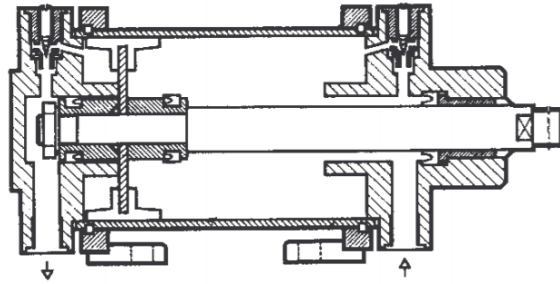
Els motors que permeten l'accionament directe són elèctrics (motors síncrons i de continua sense escombrera) i encareixen el preu del robot.

1.3.3 Actuadors

Ací es farà una classificació segons la font d'energia que utilitzen:

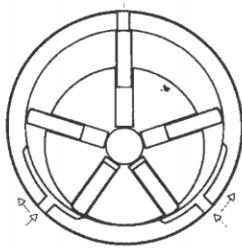
Neumàtics

- **Cilindres neumàtics:** Al entrar l'aire, desplaça el pistó. Aquests poden ser de simple o doble efecte. Sols permeten dos posicions (una en cada extrem), no sent regulable el seu moviment de normal. Aquest posicionament exacte es pot aconseguir amb vàlvules elèctriques o amb sistemes de posicionament neumàtics, però ambdues solucions no són molt utilitzades ni viables.

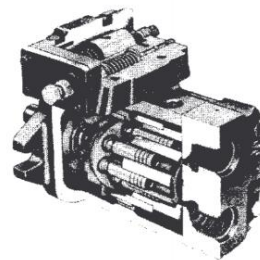


Imatge 3. Esquema d'un pistó neumàtic de doble efecte.

- **Motors neumàtics (d'aletes rotatives o de pistons axials)**



Imatge 5. Esquema d'un motor neumàtic d'aletes rotatives



Imatge 4. Motor neumàtic de pistons axials.

En general, els actuadors neumàtics no són molt utilitzats pel simple fet de que no són molt precisos i solen permetre únicament dues posicions finals.

Hidràulics

La forma de funcionament d'aquests actuadors no és molt diferent a la dels neumàtics. La diferència entre ambdós és la càrrega de treball. Ja que en aquests actuadors es treballa amb olis més incompressibles que l'aire, açò permet que aquests suporten càrregues estàtiques més elevades, i que puguin moure més pes. Per altra banda, són més cars, necessiten uns components més resistents, i solen tenir moltes pèrdues d'oli.

Elèctrics

Les característiques de control, senzillesa i posicionament, han fet d'aquests actuadors els més utilitzats actualment.

Dins d'aquest es distingeixen tres tipus diferents:

- **Motors de corrent continua (DC):** Són els més utilitzats a actualment degut a la seva facilitat de control. Inclouen un *encoder* per a poder controlar la seva posició. Dos tipus:
 - o Controlats per induït
 - o Controlats per excitació
- **Motors de corrent alterna (AC):** Fa poc que s'apliquen en robòtica degut a la dificultat del seu control. Dos tipus:

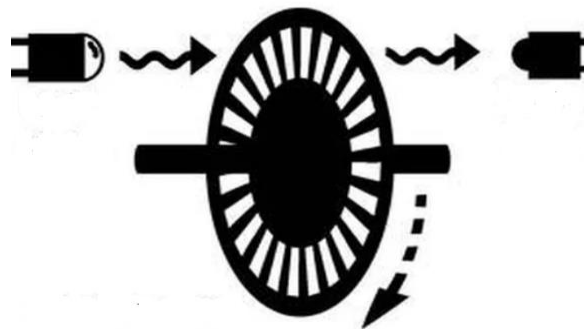
- Síncrons
- Asíncrons
- **Motors pas a pas:** Aquests motors no eren molt utilitzats degut als baixos pars que aportaven i les escasses posicions que proporcionaven. Avui en dia han millorat notablement. Tres tipus:
 - De imants permanents
 - De reluctància variable
 - Híbrids

1.3.4 Sensors

Per tal de que un robot aconseguixi la tasca encomanada, i conegui el seu estat en cada moment, aquest haurà de contar amb sensors.

Ací es diferencien dos tipus:

- **Sensors interns:** Aquests són els encarregats de proporcionar informació a la unitat de control del robot de característiques intrínseques d'aquest. Les variables que capten són:
 - Presència: Inductius, Capacitius, Efecte Hall...
 - Posició: Analògics (potenciòmetre, *resolver*, ...) o Digitals (*Encoders*, regla òptica)
 - Velocitat: *Tacogeneratriu*
- **Sensors externs:** Aquests agafen posició de l'entorn per canviar el funcionament del robot en cas de que fós necessari. Exemples d'aquests són: visió artificial, sensors de força, tacte...



Imatge 6. Esquema del funcionament d'un Encoder

A la *Imatge 6* s'observa el funcionament esquemàtic d'un *encoder*. Hi ha un raig de llum que va des de l'emissor fins al sensor, i l'*encoder* té un nombre de ranures conegudes per poder determinar en quin punt del seu moviment angular es troba.

1.3.5 Efectors finals

Aquests són les ferramentes o utensilis que fan la funció final que es vol designar al robot. Així, un robot no sol estar directament definit per a un tipus de ferramenta, sinó que té un acoblament al qual se li poden posar diferents ferramentes.

Hi ha robots que s'utilitzen per a soldar, per empènyer cosses, clavar claus, o moure objectes (*Pick & Place*), d'entre altres funcions.

Per tant, depenent del fi, se li acobla una ferramenta o una altra, des de bufadors de soldadura, tornavisos, garres o ventoses.

Aquests es poden accionar de diferents formes, però principalment s'utilitzen sistemes hidràulics, neumàtics o electricitat. A la *Imatge 7* s'aprecia una pinça mecànica per a acoblar a un robot.



Imatge 7. Pinça mecànica. Cortesia de Festo

2.Robots paral·lels

Després d'explicar diferents classificacions, es vol introduir el camp dels robots paral·lels. Aquest és un camp molt ampli i en constant augment degut a tots els seus beneficis i diferents estructures possibles. Aquests són classificats com a cadenes cinemàtiques tancades, i poden incloure tots els diferents actuadors, transmissions, sensors, reductors i articulacions enunciats avanç.

Aquest tipus de robot és caracteritzat per oferir un espai de treball més reduït, amb carregues molt elevades, altes velocitats i molta precisió. Però per què es degut a açò?



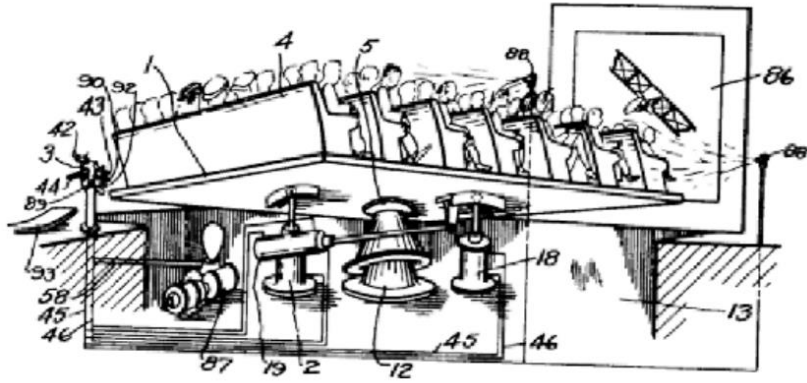
Imatge 8. Robot paral·lel. Plataforma Stewart.

A la *Imatge 8* es pot apreciar un robot paral·lel. Basant-nos en la seva estructura, observem que té diferents actuadors per moure el que seria el seu efectador final o en aquest cas la plataforma superior. Açò porta a que un robot paral·lel de 3 graus de llibertat consumeixi el 26% d'energia del que consumiria un robot serial de la mateixa mida.

Si ho analitzem millor, el principal benefici és que en aquest cas, el robot paral·lel pot distribuir la seva càrrega total entre el nombre de "braços" o cadenes totals que té. A més, al no necessitar braços tan llargs o amb tantes articulacions, redueix la possible deformació de cada eslavó. Per altra banda, el nombre d'actuadors que necessita és mínim, així com també ho és el nombre de sensors per a cada cadena tancada.

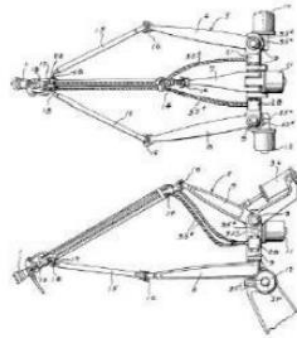
2.1 Història

Els problemes matemàtics relacionats a les cadenes cinemàtiques tancades van aparèixer per primera vegada a l'any 1645. Més tard, ja a l'any 1928, J.E. Gwinnett va patentar el que nosaltres anomenem el mecanisme esfèric que era utilitzat per a una plataforma de teatre.



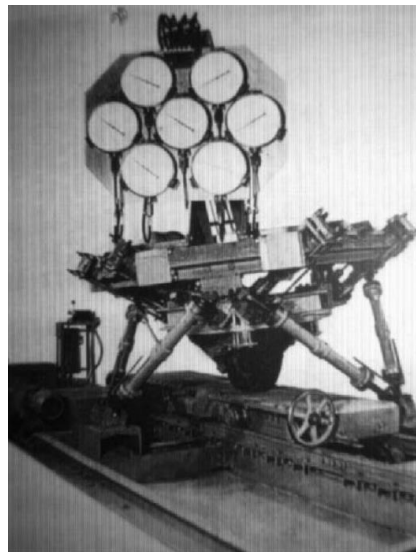
Imatge 9. Plataforma d'un teatre basada en el mecanisme esfèric.

Per passar de la teoria a la pràctica, Willard L. V. Pollard Jr. va patentar en 1934 un robot paral·lel que servia per pintar amb esprai, el qual havia sigut dissenyat pel seu pare anys enrere.



Imatge 10. Robot paral·lel utilitzat per pintar. Predecessor del robot Delta.

En 1947, V. E. Gough va establir els principis bàsics d'un mecanisme amb estructura de cadena cinemàtica tancada que permetia el posicionament i la orientació per a fer tests de neumàtics. Ell mateix va construir el seu prototip a l'any 1955.



Imatge 11. Mecanisme dissenyat per Gough per a testejat pneumàtics.

Una vegada construït el primer prototip, que utilitzava actuadors lineals i vista la utilitat d'aquest i les altes masses que suportava, els robots paral·lels van guanyar un important paper en el camp de les simulacions, tant de vol com d'estructures.

A l'any 1965, D. Stewart va mostrar una plataforma similar a la de la *Imatge 8* a la qual es podria muntar la cabina d'un avió per a poder fer simulacions de vol.

A partir d'ací, els clars beneficis d'aquests robots foren ben coneguts, i començaren a estudiar-se i dissenyar-se. El camp de les simulacions, tant d'avió com d'estructures és un dels camps de més utilitat per a aquests, però també ho són altes com els robots d'assemblatge o de *Pick & Place*, on es necessita d'una alta velocitat i una elevada precisió.

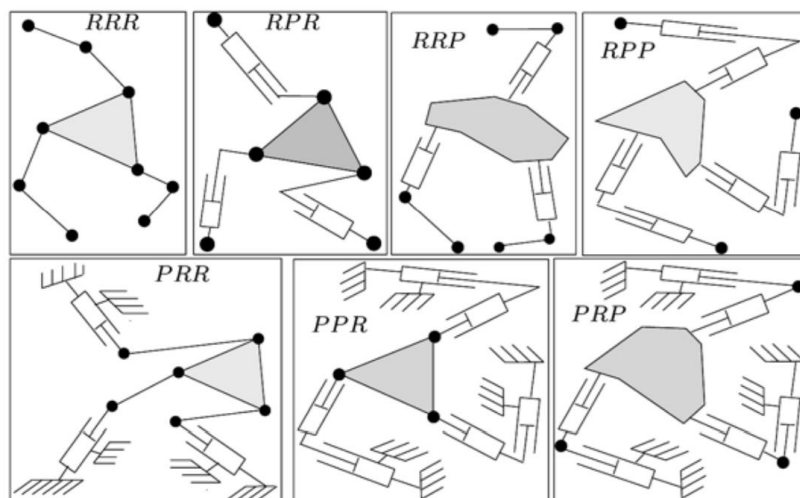
2.2 Classificacions

2.2.1 Robots planars

Aquests robots són aquells que sols es poden moure dins d'un pla. Per el tipus de descripció de robot paral·lel, en aquest apartat es poden incloure mecanismes de 4 barres, els quals sols tenen 2 graus de llibertat. Llavors, en aquest apartat, ens anem a centrar en mecanismes que tenen 3 graus de llibertat: 1 de rotació i 2 de translació.

Aquest tipus de robots, són bàsicament plataformes, les quals es mouen sempre al mateix pla. Com ha sigut descrit avanç, per aconseguir els 3 graus de llibertat, aquest mecanisme haurà de tindre 3 cadenes cinemàtiques tancades, amb 3 actuadors (un a cadascuna). Aquestes cadenes, hauran d'estar connectades al sòl i a la plataforma, tenint aquesta 3 articulacions. Els actuadors es posaran el més lluny de la plataforma mòbil per a reduir el pes d'aquesta.

Segons aquestes dades, hi ha moltes configuracions diferents amb les quals es pot aconseguir aquest moviment. A la *Imatge 12* es mostren les configuracions, els pars prismàtics estan representats per la lletra P, i els de rotació per la lletra R.



Imatge 12. Diferents morfologies dels robots planars

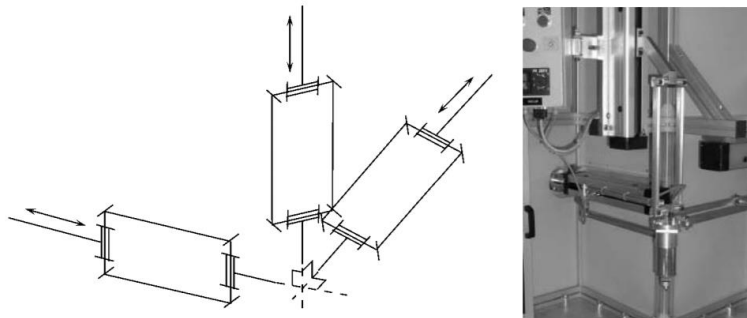
Cadascuna d'aquestes combinacions ha sigut estudiada per diferents persones. Així també, s'han investigat altres combinacions on les articulacions o actuadors estan reemplaçades per cordes, o on els eslavons són flexibles.

2.2.1 Robots espacials

Tota la resta de robots paral·lels són classificats dins d'aquests. Este tipus de robots poden moure per les 3 dimensions de l'espai. Per aconseguir açò utilitzen diversos tipus d'articulacions, de més comuns a menys: rotacional, prismàtica, universal i ròtula.

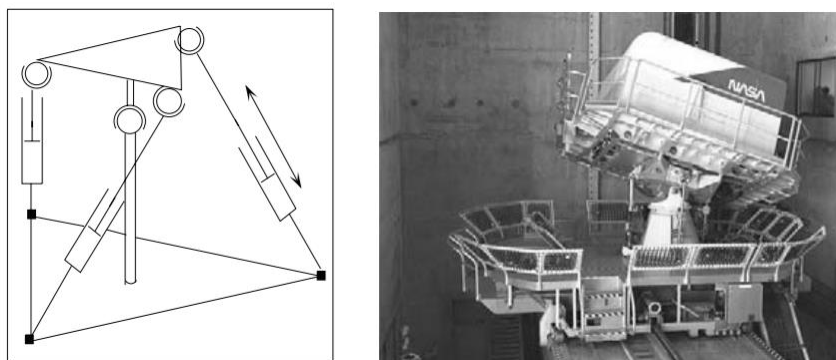
Ací podem trobar diferents tipus de robots, els quals estan classificats per el seu nombre de graus de llibertat, començant per 3 i fins a 6:

- **Robots de translació (3 g.d.l.)** : Aquest tipus de manipuladors són molt interessants per a les operacions de *Pick & Place* i per a realitzar operacions de mecanitzat. El robot més famós dintre d'aquesta categoria és el robot *Delta*, del qual en parlarem més avant per ser l'objecte d'estudi d'aquest treball. Altre robot digne de mencionar en aquesta categoria és el robot Ortoplanejador (*Orthoglide*) utilitzat en operacions de mecanitzat per la homogeneïtat cinemàtica que té degut als seus actuadors.



Imatge 13. Esquema i exemple del robot Orthoglide

- **Robots d'orientació (3 g.d.l.)** : Permeten 3 rotacions sobre un punt. Són d'interès perquè suposen una alternativa al mecanisme del canell amb 3 pars rotacional convergents. Moltes configuracions complexes d'aquests robots estan sobre restringides, pel que aconseguir que aquests es moguin serà una tasca estricta de fabricació.



Imatge 14. Esquema i exemple d'un robot paral·lel d'orientació

- **Robots amb graus de llibertat mixtos (3 g.d.l.):** És difícil determinar els graus de llibertat d'aquests manipuladors, combinen rotació i translació.
- **Robots amb 4 g.d.l. :** Són necessàries restriccions passives per poder aconseguir aquest tipus de robot.
- **Robots amb 5 g.d.l :** A l'igual que en els anteriors, es precisen restriccions passives. Alguns d'aquests són el producte d'un robot de 6 g.d.l. el qual se l'ha restringit ja que per a la funció que du a terme no es necessari un dels graus de llibertat.
- **Robots amb 6 g.d.l.:** Es poden moure en les 3 direccions de l'espai, i rotar sobre els 3 eixos. Aquest camp és molt ampli, i conté un gran nombre diferent de configuracions. Tots ells es basen en que tenen 6 actuadors. Un exemple d'aquest grup es la plataforma *Stewart* mostrada avanç.

2.3 Conclusions

S'ha mostrat breument la història dels robots paral·lels, observant com des de la teoria va passar a la pràctica, i com el seu camp d'estudi va anar augmentant.

D'açò se'n pot extraure com els camps on s'apliquen han anat augmentant. L'estudi de diferents tipus de configuracions i les necessitats de les diferents aplicacions ha creat una retroalimentació o col·laboració entre elles per dissenyar nous robots

Les diferents necessitats són el camp de treball que ha de tenir l'efector final, així com les característiques dinàmiques d'aquest d'entre d'altres. És així com cada configuració ha sigut optimitzada per a una determinada tasca o se li han fet els retocs necessàries per a que la s'adaptarà a les necessitats.

3. Robot Delta

Aquest robot és el més conegut dins dels robots espacials amb 3 graus de llibertat.

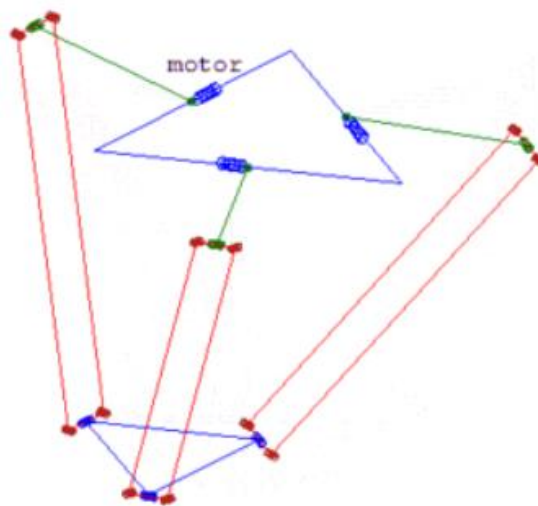
Va ser dissenyat inicialment a la *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, Suïza, per el professor Reymond Clavel (1950 -) a mitjans de la dècada del 1980. Va néixer de la necessitat de crear un robot amb de *Pick & Place* d'alta velocitat. Al 1987 l'empresa *Demauerex* va comprar la patent i va començar amb la producció de robots per empaquetat. Anys després altres empreses van començar a produir aquest robot.

A l'any 1991, el seu dissenyador va publicar la seva tesis doctoral on parlava de la creació d'un robot paral·lel ràpid de 4 graus de llibertat.

3.1 Tipus

3.1.1 Morfologia bàsica (3 g.d.l)

A la següent imatge s'observa esquemàticament com és el disseny del robot *Delta* més bàsic:



Imatge 15. Esquema d'un robot Delta de 3 g.d.l.

La base superior és fixa i està unida a cadascun dels braços utilitzant un par rotacional actuat. Aquests braços són tots iguals. El primer eslavó d'ells està seguit de dos eslavons als quals està unit per pors esfèrics (ròtula). Aquests també s'uneixen a la base utilitzant pors esfèrics.

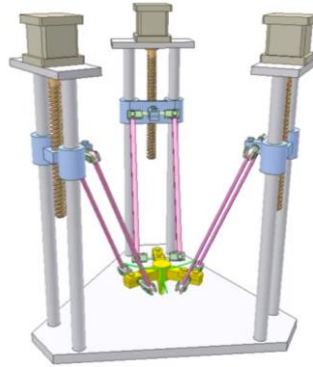
El concepte principal d'aquest robot resideix en els eslavons connectats amb pors esfèrics, els quals formen un paral·lelogram que restringeix el moviment de l'efector final a sols la translació.

Per altra banda, el fet de que els actuadors es troben a la base, fa que pugui ser tant d'accionament directe o indirecte, ja que no se li afegeix ninguna massa a les cadenes cinemàtiques. Al mateix temps, aquestes poden ser d'un material lleuger i tenir poca inèrcia.

Tot açò fa que el robot sigui òptim per a tasques on es requerissin velocitats i acceleracions elevades per a moure carregues menudes.

3.1.2 Variants amb 3 g.d.l.

Aquesta versió del robot canvia el tipus d'actuadors i també la barra prèvia als paral·lelograms mantenint la funcionalitat i el tipus de moviment de l'efector final.



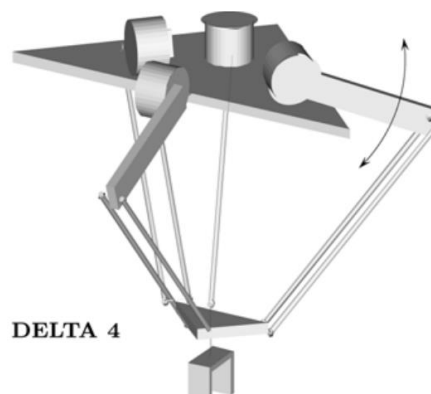
Imatge 16. Versió del robot Delta de 3 g.d.l. amb visos

En aquesta versió els actuadors són visos els quals pugen i baixen.

Existeixen altres versions de 3 graus de llibertat. Una d'elles anomenada *PocketDelta* que està adaptada per a la alimentació de parts flexibles. També existeix una altra amb accionament directe que té una acceleració molt elevada, des de 60 fins a 100 g.

3.1.3 Delta 4 g.d.l.

Està versió va ser la que va dissenyar Reymond. Consta de 3 graus de llibertat de translació i 1 de rotació.



Imatge 17. Exemple del robot Delta de 4 g.d.l.

La diferència respecte a la versió més bàsica és que implementa un pistó (par prismàtic) que uneix la base la plataforma triangular. Aquesta plataforma és passant i permet connectar el moviment amb l'efector final. El pistó permet la rotació controlada sobre ell mateix per a afegir el grau de llibertat restant.

3.1.4 Delta 6 g.d.l.

La companyia Fanuc ha aconseguit que aquest robot tingui tots els graus de llibertat possibles afegint-li un robot serial a l'efector final de la versió bàsica.

4. Robot IRB 360

L'IRB 360 és un robot paral·lel tipus Delta de la companyia ABB. És anomenat per la companyia com IRB 360 *FlexPicker* i és un dels líders del mercat en robòtica per a realitzar operacions de *Pick & Place* a alta velocitat i amb gran exactitud.

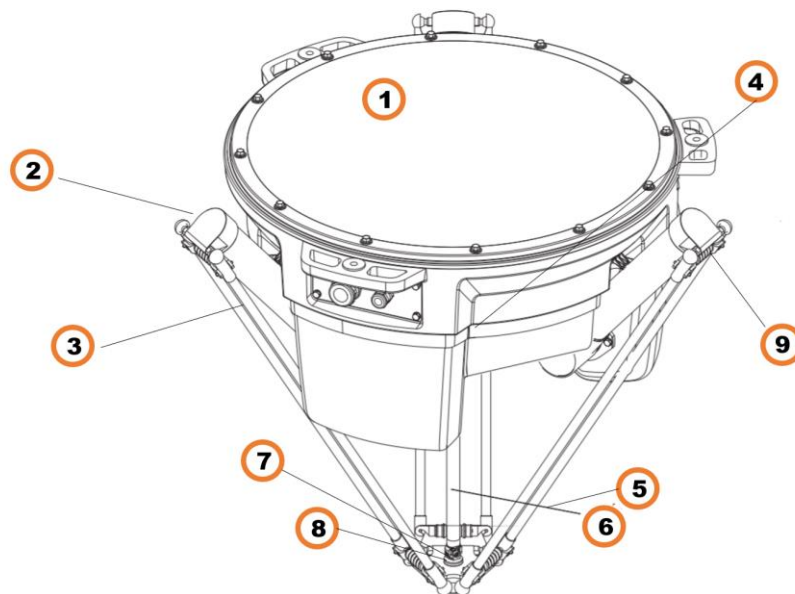
Aquest robot té diverses variants dins del mateix fabricant, sent així de diferents mides, materials i graus de llibertat.

Algunes de les seves versions van acompanyades amb un sistema neumàtic per alimentar a la ferrament que s'utilitzi. Pot anar també equipat amb sensors externs, com per exemple càmeres de visió espacial per a poder detectar el producte que es vol tractar.

Conegudes les principals aplicacions d'aquest, pot ser muntat en línies de producció per classificar productes o fer assemblatges.

4.1 Parts

Es vol començar anomenant i explicant cadascuna de les parts del robot per a poder entendre com funciona aquest i establir les bases per als pròxims apartats.



Imatge 18. Dibuix del robot IRB 360

- **1:** A partir d'ara s'anomenarà Base. És la part "fixa" del robot, i per tant la de més massa. En ella es troben els actuadors i sol tenir dins el cablejat per controlar el robot així com certs conductes neumàtics. La Base pot estar fixada a l'espai de treball mitjançant visos o cordes, açò ja depèn de les necessitats de cada usuari.
- **2:** És el primer eslavó de la cadena cinemàtica tancada. A partir d'ara s'anomenarà Barra 1. Ja que hi ha 3 cadenes, cadascuna tindrà el seu braç 1, 2 o 3. Aquest nombre s'assignarà augmentant-lo seguint el sentit antihorari. La Barra 1 està connectada a la Base mitjançant un par de revolució (R), i es

- connecta amb les barres següents que formen el paral·lelogram mitjançant un par esfèric amb una ròtula.
- **3:** Aquestes 2 barres formen el paral·lelogram. Una s'anomenarà Barra 1.1 i l'altra 1.2. Açò s'assignarà seguint el mateix sentit que avanç. Estes 2 barres s'uneixen als esclavons contigus utilitzant ròtules.
 - **4:** Encara que a aquesta imatge no s'aprecia, a la part inferior de la Base està la peça que s'anomenarà Pivot Superior. S'uneix a la base utilitzant un par R amb direcció vertical
 - **5 i 6:** Aquestes 2 peces formen un pistó. La peça 5 és la Lliscadora, i es troba a la part superior. Mentre que la peça 6, anomenada Camisa del Pistó, és troba a la part inferior. Per tant, el Pivot Superior està connectat amb la Lliscadora utilitzant una junta universal o Cardan. Aquest tipus de junta es caracteritza per estar formada de 2 pars R els quals tenen el seu eix de direcció perpendicular. Açò fa que quan el eix 1 gira, el moviment de rotació d'aquest es transmeti a l'eix 2, encara que aquest no sigui coaxial. La Lliscadora i la Camisa del Pistó estan connectades per un par P.
 - **7:** Encara que a la imatge no s'aprecia perfectament, està peça es l'Efector Final. L'Efector Final està connectat a la Camisa del Pistó mitjançant un Cardan. D'aquesta manera el moviment de rotació existent al Pivot Superior es transmet fins a l'Efector Final. Aquesta peça disposa a la seva part inferior d'una brida normalitzada a la qual se li pot connectar diferents eines de manera fàcil, permetent que l'usuari decideixi quin ús li vol donar al robot.
 - **8:** És el que anomenem Suport Final. Aquesta peça està connectada amb totes les Barres N.n (les que formen paral·lelograms) mitjançant pars esfèrics. Aquesta peça també està travessada per l'Efector Final, i està unida a ell mitjançant un par R on el seu eix es vertical. Aquesta peça seria la plataforma mòbil d'un robot Delta típic.
 - **9:** Aquesta peça és un moll que s'utilitza per mantenir la tensió entre les dues barres que formen el paral·lelogram i assegurar que les ròtules es mantinguin perfectament unides. Hi ha 6 molls al robot, 2 per cada paral·lelogram, situant-se un a la part superior i altre a la part inferior.



Imatge 19. Cardan o Junta Universal

4.2 Versions

Una vegada s'han vist les parts que formen aquest robot, es vol introduir les versions que té. En aquestes canvia la mida, el material del que està fet, els graus de llibertat i els tipus d'ambient en els que pot treballar.

Com em vist en l'apartat 3, hi ha robots Delta de diferents graus de llibertat. En aquest cas, l'IRB 360 sempre té 4 cadenes, però no a totes les seves versions els 4 cadenes existeix un actuador.

Les versions amb 3 g.d.l. tenen actuadors tan sols entre la Base i les Barres 1, 2 i 3. Aquest actuador proporciona un par R i permet controlar la rotació de les barres per atorgar-li a l'Efector Final una translació en qualsevol dels eixos.

Les versions amb 4 g.d.l. és basen en el model que va dissenyar el professor Reymond. Aquestes tenen els mateixos actuadors que la versió anterior, però a aquesta li afegeixen una rotació a l'Efector Final sobre l'eix vertical. L'actuador necessari per a aquest moviment és un situat al par R enter la Base i el Pivot Superior. El moviment controlat en aquest punt es transmet fins a l'Efector Final gràcies a l'ús dels *Cardans*, i al fet de que el par entre la Lliscadora i la Camisa del Pistó sigui prismàtic i no cilíndric.

ABB té 6 versions diferents del robot IRB 360 , i cadascuna d'aquestes té un nom de versió que canvia segons la carrega màxima que són capaços de moure i el diàmetre de l'àrea de treball.

A més, dins de cadascuna de les versions, el robot es pot demanar en la versió de materials *Standard & Wash-down* o en la versió *Stainless Wash-down*. Els models que duen al nom la paraula *Wash-down*, estan preparats per a poder ser llavats amb aigua a pressió en els ambient de treball que es necessita.

En la *Taula 1* es presenten les 6 versions i les seves característiques principals:

Taula 1. Informació sobre les diferents versions de l'IRB 360

Versions del robot	Capacitat de càrrega	Àrea de treball. Diàmetre	Nombre de eixos
IRB 360-1/800	1 Kg	800 mm	4
IRB 360-1/1130	1 Kg	1130 mm	3 o 4
IRB 360-3/1130	3 Kg	1130 mm	3 o 4
IRB 360-1/1600	1 Kg	1600 mm	4
IRB 360-6/1600	6 Kg	1600 mm	4
IRB 360-6/1130	6 Kg	1130 mm	4

Cal tenir en compte que l'àrea de treball del robot és el diàmetre màxim que aquest pot aconseguir en certa posició, però que no és comú per a totes les altures com ara veurem.

El nombre d'eixos fa referència al nombre d'actuadors que té, i per tant al nombre de graus de llibertat.

Aquest robot té una precisió de repetibilitat de la posició de 0.1 mm, i depenen del tipus de material del que estigui fet la precisió angular del quart eix pot ser de 0.4º per a les versions *Standard* i *Stainless*, i de 1.5º per a les de *Wash-down*.

4.3 IRB 360-6/1600 Standard

Aquesta versió va a ser la que estudiarem i modelitzarem en aquest treball.

Basant-nos en les dades anteriors, la capacitat màxima d'aquest robot és de 6 kg, i té 4 eixos motrius.

A més, la versió Standard té una precisió de 0.4º al quart eix.

Altres dades importants que són rellevants per al tipus de treball que es vol dur a terme són el temps de cicle i l'espai de treball.

Per a aquest robot tenim els temps de cicle en segons que apareixen a la *Taula 2*:

Taula 2. Temps dels cicles per al robot IRB 360-6/1600

	0.1 Kg	1 Kg	3 Kg	6 Kg	8 Kg
25/305/25 mm	-	0.43	0.48	0.60	-
90/400/90 mm	-	0.57	0.63	0.80	-

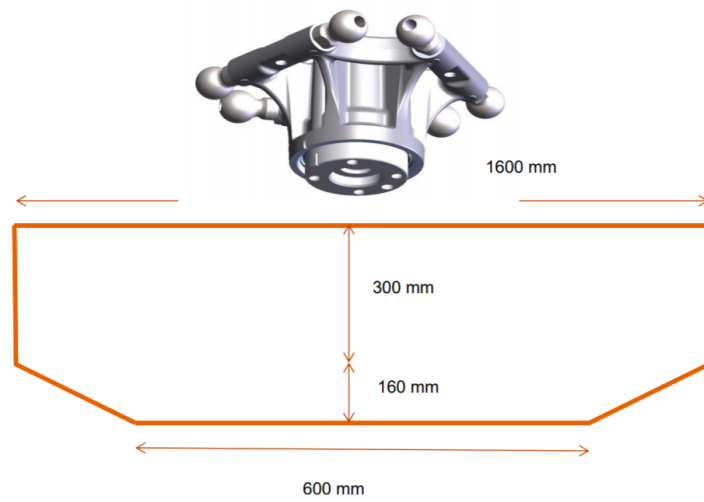
Per entendre aquesta taula, a la part esquerra tenim els desplaçaments del cicle. Al primer cas s'inicia des de 25 mm de la posició neutral, es mou la càrrega a 305 mm de la posició neutral i per últim torna al lloc inicial.

Com s'observa en aquest cas, aquest robot no carrega 8 Kg perquè excedeix el màxim de la seva capacitat, i a més no s'ha fet cap prova amb 0.1 Kg.

Si aquestes dades s'analitzen juntament amb les de precisió, s'observa com el comportament d'aquest robot és molt precís i molt ràpid, just com s'havia descrit per aquest tipus de robots paral·lels.

Pel que fa al seu camp de treball, la Imatge 20 mostra una secció del cilindre que ocuparia.

Per tant, el nom de la versió ve donat per el diàmetre màxim que aquest aconseguix a les parts més elevades del seu camp de treball, però quan més cap a baix es troba l'Efecter Final el diàmetre es redueix fins a 600 mm.



Imatge 20. Efecter Final, Suport Final i espai de treball del robot IRB 360-6/1600

5. Modelatge

5.1 Necessitats

Actualment el camp de la robòtica està molt present en diferents llocs com a objecte d'estudi.

Qualsevol robot que es dissenyi necessitarà ser estudiat per poder obtenir les eines adequades per a poder controlar-lo. El fet de controlar-lo implica que a l'hora de voler fer que aquest realitzi una acció, el sistema de control haurà de conèixer quina quantitat d'energia ha de proporcionar als seus actuadors, i amb quins intervals, per a poder arribar a la posició desitjada.

Aquesta mena de càlculs és complexa i requereix de àlgebra matricial així com derivativa per a poder obtenir les variables buscades. Normalment, al tema de la robòtica, hi ha dos procediments per a treballar per aconseguir informació de la situació del robot. Aquests dos fan referència a la cinemàtica del robot, i no tenen en compte les seues masses, inèrcies, acceleracions i demés. Els dos camins a seguir per a poder obtenir informació són:

-**Cinemàtica directa:** En aquesta, es tracta d'obtenir la posició i orientació de l'efector final si es coneix la situació dels actuadors del robot.

- **Cinemàtica inversa:** Ací, es tracta d'obtenir la posició de cada actuator si es coneix la de l'efector final.

Quan es fa referència a posició de l'actuator, ens referim al desplaçament d'ell mateix respecte del sistema de referència global.

Amb aquestes dos maneres es pot obtenir la informació necessària per a posicionar el robot, be sigui el seu efector final, o la posició que adopten els seus esclavons. Però en la realitat el que es busca, com hem anomenat, és l'energia que se li subministra a cada actuator. Per a aconseguir açò s'hauria de fer càlculs on entre en joc la dinàmica del robot.

Aquests dos procediments donen fàcilment resultat quan estem parlant de robots de cadena cinemàtica oberta (robots serials). En aquest cas, després d'un gran nombre de càlculs, es pot obtenir l'equació necessària que ens dona el resultat que busquem.

Però quan parlem de robots de cadena cinemàtica tancada espacials (robots paral·lels), el problema es complica degut a les restriccions que s'apliquen mitjançant les diferents cadenes.

Sense entrar molt en detall, es pot dir que l'estudi dels robots paral·lels, per tal d'obtenir la informació necessària per al seu control, és complex i necessita d'una gran destresa matemàtica.

Degut a tot açò, avui en dia l'ús de la informàtica acaba sent essencial per a poder resoldre aquest tipus de problemes. Gràcies a aquesta, si es crea un model correcte del robot que es vol estudiar, i es treballa de la manera deguda en l'entorn informàtic més

apropiat, es pot aconseguir que el robot en qüestió sigui més fàcil de simular i d'obtenir resultats.

A més, al món industrial al que vivim, el fet de crear un model a partir del qual els demés puguin treballar es indispensable per a poder agilitzar tot tipus de tasques.

5.2 Objectius

Sabent de la necessitat a aquest àmbit, en aquest treball es vol crear un model del robot IRB 360-6/1600 el més fidel possible a les dades proporcionades avanç, i per tant el més òptim per a futures simulacions.

Es va escollir aquest robot ja que la companyia ABB té un gran renom i per tant els seus productes es troben arreu del món. A més, amb la possibilitat de poder conèixer el camp dels robots paral·lels, es buscà l'IRB 360 que compleix aquests requisits. Altre factor a favor va ser que aquest robot és un robot molt utilitzat a diferents línies de muntatge ja que té un temps de cicle molt ràpid.

La pròpia companyia ABB té un programa anomenat *RobotStudio* per a poder simular tots els seus robots de manera cinemàtica, però no dinàmica.

En aquest treball, es vol crear un model amb el programa ADAMS View, el qual s'utilitza per a diferents tipus de simulació. Aquest objectiu, pot tenir un gran nombre de problemes, com a continuació es pot observar, per a la precisió del model.

5.3 Procediment

Per tant de poder estudiar els robots comercials, la majoria de fabricants posen a disposició dels usuaris diferents arxius de CAD (Computer Assisted Drawing) dels seus productes, per a que aquests es puguin descarregar lliurement.

Amb aquesta disponibilitat, es permet que qualsevol persona del món pugui partir del mateix punt per a obtenir resultats amb el material "oficial" de cada companyia.

En el nostre cas, per a poder començar amb el modelatge, cal descarregar l'arxiu CAD que es vulgui de l'enllaç següent, el qual pertany a la pàgina oficial d'ABB:

<https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-360/cad>

Si s'accedeix a aquest, s'observa la taula de la *Imatge 21*:

Ver.	DXF DWG 2D	SAT	STEP	PARASOLID	IGES	RobotStudio 5.15
ALL	comp1					
1-800-3Axes		joint	joint	joint	joint	
1-800-Standard		joint	joint	joint	joint	
1-800-WashDown		joint	joint	joint	joint	
1/3-1130-3Axes		joint	joint	joint	joint	
1/3-1130-Standard		joint	joint	joint	joint	
1/3-1130-WashDown		joint	joint	joint	joint	
1/3-1130-Stainless		joint	joint	joint	joint	
8-1130-Standard		joint	joint	joint	joint	sim
1-1600-Standard		joint	joint	joint	joint	
6-1600-Standard		joint	joint	joint	joint	sim

Imatge 21. Diferents arxius per descarregar del robot IRB 360

En ella s'observen les diferents versions del robot, així com diferents arxius per a descarregar.

Cada arxiu d'aquest, són les peces del robot guardades en un format de CAD diferent.

En el nostre cas, es descarrega el arxiu **.step** que correspon a la columna **STEP** de la versió que anem a estudiar: **6-1600-Standard**.

En aquest tipus de projectes, en els quals es parteix de peces de CAD exportades, sol haver un gran nombre de problemes. Aquests es deuen a que al guardar els arxius en un format de CAD i després obrir-los en un programa en el qual no ha sigut dissenyada eixa peça, aquesta té problemes de reconstrucció, perdent-se així en molts cassos certes parts de la geometria de la peça.

Per a realitzar açò, s'han provat diferents combinacions de formats per aconseguir la que millors resultats donarà. Després de nombrosos intents, s'ha decidit utilitzar com a millor opció el programa de modelatge CAD **SolidWorks 2018**, amb les peces importades en format **.step**.

Es treballa d'aquesta manera, perquè aquest programa facilita molt l'assemblatge del robot, ja que és molt intuïtiu

Per a començar, es crea una carpeta anomenada "**Peces**". S'obri el **SolidWorks 2018** i s'arrastra la primera peça del arxiu que em descarregat avanç damunt de l'espai de treball del programa. Una vegada em fet açò, un missatge apareixerà dient si es vol reconstruir la peça, al qual se li diu que sí. Després de reconstruir la peça aquesta es guarda amb el format **.sldp** en la carpeta creada anteriorment.

Açò es farà amb totes les peces descarregades. Hi haurà cassos en els que la peça descarregada i la reconstruïda no presenten cap canvi, en aquests, es guardarà la que tenim amb el format **.sldp** a la carpeta nombrada avanç.

Una vegada fet tot açò, es crearà un nou assemblatge amb el **SolidWorks 2018**. En aquest, cal tenir en compte que el robot estigui al llarg de l'eix Y, estant el Pivot

Superior, la Lliscadora, la Camisa del Pistó i l'Efecter Final i el Suport Final alineats amb ell.

L'estat d'aquest assemblatge inicial és molt important. Cal fixar-se que els braços estan perfectament repartits a 120º cadascun, i que un d'ells està completament centrat a un pla principal. A més, la posició de la Lliscadora i la Camisa del Pistó no s'han de superposar totalment.

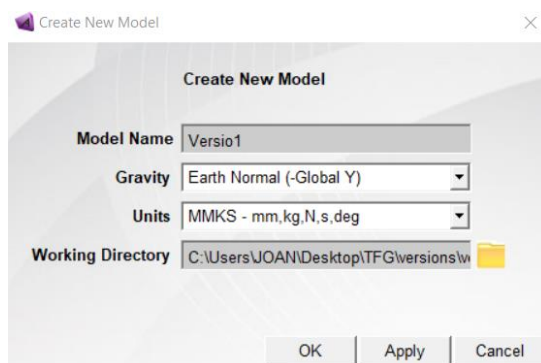
Després de tot açò, es guarda l'assemblatge en format **STEP 214**. Ací s'han provat diferents formats també, i aquest es el que millors resultats dona. A diferencia del format STEP 212, aquest guarda el color de les peces.

Aquest arxiu s'ha adjuntat amb aquest treball amb el nom de "**Assemblatge.STEP**"

Modelatge amb ADAMS

Es crea una carpeta anomenada "**Versions**", i dins d'aquesta es creen les carpetes anomenades **Versio 1** i **Versio 2**.

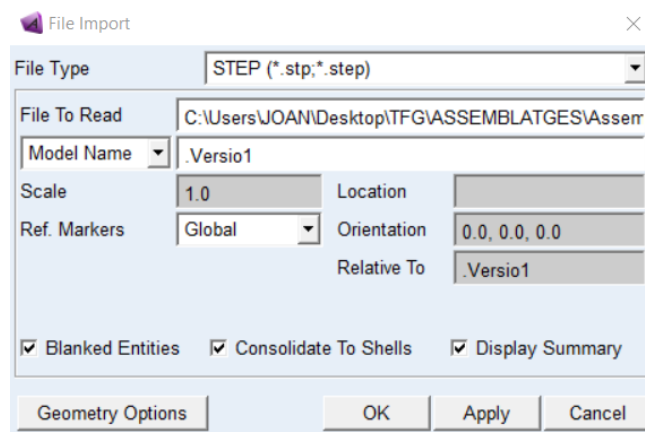
S'inicia el programa **ADAMS View** i es crea un nou model.



Imatge 22. Captura del programa ADAMS View

S'anomena el model com a "**Versio1**", es deixa la casella de la gravetat tal i com està (negativa a l'eix Y) i es selecciona com a nou directori la carpeta "**Versio 1**".

A continuació, es farà clic a **File** (dalt a la esquerra) i dins a **Import**. Apareixerà una finestra, i dins d'aquesta es seleccionarà al primer desplegable el tipus d'arxiu **STEP(*.stp,*.step)**, es farà doble clic sobre l'espai blanc de **File to Read** i ací es buscarà l'arxiu guardat anteriorment com **Assemblatge.STEP**. Al desplegable de l'esquerra es selecciona **Model Name** i es fa doble clic a l'espai en blanc i es selecciona **Versio1** a la finestra que apareix. La resta es deixa com està i es fa clic a **OK**.



Imatge 23. Captura del programa ADAMS View

Ara mateixa, apareixerà un missatge de **WARNING** el qual es tanca. Tot seguit es polsa la lletra **F** (centrar el model), després la lletra **G** (fer la reixa invisible) i per últim la lletra **S + shift** (fer els gràfics sòlids). L'espai de treball deu quedar com a la imatge:

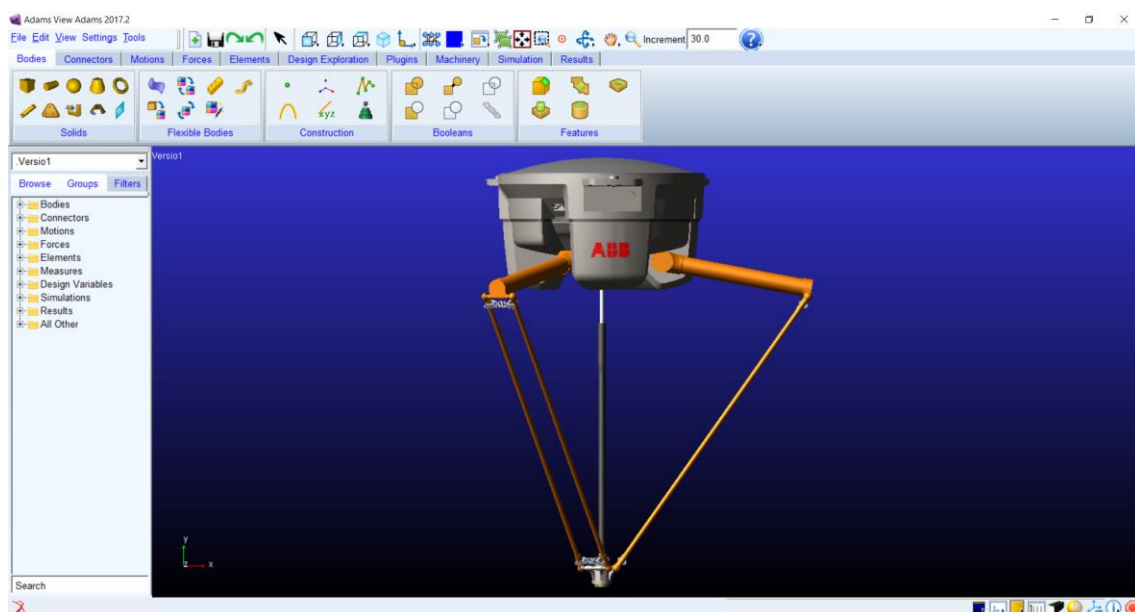


Imatge 24. Captura del programa ADAMS View

Si es vol rotar el model s'utilitza la tecla **R**, per fer zoom la lletra **Z** i per moure'l la lletra **T**. Utilitzant aquestes es pot comprovar com la geometria ha sigut creada amb molta exactitud.

El pas següent va a ser unificar les peces necessàries i dotar-les de material i un centre de masses.

Partint de l'entorn de treball que ens dona ADAMS View:

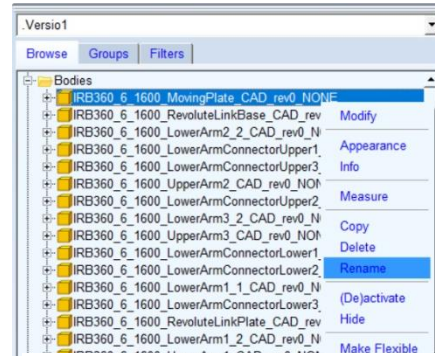


Imatge 25. Captura del programa ADAMS View

Ens dirigirem a l'apartat **Bodies** de l'esquerra i l'obrirem. Ací es canviarà de nom les peces per a que tinguin els que s'han descrit avanç a l'apartat 4.1.

Per fer açò, començarem fent clic dret sobre la peça **IRB360_6_1600_MovingPlate_CAD_rev0_NONE**. Una vegada estem al menú desplegable clicarem sobre **Rename**. Ací es substituirà el text de la casella per: **.Versio1.SuportFinal**

Amb aquest procediment es canviarà el nom a totes les peces següents pel nom indicat en la *Taula 3*:



Imatge 26. Captura del programa ADAMS View

Taula 3. Canvi de nom de les peces

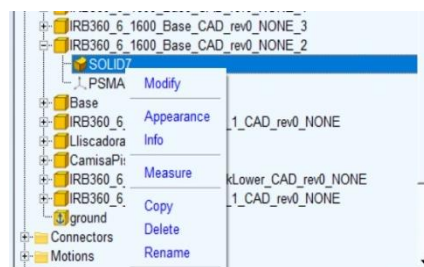
Nom de la peça	Nom a introduir al camp de text
IRB360_6_1600_RevoluteLinkBase_CAD_rev0_NONE	.Versio1.PivotSuperior
IRB360_6_1600_LowerArm1_1_CAD_rev0_NONE	.Versio1.Barra1_1
IRB360_6_1600_RevoluteLinkPlate_CAD_rev0_NONE	.Versio1.EfectorFinal
IRB360_6_1600_LowerArm1_2_CAD_rev0_NONE	.Versio1.Barra_2
IRB360_6_1600_UpperArm1_CAD_rev0_NONE	.Versio1.Barra1
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE	.Versio1.Base
IRB360_6_1600_RevoluteLinkUpper_CAD_rev0_NONE	.Versio1.Lliscadora
IRB360_6_1600_RevoluteLinkLower_CAD_rev0_NONE_2	.Versio1.CamisaPisto

Amb tot açò s'haurà canviat el nom a totes les peces que ens van a interessar per a aquest projecte. No obstant, hi ha peces que al ser exportades des d'un altre programa i en un format de CAD que no el propi d'ADAMS View, s'han "dividit" en diferents cossos, i no formen un sol sòlid.

Per a canviar açò hi haurà que canviar el nom a certs sòlids que el programa ha creat. El procediment de canvi de nom seguirà les mateixes directrius que avanç en quant a les opcions que s'han de clicar, però el principal canvi és que ací no canviarem el nom dels cossos (Bodies) sinó que serà el dels sòlids (SOLID). Com s'aprecia a la *Imatge 27*, cada cos es pot obrir i apareix dins d'ell un sòlid. A aquest li canviarem el nom depenent de la peça que volem crear:

Per a crear la **Base** començarem seleccionant el sòlid que es troba dins la peça **IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_2** i li canviarem el nom per **.Versio1.Base.SOLID7**

Amb açò, la peça passarà a no poder desplegar-se, ja que no tindrà res al seu interior.



Imatge 27. Captura del programa ADAMS View

Cal tenir en compte que cada vegada que s'importa un arxiu en format CAD a ADAMS View, el programa assigna els sòlids que es troben dins dels cossos de manera diferent. Per tant, si esteu seguint els passos tal vegada us trobeu amb que els sòlid seleccionat en aquest cas (SOLID7), té un altre nombre.

Per acabar de crear la **Base** es substituiran els noms dels sòlids que hi ha dins les peces següents, sempre tenint en compte la dada anterior:

Taula 4. Canvi de nom per als sòlids de la Base

Nom de la peça i el sòlid	Nou nom
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_3.SOLID8	.Versio1.Base.SOLID8
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_4.SOLID9	.Versio1.Base.SOLID9
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_5.SOLID10	.Versio1.Base.SOLID10
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_6.SOLID11	.Versio1.Base.SOLID11
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_7.SOLID12	.Versio1.Base.SOLID12
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_8.SOLID13	.Versio1.Base.SOLID13
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_9.SOLID14	.Versio1.Base.SOLID14
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_10.SOLID15	.Versio1.Base.SOLID15
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_11.SOLID16	.Versio1.Base.SOLID16
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_12.SOLID17	.Versio1.Base.SOLID17
IRB360_6_1600_Base_CAD_rev0_NONE_13.SOLID18	.Versio1.Base.SOLID18

Amb tot açò, el cos de la Base quedarà complet amb tots els sòlids.

L'altra peça que està dividida és la Camisa del Pistó. Per solucionar-ho:

Taula 5. Canvi de nom per als sòlids de la CamisaPistó

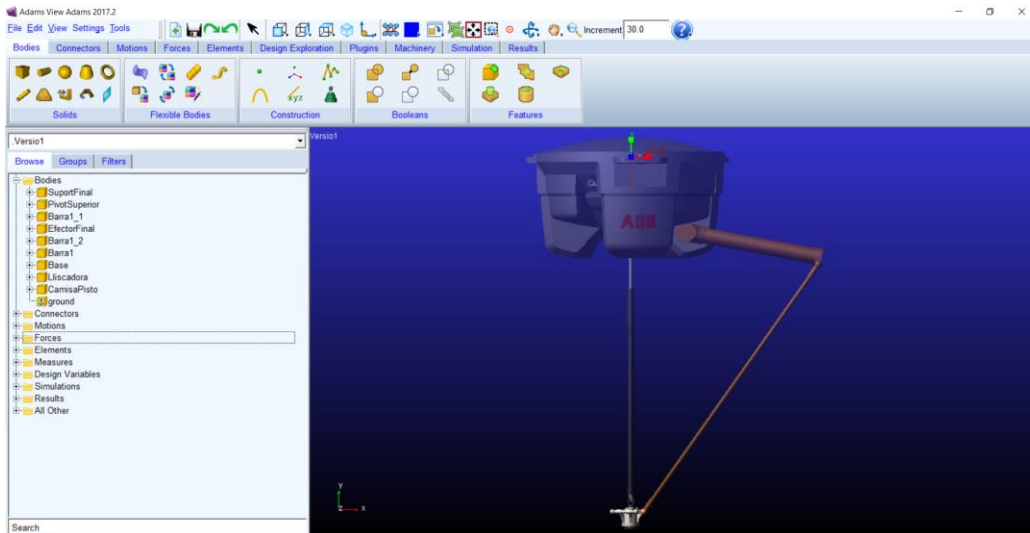
Nom de la peça i el sòlid	Nou nom
IRB360_6_1600_RevoluteLinkLower_CAD_rev0_NONE.SOLID2	.Versio1.CamisaPisto.SOLID2

A continuació, s'esborren totes les peces a les quals no s'ha canviat el nom. Aquestes són totes les quals el seu nom comença per IRB360.... Per poder fer-ho, es fa clic dret sobre la peça desitjada i es selecciona **Delete**.

Després de totes aquestes operacions, polsem la tecla **F + shift** (vista frontal) i després sols la **F**, i l'entorn d'ADAMS ens quedarà com a la *imatge 28*:



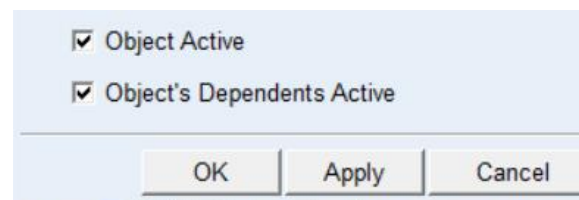
Imatge 28.
Captura del programa ADAMS View



Imatge 29. Captura del programa ADAMS View

Com es pot comprovar a la *Imatge 29*, al model que tenim ara falten moltes peces. Açò s'ha fet per diverses raons.

En primer lloc, s'han eliminat els molls que serveixen per donar tensió als pars esfèrics dels paral·lelograms. Aquest fet no implica cap gran canvi respecte al model, ja que una vegada creem els pars amb el programa, aquests quedaran perfectament units i no existeix ninguna possibilitat de que es solten com podria passar a la realitat. Així es simplifica el model ja que se li han llevat peces i pars (els que tindrien els molls amb les Barres N.n) i per tant a l'hora de fer simulacions l'ordinador requerirà un menor poder computacional. En el cas de que les primeres simulacions funcionaren bé, i es vulgues afegir aquests molls, es podria haver desactivat aquestes peces fent clic dret damunt d'elles i seleccionant **(De)activate** i després llevant els dos tics de la finestra emergent, en compte d'haver-los eliminat.



Imatge 30. Captura del programa ADAMS View

Per altra banda, sols s'ha deixat la cadena o el braç 1 el qual està format per Barra1, Barra1_1 i Barra1_2. A aquesta decisió s'ha arribat després de varies simulacions amb prova i error. Degut a que estem treballant amb peces importades, de les quals no tenim els plànols, s'han intentat obtenir aquests mitjançant programes de CAD, però les geometries poc precises ho han fet impossible. Açò era un punt molt important a l'hora de prendre la decisió de com treballar.

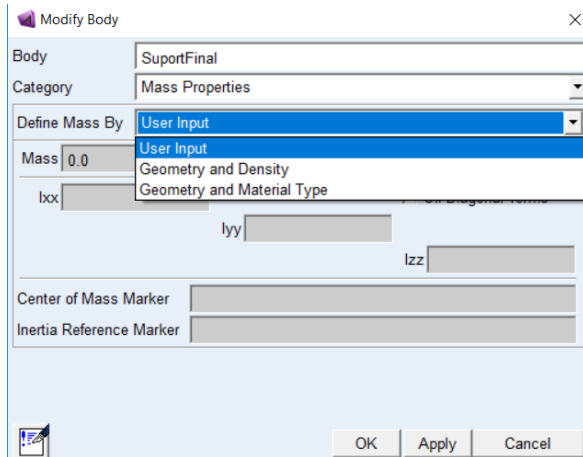
Si s'està buscant precisió, qualsevol desviació és important, i el problema principal resideix en on situar els pars. Quan es treballa amb ADAMS View, aquest et demana el punt de l'espai exacte on es troba el par, i se li ha de donar amb la major exactitud possible. Per tant, es crearan tots al braç 1, i després aquest es copiarà junt amb els seus pars. Es treballa així ja que si crearem els pars a cadascuna de la barra, ens arisquem a que aquests no estiguessin distribuïts de manera uniforme i provocaren desviacions a l'hora de moure el robot.

El següent pas serà assignar-li el material a cada cos i d'aquesta manera li apareixerà un centre de gravetat al mateix.

Açò es fa fent clic dret sobre el cos que es vol fer, i al requadre que apareix es fa clic sobre **Modify**.



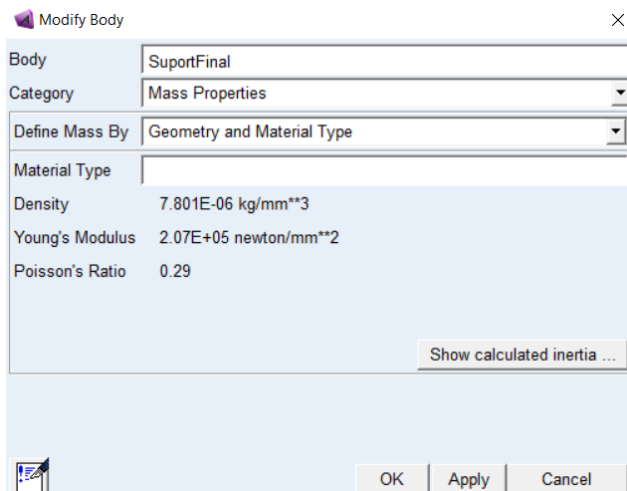
Imatge 32. Captura del programa ADAMS View



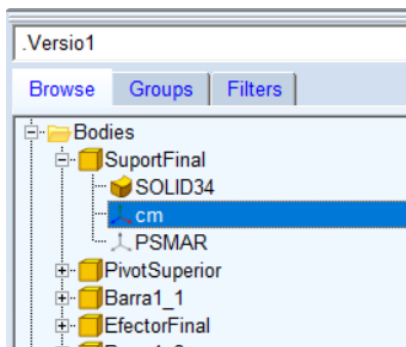
Imatge 31. Captura del programa ADAMS View

A continuació, al requadre que apareix, es farà clic al desplegable de **Define Mass By**, i dins d'aquest es seleccionarà la opció **Geometry and Material Type**.

Després, es fa doble clic al requadre blanc que està al costat d'on posa **Material Type**, i de la llista que apareix es fa doble clic sobre **stainless**. Després se li dona **OK** al requadre en el que estem de **Modify Body**.



Imatge 33. Captura del programa ADAMS View



Imatge 34. Captura del programa ADAMS View

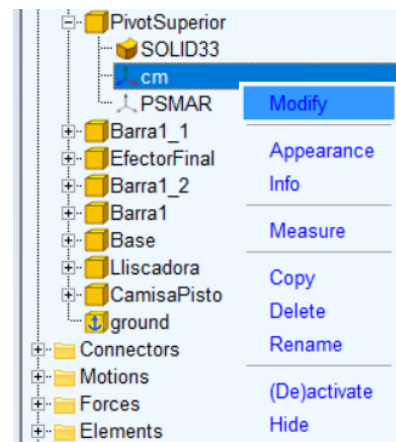
Amb tot açò, un nou element apareixerà dins del cos que em modificat. Aquest s'anomena **cm**. Aquest, és un **MARKER** pertanyent a eixe cos, i està ubicat en la posició del centre de masses (CM) de la peça.

Aquesta operació es du a terme amb tots els elements que estan dins de la ramificació de **Bodies**, a excepció de **ground**.

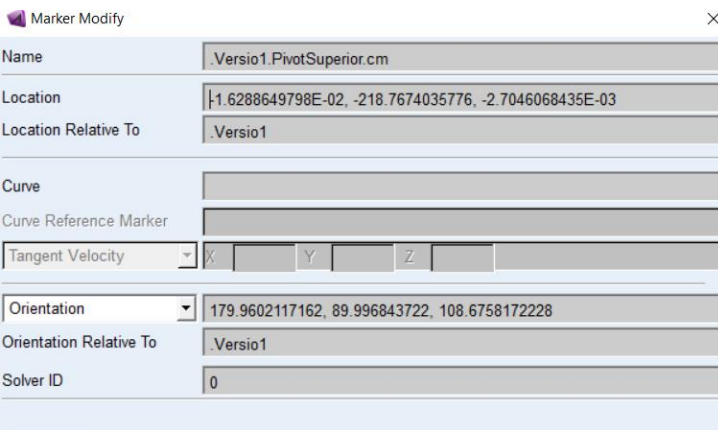
En aquest punt, totes les peces deuen tenir el seu centre de masses assignat. No obstant això, aquests deuriem d'estar en certs punts concrets per a poder assegurar la completa uniformitat del robot. Si comprovem aquests punts ens n'adonem que no es així, i per tant caldrà modificar-los per guanyar precisió.

En aquest cas, estem assumint que els dissenys de les peces reals són perfectes, i tenen el centre de masses en el punt exacte en el que es necessita. A la realitat, no es així, ja que sempre hi ha certes desviacions, o el mínim desgast d'una peça pot fer variar la posició del seu centre de masses unes mil·lèsimes. Com nosaltres anem a realitzar una simulació amb un programa d'ordinador, és més fàcil per a que aquesta funcioni si donem per segur que els CM estan correctament.

En primer lloc, comencem analitzant el CM del **Pivot Superior**. Per a fer açò, farem clic dret sobre el cm que es troba dintre de la ramificació del **PivotSuperior**. Una vegada ací, farem clic sobre la opció **Modify**.



Imatge 35. Captura del programa ADAMS View



Imatge 36. Captura del programa ADAMS View

A la finestra que s'obri podem observar quina és l'ubicació d'aquest punt, i també la orientació dels seus eixos. En el nostre cas, el que ens interessa és la informació que hi ha dins del requadre de **Location**. En aquest obtenim que les coordenades són:

-1.6288649798E-02, -218.7674035776, -2.7046068435E-03. La primera indica la posició sobre l'eix X, la segona el Y i l'última el Z. Si tenim en compte la posició i l'orientació d'aquesta peça, el CM deuria d'estar sobre l'eix Y, però hi ha unes petites desviacions. Encara que petites, poden causar errors. Per tant, aquestes es corregiran escrivint al requadre de **Location: 0, -218.7674035776, 0**. A continuació cliquem sobre **OK**, i un missatge de **WARNING** ens apareixerà indicant-nos que les propietats referents a la massa ja no seran calculades de manera automàtica. El podem tancar sense cap problema.

Aquests passos també s'hauran de repetir per a poder canviar la posició dels CM de les peces que estan indicades a la taula següent:

Taula 6. Canvi de posició dels CM de l'eix central

Nom de la peça	Posició inicial	Posició nova
Lliscadora	-8.4463638947E-04, -647.1592748985, -2.233584847E-03	0, -647.1592748985, 0
CamisaPisto	-2.4252126551E-04, -846.6937526883, -7.2942982817E-04	0, -846.6937526883, 0
EfactorFinal	-2.6796468011E-02, -1330.0940345297, 5.8004213031E-02	0, -1330.0940345297, 0
SuprotFinal	-7.3056857009E-04, -1309.3160023049, 1.6907100479E-03	0, -1309.3160023049, 0
Barra1	409.1771652841, -314.2759848157, -1.0888362327	409.1771652841, -314.2759848157, 0

La cadena formada per el **Pivot Superior**, la **Lliscadora**, la **Camisa del Pistó**, l'**Efactor Final** i el **Suport Final** es suposa que ha d'estar perfectament alineada amb l'eix Y. Seguint esta hipòtesi, els CM de cada peça s'ha situat sobre aquest.

Pel que fa a la **Barra1**, aquesta es suposa que ha de tindre el seu CM sobre el pla XY, per tant s'ha canviat la coordenada Z del seu CM a 0.

La **Base** no cal comprovar-la ni fer-li cap canvi ja que al nostre disseny aquesta estarà fixa, i per tant el seu CM no proporcionarà cap tipus de desviament.

Per altra banda, les cal comprovar que la **Barra1_1** i la **Barra1_2** tenen el seu CM perfectament simètric respecte al pla XY. S'observa de la manera anterior quina és la posició d'aquests:

Taula 7. Posicions dels CM de les Barres1_n

Peça	Posició
Barra1_1	366.9606432827, -844.708950377, 50.3187839045
Barra1_2	366.9386405393, -844.7405178621, -50.3223779456

Com podem observar a la **Taula 7**, els seus valors difereixen un poc. En el cas de les posicions, el valor de la X i la Y deuria ser el mateix, i el de la Z tenir el mateix valor absolut.

Per a resoldre açò, i posat que no sabem quin seria el seu punt exacte, es procedirà a calcular el valor mitjà de cada coordenada, i aquest serà el que s'aplicarà:

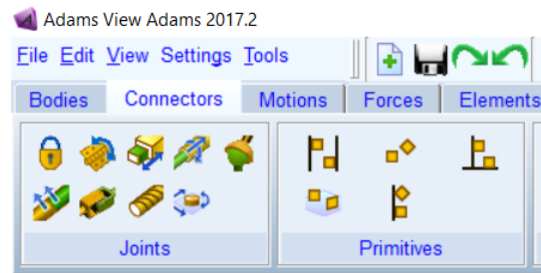
Taula 8. Noves posicions dels CM de les Barres1_n

Peça	Nova Posició
Barra1_1	366.949641911, -844.7247341195500, 50.32058092505
Barra1_2	366.949641911, -844.7247341195500, -50.32058092505

Després de tots aquests canvis, el model s'ha quedat en un dels punts més precisos assolibles per al programa ADAMS View. Llavors, ara es procedeix amb la creació dels pars.

Per a accedir a l'apartat de crear els parells cinemàtics, caldrà fer clic sobre **Connectors**, a la part superior esquerra de l'entorn de treball.

En aquest apartat trobarem els diferents tipus de pars que ens van a fer falta.

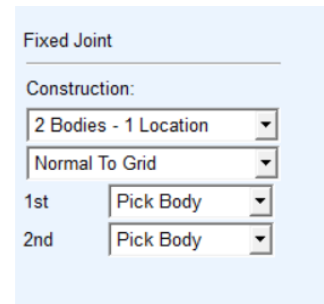


Imatge 37. Captura del programa ADAMS View



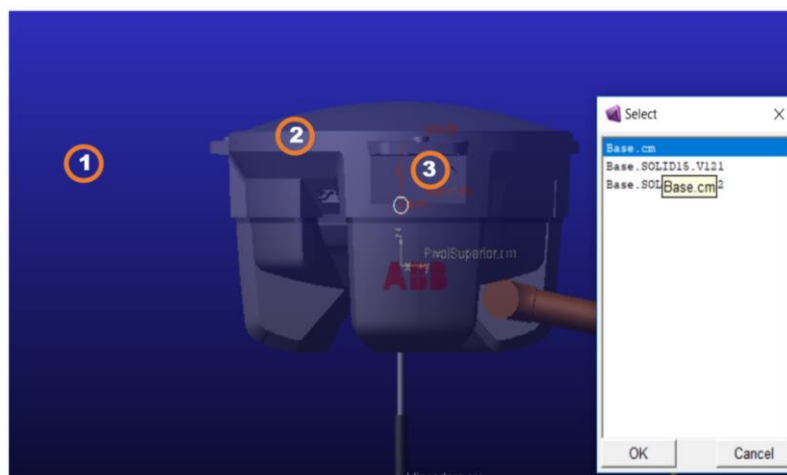
Imatge 38. Captura del programa ADAMS View

Començarem fixant la **Base**. En primer lloc es clicar sobre el símbol en **forma de cadenat**, el qual s'utilitza per a crear pars fixos. Aquests no permeten cap tipus de translació ni de rotació.



Imatge 39. Captura del programa ADAMS View

Tot seguit apareixerà a l'esquerra de la pantalla, sobre els abres el requadre anomenat **Fixed Joint**. Ací deixarem els camps tal i com estan, i sobre l'espai de treball clicarem primer sobre l'espai lliure (**ground**) (1), després sobre la **Base** (2), i per últim amb ajuda del boto dret buscarem el **Base.cm** (3) per ubicar el parell cinemàtic. Per a realitzar tot açò ens podem ajudar de les tecles R i T per rotar i moure el model de manera que ens sigui més fàcil treballar amb ell.

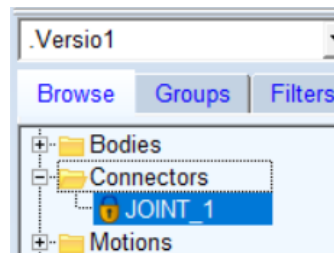


Imatge 40. Captura del programa ADAMS View

Després d'açò, apareixerà la icona d'un cadenat sobre la Base, i a l'arbre de connectors apareixerà un element anomenat **Joint_1**. Es canviarà el nom d'aquest element per **FIX**.

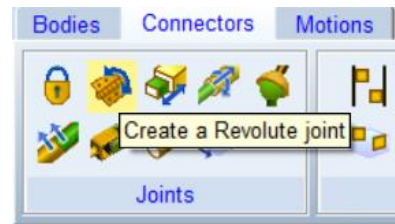


Imatge 42. Captura del programa ADAMS View

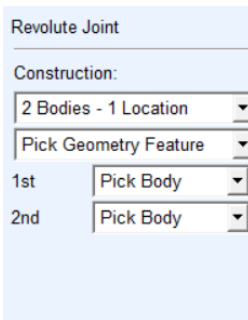


Imatge 41. Captura del programa ADAMS View

El següent pas serà crear el parell cinemàtic entre la **Base** i la **Barra1**. Aquest es un par R. Per a dur-ho a terme clicarem sobre la segona icona de l'apartat **Connectors**. Aquesta té forma de forntissa i s'utilitza per crear pors de revolució.



Imatge 43. Captura del programa ADAMS View



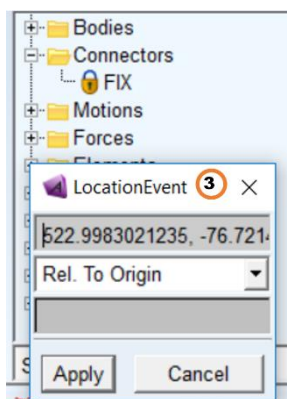
Imatge 44. Captura del programa ADAMS View

A continuació esn apareixerà un requadre a la part esquerre de la pantalla amb el títol **Revolute Joint**. Dins d'aquest canviarem el que posa al segon desplegable per **Pick Geometry Features**. De tal manera que aquest requadre quede come està indicat a la *Imatge 44*..



Imatge 45. Captura del programa ADAMS View

Per a realitzar aquesta operació, es clicarà primer sobre la **Base** (1), després sobre la **Barra1** (2), i a continuació es fa clic dret sobre l'espai lliure (**ground**) (3) i un requadre apareixerà a la part de baix a la esquerra amb el nom **LocationEvent** (3).



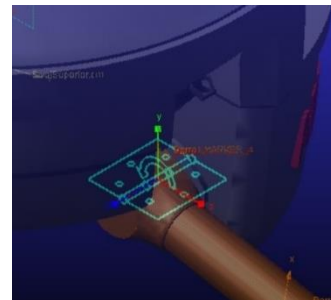
Imatge 46. Captura del programa ADAMS View

Amb aquest requadre elegirem la posició on volem que s'ubique el nostre parell cinemàtic, llavors escriurem dins del requadre de dalt les coordenades: **200.0, -275.0, -29.0**. Ens assegurarem que al desplegable estigui **Rel. To Origin**, i li donarem a **Apply**.

Després d'açò, es torna a fer clic sobre el **ground**, i apareixerà el mateix requadre una altra vegada. Aquest serà per a definir la direcció de l'eix del par R. Aleshores introduïrem dins del primer requadre les coordenades: **200.0, -275.0, 37.0**.

A ADAMS View hi ha diferents formes de treballar, i com hem enumerat diverses vegades, importar geometries CAD sempre dificulta treballar amb elles. Per això, després de nombrosos models i proves, s'ha decidit que la forma d'aconseguir els pars més precisos era calculant els punts on es troben. Aquest càlcul dels punts i de la direcció s'ha fet utilitzant SolidWorks, el qual et permet mesurar distàncies dins l'assemblatge de forma molt intuïtiva. D'aquesta manera, ja que la geometria desitjada ens ho permetia, es va mesurar la distància des del punt O del model al centre de les dos circumferències que formaven el cilindre que alberga el par de revolució entre la **Base** i la **Barra1**. Aquest és un punt molt important, ja que ací es on comença el moviment, i a més és el par que volem controlar per poder manipular el robot.

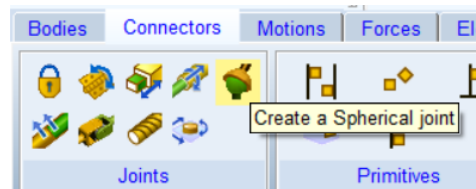
Si tot ha anat bé, una frontissa deu haver aparegut sobre el model per a representar el par cinemàtic. A més, a l'arber de **Connectors** haurà aparegut un nou element, el qual passarà a tindre el nom de **R1**.



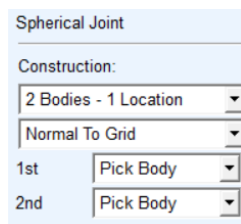
Imatge 47. Captura del programa ADAMS View

El següent pas serà crear els pars cinemàtics entre la **Barra1** i les **Barres1_n**. Per a fer açò s'han estudiat diferents cassos. Sabent que el par que les uneix en la realitat és esfèric, aquest es pot descompondre en dos pars de rotació, ja que s'aproximaria molt al moviment real. Després de provar aquesta opció, i veure que els resultats no eren molt favorables, es va optar per unir-les mitjançant un par esfèric.

Per dur a terme açò, es clicar sobre la quinta icona de la fila superior de l'apartat **Joints**, dins de **Connectors**. Aquesta s'utilitza per crear pars esfèrics.



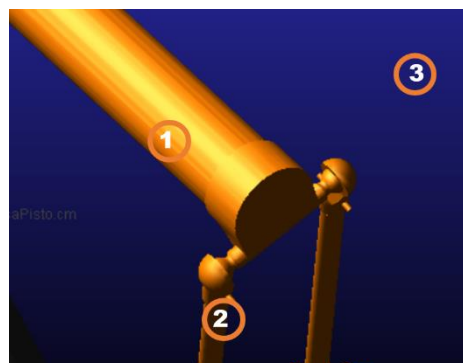
Imatge 48. Captura del programa ADAMS View



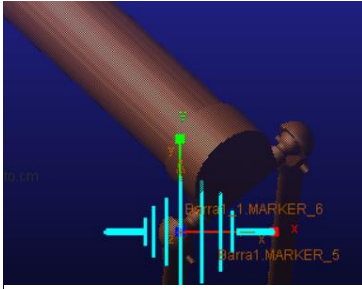
Imatge 50. Captura del programa ADAMS View

A continuació, apareixerà un requadre a la part esquerra el qual s'anomena **Spherical Joint**, i aquest es deixarà intacte de manera que quede igual que a la imatge.

Per últim, es farà clic primer sobre la **Barra1** (1), després sobre la **Barra1_1** (2) i per últim fent clic dret sobre **ground** (3), ens apareixerà el requadre de **LocationEvent**, i com em fet avanç, introduïrem les coordenades: **85.88,-392.88,49**.



Imatge 49. Caputra del programa ADAMS View



Imatge 51. Captura del programa ADAMS View

Llavors, una icona apareixerà sobre el punt on em creat el par esfèric per tal de representar aquest gràficament. A més, un nou element apareixerà a l'arbre de **Connectors**, al qual li canviarem el nom per **Esf_Sup_1**.

Aquests passos es repetiran per a crear el par d'unió entre la **Barra1** i la **Barra1_2**. En aquest cas es farà clic sobre la **Barra1**, després sobre la **Barra1_2** i per últim al requadre de **LocationEvent** s'introduiran les coordenades: **685.88, -392.98, -49.0**. Aquest parell s'anomenarà **Esf_Sup_2**.

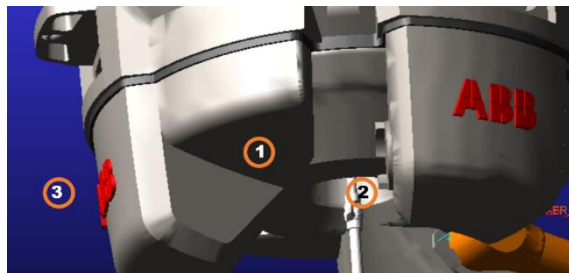
Les coordenades escollides per ubicar els parells han sigut obtingudes utilitzant l'eina de mesurament de SolidWorks. El punt mesurat és el centre de la semiesfera que tenen les Barres1_n als seus extrems.

El pas següent és crear els pars esfèrics entre el **Suport Final** i les **Barres1_n**. Per a aquest apartat, les hipòtesis i procediments són els mateixos que amb els pars esfèrics anteriors. Per dur-ho a terme, caldrà clicar primer sobre el **SuportFinal**, després sobre la **Barra1_n** que es desitja, i ubicar el parell cinemàtic en les coordenades mostrades a la Taula:

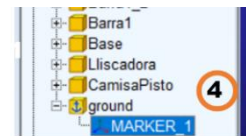
Taula 9. Coordenades dels pars Esfèrics Inferiors

Peça	Coordenades	Nom del par
Barra1_1	48,-1296.5,49	Esf_Inf_1
Barra1_2	48,-1296.5,-49	Esf_Inf_2

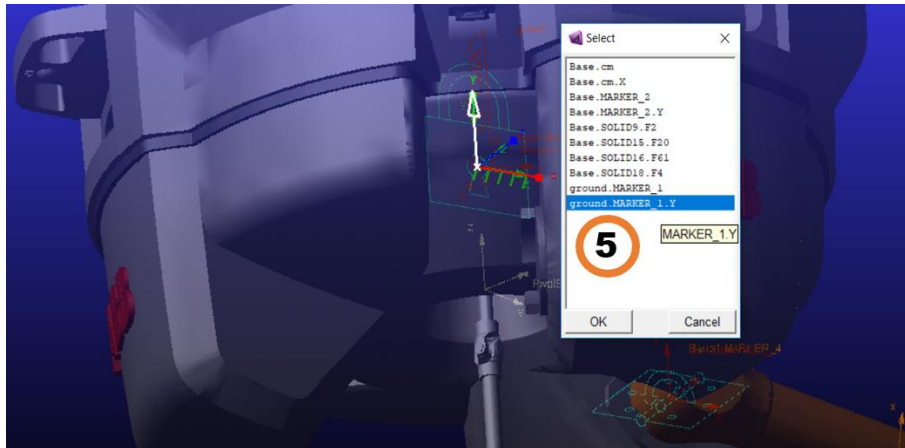
A continuació, es crea el par de revolució que uneix la **Base** amb el **Pivot Superior**. S'utilitzarà l'eina explicada anteriorment per crear els pars **R**, però seguint el següent procediment: cliquem sobre la **Base** (1), després sobre el **PivotSuperior** (2), obrim el requadre de **LocationEvent** fent clic dret sobre el **ground** (3) i introduïm les coordenades: **0,-163,0** i per últim, per a seleccionar la direcció d'aquest parell, obrirem a l'arbre de la dreta el **ground**, i seleccionarem el **MARKER_1** (4). Llavors aquest apareixerà a l'espai de treball, i farem clic dret sobre ell. Apareixerà un requadre anomenat **Select** i dins d'ell seleccionarem **ground.MARKER_1.Y** (5). D'aquesta forma, l'eix de revolució del par R serà el mateix que l'eix global Y. Aquest parell s'anomena com **R4**.



Imatge 53. Captura del programa ADAMS View



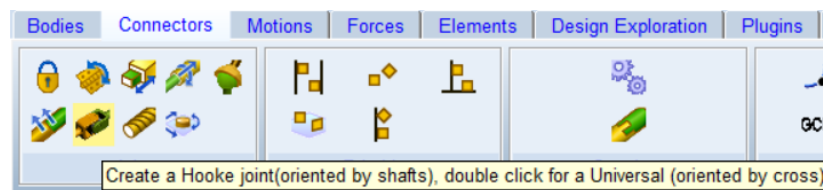
Imatge 52. Captura del programa ADAMS View



Imatge 54. Captura del programa ADAMS View

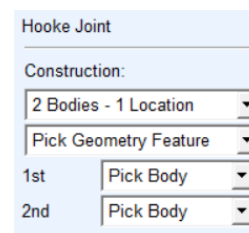
A continuació, caldrà crear el parell d'unió entre el **Pivot Superior** i la **Lliscadora**. Com em enunciat avanç, aquest és un *Cardan*. A la realitat, consta de 2 parells R col·locats perpendicularment entre ells. A ADAMS View existeix la opció de crear un *Cardan* directament sense necessitat de crear dos parells R diferents. Per a aquest projecte, s'ha provat a fer de varies formes diferents, i s'ha arribat a la conclusió, de que la que millor funciona i menys errors ens dona, és la de crear directament el *Cardan* amb el programa.

L'eina que emula aquest parell és la segona de la fila d'avall de l'apartat **Connectors**:



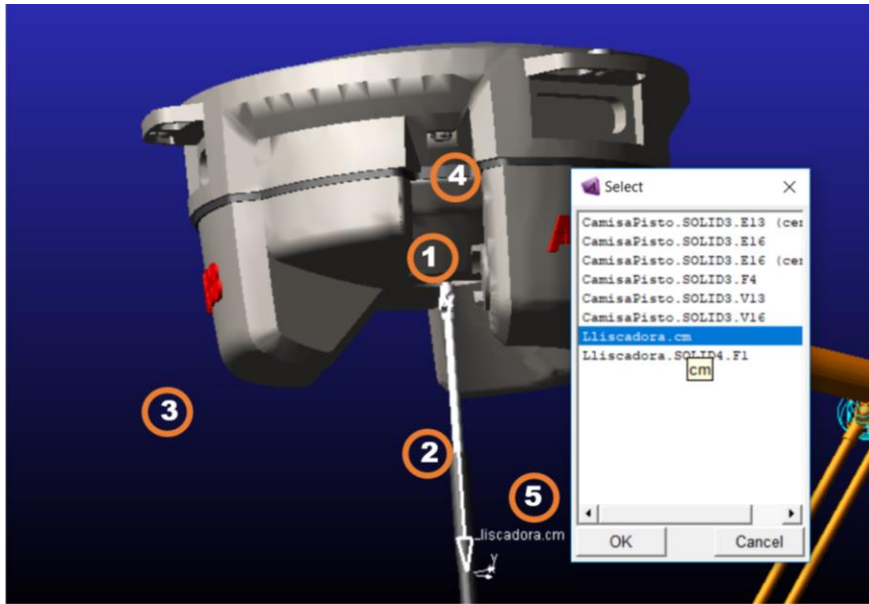
Imatge 55. Captura del programa ADAMS View

Fem clic sobre ella, i al quadre de l'esquerre anomenat **Hooke Joint** el deixem tal i com està per a que tingui els apartats igual que a la *Imatge 55*.



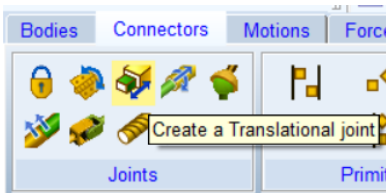
Imatge 56. Captura del programa ADAMS View

Ara farem clic sobre el **PivotSuperior** (1), després sobre la **Lliscadora** (2), a continuació obrirem el quadre de **LocationEvent** fent clic dret sobre el **ground** (3) i introduïrem les coordenades: **0,-273,0**. A l'hora de triar les direccions dels eixos del *Cardan*, triarem primer el **ground.MARKER_1.Y** igual que em fet avanç (4) i per últim fent clic dret sobre la **Lliscadora**, triarem el **Lliscadora.cm** (5). Aquest parell passarà a anomenar-se **Car1**.



Imatge 57. Captura del programa ADAMS View

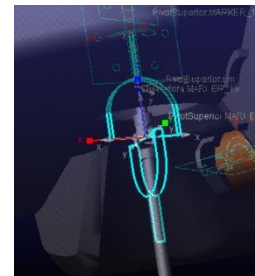
Després d'aquesta operació, una icona en forma de Junta Universal apareixerà sobre el punt on s'ha creat la articulació.



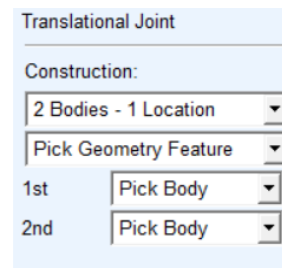
Imatge 59. Captura del programa ADAMS View

Ara tocarà crear el parell primasàtic (P) que connecta la **Lliscadora** i la **Camisa del Pistó**. Per fer aquest, caldrà clicar sobre la tercera icona de l'apartat connectors.

Una vegada seleccionada aquesta, al requadre de l'esquerra anomenat **Translational Joint** totes les caselles deuran quedar com a la Imatge 60.

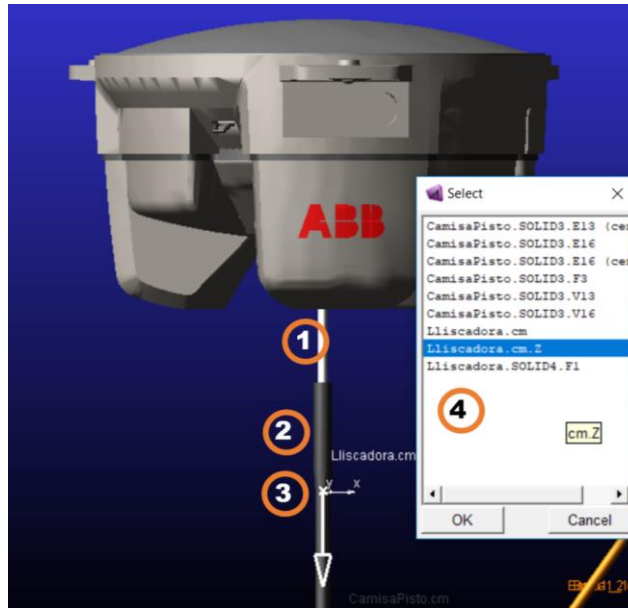


Imatge 58. Captura del programa ADAMS View



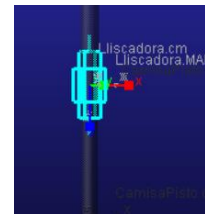
Imatge 60. Captura del programa ADAMS View

En aquest punt, hi haurà que clicar en primer lloc sobre la **Lliscadora** (1), després sobre la **CamisaPisto** (2), amb ajuda del botó dret buscarem el **Lliscadora.cm** (3) per a la ubiació i per últim amb el botó dret altra vegada seleccionarem el **Lliscadora.cm.Z** (4) com a direcció. Aquest parell s'anomena **P**.



Imatge 61. Captura del programa ADAMS View

Ara al lloc on em creat el parell prismàtic apareixerà una lliscadora per a representar-lo gràficament.



Imatge 62. Caputra del programa ADAMS View

En aquest punt, ja s'han mostrat tots els tipus d'eines que cal utilitzar per a crear els pars existents a aquest model. A la *Taula 10* es recullen les indicacions necessàries per a crear els parells restants:

Taula 10. Pars restants

Tipus	Peça 1	Peça 2	Ubicació	Direcció 1	Direcció 2	Nom
Cardan	CamisaPisto	EfectorFinal	0,-1257.5,0	CamisaPisto.cm	ground.MARKER_1.Y	Car2
Revolució	EfectorFinal	SuportFinal	0, - 1330.0977585775,0	ground.MARKER_1 .Y	-	R5

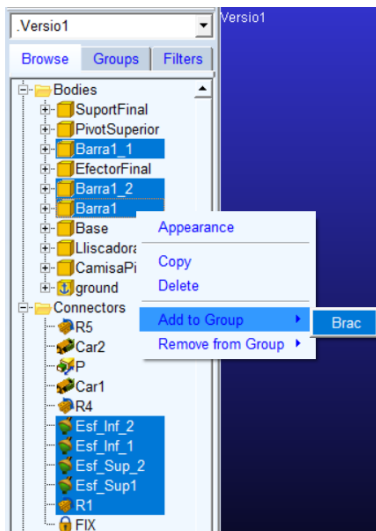
Ara mateixa ja estan creats tots els parells cinemàtics necessaris per a que el robot funcioni. El que ens queda per fer és copiar els braços que ens falten en les posicions adequades, per a que d'aquesta manera el model estiga en complet equilibri.

Per aconseguir açò, començarem creant un grup a l'apartat **Groups** de l'esquerra, clicant amb botó dret i escollint la opció **New Group**.

Aquest grup passarà a anomenar-se **Brac**.



Imatge 63. Captura del programa ADAMS View



Imatge 64. Captura del programa ADAMS View

Una vegada creat el grup, es seleccionaran els elements **Barra1, Barra1_1, Barra1_2, R1, Esf_Sup_1, Esf_Sup_2, Esf_Inf_1 i Esf_Inf_2** dels arbres de **Bodies i Connectors** dins de l'apartat **Browse**, mantenint polsat la tecla **Ctrl**. Tot seguit, es clicarà el botó dret sobre aquests, i es seleccionarà la opció **Add to Group** i es seleccionarà el grup **Brac**.

Ara, es passa a l'apartat **Groups** altra vegada, i es selecciona tot el grup **Brac**, incloent tot el que te adins. Una vegada seleccionat, es polsa la combinació de tecles **Ctrl + C**, la qual s'utilitza per copiar.

Ara que em copiat el grup, un nou grup apareixerà anomenat **Brac_2**, i dins d'ell uns nous elements apareixeran.

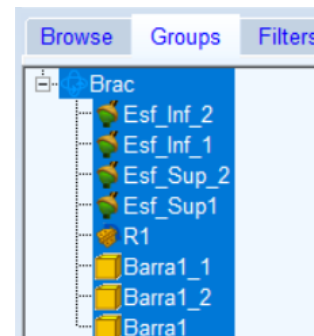
Es repeteix torna a copiar el grup **Brac** amb tot el que té adins, i un altre grup apareixerà anomenat **Brac_3**

Ara que tenim tots els elements necessaris, necessitarem canviar-li el nom a tots ells, i desplaçar-los al lloc necessari.

A la **Taula 11** s'indiquen tots els canvis de nom necessaris, els quals s'han d'efectuar utilitzant les ferramentes ensenyades dins el moment i seguint l'ordre d'aquesta:

Taula 11. Canvi de nom de les peces copiades

Nom	Nou Nom
Barra1_3	Barra2
Barra1_4	Barra2_2
Barra1_5	Barra2_1
Barra1_6	Barra3
Barra1_7	Barra3_2
Barra1_8	Barra3_1
R1_3	R3
Esf_Sup1_3	Esf_Sup_5
Esf_Sup_3	Esf_Sup_6
Esf_Inf_5	Esf_Inf_6
Esf_Inf_4	Esf_Inf_5
R1_2	R2

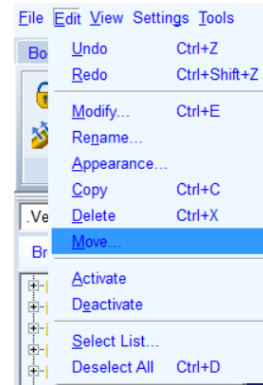


Imatge 65. Captura del programa ADAMS View

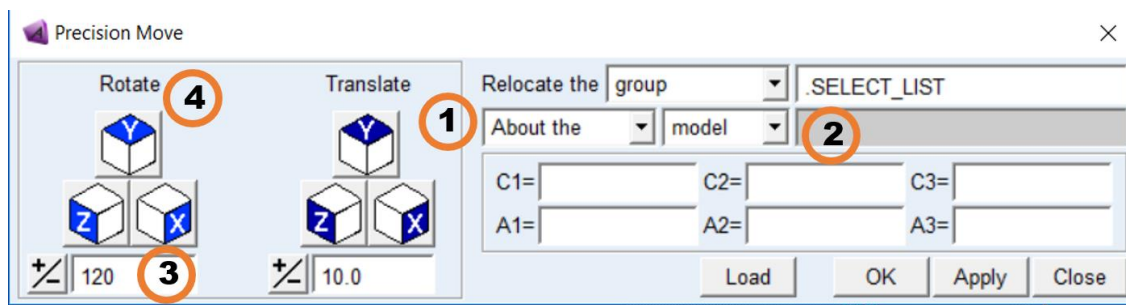
Esf_Sup_1_2	Esf_Sup_3
Esf_Sup	Esf_Sup_4
Esf_Inf	Esf_Inf_3
Esf_Inf_3	Esf_Inf_4

Ara es seleccionarà el grup **Brac_2** amb tots els seus elements i es farà clic a **Edit** situat dalt a l'esquerra i dins, a d'aquest menú es pulsara **Move**.

Una vegada em clicat ací, una finestra anomenada **Precision Move** apareixerà amb diferents paràmetres. Dins d'aquesta es posarà al primer desplegable de la segona fila **About the** (1), i al desplegable següent **model** (2). Despres, a la casella de l'esquerre del tot s'escriurà **120** (3) i per últim es pulsarà sobre la **Y** (4) de l'apartat **Rotate**. Fet açò, es pulsarà sobre **Close** per tancar aquest requadre.



Imatge 66. Captura del programa ADAMS View



Imatge 67. Captura del programa ADAMS View

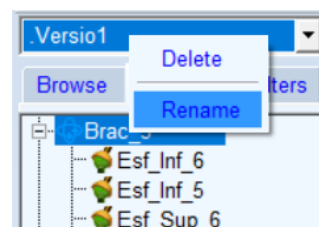
Ara es seleccionarà el grup **Brac_3** i tot el que aquest inclou. Es seguiràn els mateixos passos per moure les peces, però aquesta vegada al tercer pas es posaran -120.

Amb tot açò, tindriem acabat l'apartat de posicionar tots els parells cinemàtics a totes les barres. En aquest punt, el model deuria quedar com el de la *Imatge 69*.



Imatge 68. Captura del programa ADAMS View

Per a poder continuar des d'aquest punt, es canvia el nom del model fent clic dret sobre **.Versio1**, i la opció **Rename**. Se li posa de nom **.Versio2**.



Imatge 70. Captura del programa ADAMS View



Imatge 69. Captura del programa ADAMS View

Per a guardar-lo com un arxiu nou, primer canviem el directori on volem que s'ubique aquest arxiu accedint a **File** i després **Select Directory...** En aquest apartat seleccionem la carpeta creada anteriorment **Versio 2**.

Per últim, es guardarà l'arxiu com una nova versió clicant sobre **File, Save Database as** i amb el nom **Versio2**. També es farà clic sobre **File, Export** i s'acceptarà aquesta cassella per tal de guardar un model amb el nom **Versio2**.

6. Simulació

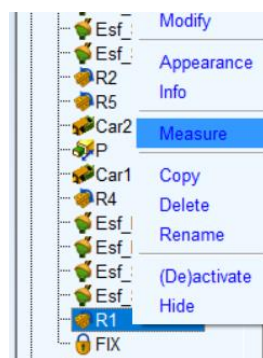
6.1 Mesures

Avanç de començar amb la simulació, caldrà crear les mesures pertinents per a poder comprovar si el moviment que realitza el robot és el desitjat o veure almenys quin és el grau de precisió que té aquest.

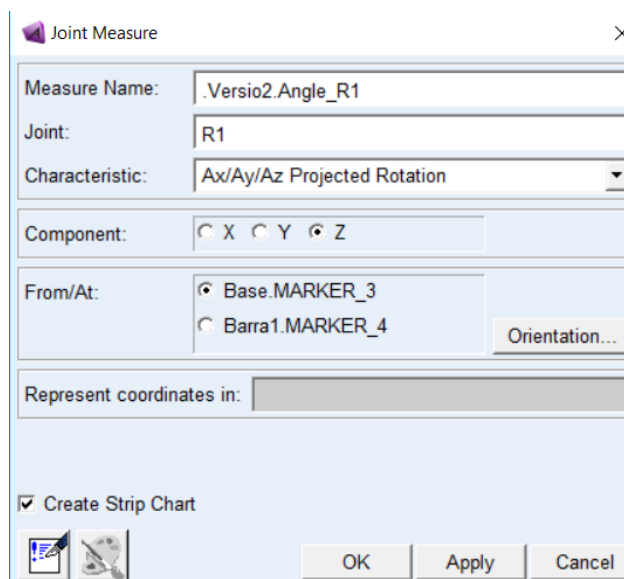
Com ja s'ha dit avanç, aquest robot té 4 g.d.l.. No obstant això, en aquest apartat es simularà com si soles en tingués 3, excloent la rotació de l'efector final. És treballa d'aquesta manera per a simplificar la simulació i perquè aquest grau de llibertat no té cap importància per a les translacions. Si aquestes simulacions funcionaren perfectament, o amb molta precisió, més tard es podria incloure el control d'aquest quart g.d.l.

Les mesures més rellevants, per tant, seran aquelles que monitoritzen l'angle de gir dels actuadors de revolució situats entre la Base i les Barres 1,2 i 3. Per altra banda, també ens interessa monitoritzar els desplaçaments de l'Efecter Final, per comprovar si aquest és el que nosaltres desitgem.

Llavors, en primer lloc es crearan les mesures dels actuadors. Començant per l'actuador número 1, es farà clic dret sobre el par **R1** i es seleccionarà **Measure**. Ara apareixerà a la pantalla una finestra anomenada **Joint Measure**. Al camp **Measure Name**, hi haurà que escriure **.Versio2.Angle_R1**, al desplegable de **Characteristics** seleccionem **Ax/Ay/Az Projected Rotation**, en **Component Z** i després polsem **OK**.



Imatge 71. Captura del programa ADAMS View

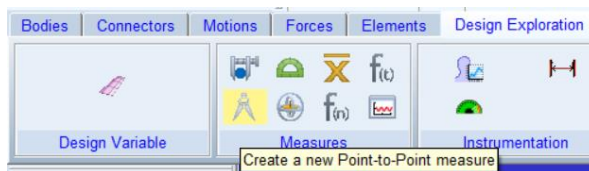


Imatge 72. Captura del programa ADAMS View

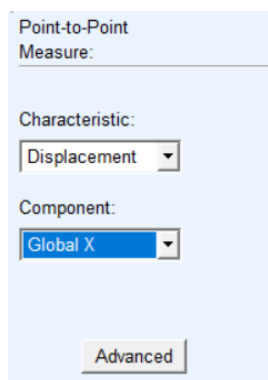
Ara tindrem creada la mesura del par **R1**. Per a crear les mesures dels pars **R2** i **R3**, es seguirà el mateix procediment amb cadascun d'ells, però els noms seran **.Versio2.Angle_R2** i **.Versio2.Angle_R3**, respectivament.

Ara és el moment de crear les mesures dels moviments de l'Efecto Final. Per a dur-ho a terme, hi haurà que copiar el **MARKER EfectoFinal.cm** el qual es troba dins l'arbre de l'Efecto Final a l'apartat **Bodies**. La copia feta passa a anomenar-se **.Versio2.ground.Ref**. D'aquesta manera el MARKER creat a passat a formar part del sòl i ens servirà de referència per a després.

Per a crear la mesura, anirem a l'apartat **Design Exploration**, i ací seleccionarem la primera icona de la segona fila de l'apartat **Measures**.

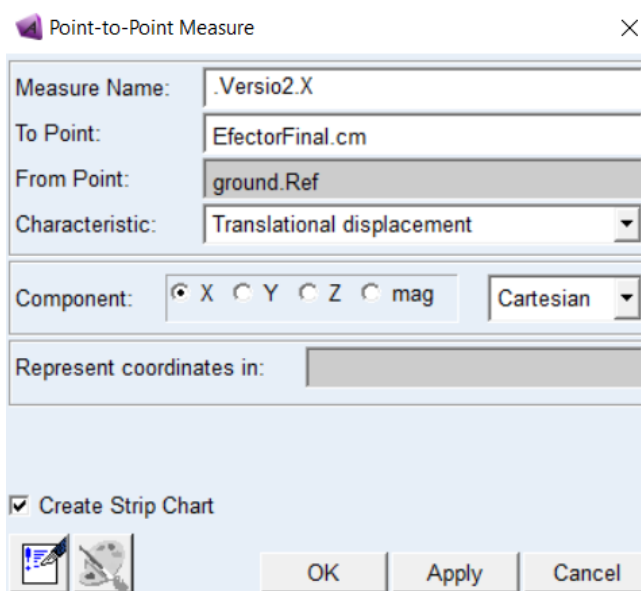


Imatge 73. Captura del programa ADAMS View



Imatge 74. Captura del programa ADAMS View

Un requadre anomenat **Point-to-Point** apareixerà a mà esquerra. Dins d'aquest es seleccionarà **Displacement** al primer desplegable, i **Global X** al segon desplegable. Per últim clicarem en **Advanced** i una nova finestra anomenada **Point-to-Point Measure** apareix. Dintre d'aquesta hi ha que escriure al camp de **Measure Name: .Versio2.X**, al camp **To Point: EfectoFinal.cm**. Al camp **From Point: ground.Ref**. Al desplegable de **Characteristic** seleccionem **Translational displacement**, i com a **Component** la **X**. Per acabar polsem **OK**.



Imatge 75. Captura del programa ADAMS View

Acabem de crear la mesura del desplaçament de l'Efecto Final sobre l'eix X. Per a crear les mesures sobre l'eix Y i Z, hi haurà que seguir els mateixos passos, però canviant les dades que hi ha a la *Taula 12*:

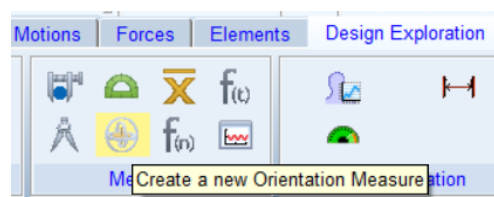
Taula 12. Dades per crear les mesures del desplaçament de l'EfectoriFinal

Mesura sobre l'eix	Nom	Component
Y	.Versio2.Y	Y
Z	.Versio2.Z	Z

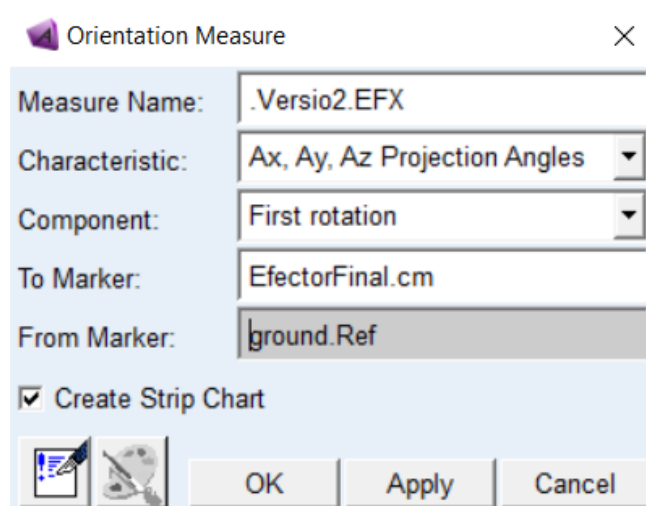
Aquestes últimes 3 mesures ens serviran per a monitoritzar els desplaçaments de l'Efectori Final. Encara que el punt que s'ha agafat no sigui el punt final real del robot, és un punt que sempre diferirà igual d'aquest, i per tant les simulacions amb el punt seleccionat tindran el mateix resultat

Per poder assegurar-nos d'açò, es faran 2 mesures més per a comprovar que l'Efectori Final sempre funciona perpendicular al pla XZ, i per tant paral·lel a l'eix Y

Per crear aquestes mesures farem clic a la segona icona de la segona fila que es troba dins de **Design Exploration** i **Measures** Al requadre que apareix anomenat **Orientation Measure** introduïrem al camp de **Measure Name**: **.Versio2.EFX**, al desplegable de **Characteristic** seleccionem **Ax,Ay,Az Projection Angles** i al desplegable de component **First rotation**. Al camp de **To Marker**: **EfectoriFinal.cm** i **From Marker**: **ground.Ref**. Tot seguit cliquem sobre **Apply**.



Imatge 76. Captura del programa ADAMS View



Imatge 77. Captura del programa ADAMS View

Aprofitant que la finestra no s'ha tancat, al camp de **Measure Name** escrivim **.Versio2.EFZ** i al desplegable de component ho canviem a **Third rotation**. Per finalitzar-ho polsem en **OK**.

Una vegada creades totes les gràfiques de mesures, les podem tancar i si necessitem obrir-les de nou, sols cal polsar sobre **View** (barra de dalt), **Measures...** i activar-les totes.

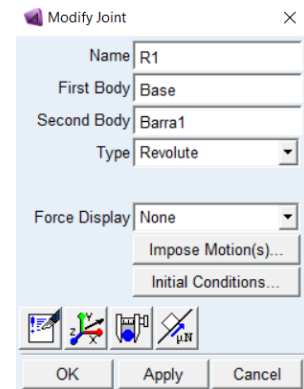
6.2 Moviments

Per a dur a terme les simulacions, primer hi ha que aplicar un moviment als pars que volem moure.

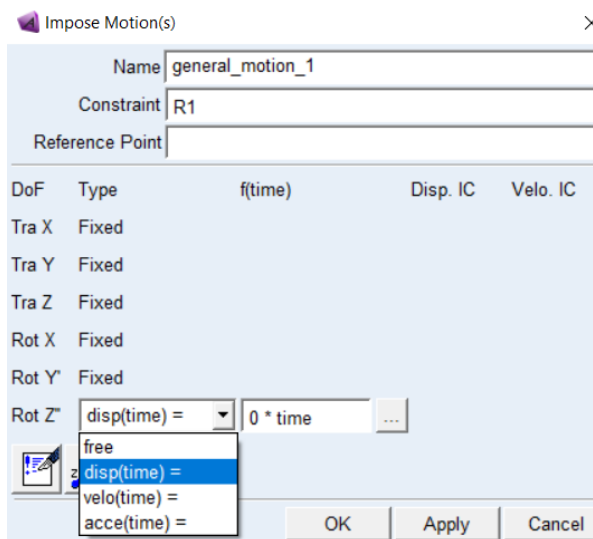
En aquest apartat, anem a basar-nos en les simulacions que es volen fer al futur, i per a això, es crearan diferents moviments que després podran ser superposats entre sí o activats i desactivats a plaer.

En primer lloc, es crearà el moviment de revolució del par **R1**. Es farà clic dret sobre aquest i es seleccionarà la opció **Modify**. A la finestra que apareixerà anomenada **Modify Joint**, farem clic sobre **Impose Motion(s)**. I una nova finestra anomenada **Impose Motion(s)** apareixerà.

Hi ha que familiaritzar-se amb la finestra que apareix a la *Imatge 79*, ja que dintre d'aquesta se li indicarà el moviment que es vol que es dugui a terme per aquesta articulació. En primer lloc, degut a un error no ens deixa canviar el nom des d'aquesta finestra. Per tant recordarem el nom que té ara mateixa, per poder canviar-lo més tard per **.Versio2.Rot1**. Per a fer-ho, trobarem aquest moviment dintre de l'arbre de **Motions**.



Imatge 78. Captura del programa ADAMS View



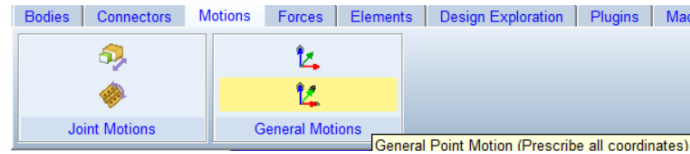
Imatge 79. Captura del programa ADAMS View

Si ens fixem en l'apartat de **Rot Z** trobarem que el desplegable té diferents opcions. Depenent del que es vulgui fer, és podrà deixar lliure (free) aquesta articulació, o donar-li un desplaçament, velocitat o acceleració respecte al temps (disp, velo i acce, respectivament)

Al quadre de la dreta del desplegable se li pot escriure un valor exacte o una funció. Dintre d'ADAMS View hi ha funcions molt variades, i cadascuna d'aquestes amb unes propietats característiques. Aquestes seran explicades més tard.

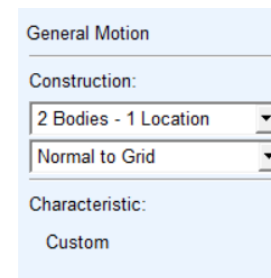
Per el moment, podem deixar el desplegable de **RotZ** en **free**. Fem el mateix amb els pars **R2** i **R3**, creant els moviments **Rot2** i **Rot3** respectivament.

Altre moviment que es necessitarà crear és el que controla l'**EfectorFinal**. Per a açò, farem clic sobre **Motions**, i dins de l'apartat **General Motions**, elegirem la icona d'avall la qual diu explícitament: **General Point Motion (Prescribe all coordinates)**.



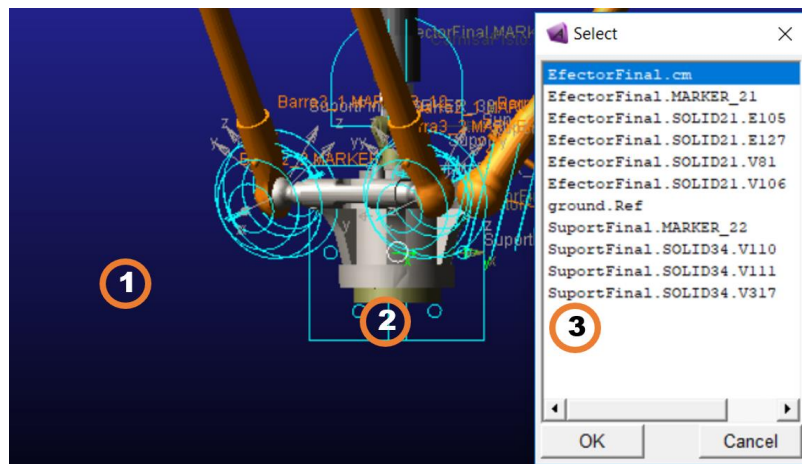
Imatge 80. Captura del programa ADAMS View

Una vegada seleccionada aquesta eina, es deixarà el requadre de l'esquerra anomenat **General Motion** igual que la *Imatge 81*.



Imatge 81. Captura del programa ADAMS View

Després d'açò, seleccionarem en primer lloc el **ground** (1), després l'**EfectorFinal** (2) i per últim l'**EfectorFinal.cm** (3).

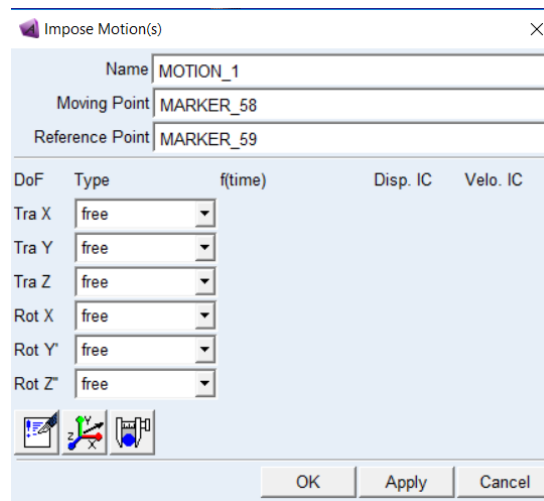


Imatge 82. Captura del programa ADAMS View

Després d'açò, apareix una finestra molt semblant a la *Imatge 79*. Es recorda el nom que té en aquest moment (**MOTION_1**), i es canvia aquest igual que avanç per **.Versio2.DespEF**. Aquesta finestra es mostra a la *Imatge 83*.

L'últim moviment que es vol afegir a aquest model va a ser el del pistó. Encara que a la realitat aquest no estigui controlat, en aquest cas ens vindrà molt bé per fer comprovacions d'equilibri del robot.

A l'igual que em fet amb els pars R1, R2 i R3, es clica amb el botó dret sobre el **par P**, es selecciona la opció **Modify** i a la finestra que apareix es selecciona **Impose Motion(s)**. Dins de la nova finestra, es recorda el nom que té aquest moviment (**general_motion_1**) i a continuació es canvia per **.Versio2.DespP**.



Imatge 83. Captura del programa ADAMS View

6.3 Funcions

Per poder obtenir resultats, hi haurà que realitzar simulacions. En aquest punt, com em enunciat avanç, es faran diferents simulacions amb distints actuadors actius a cadascuna d'elles.

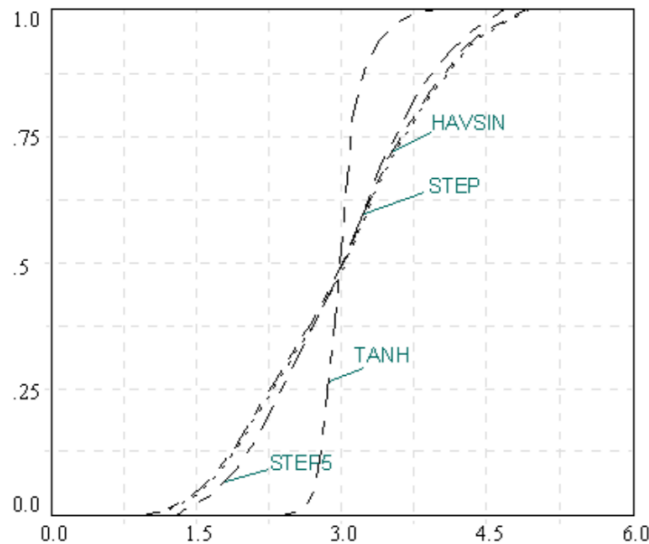
Per atorgar-li un moviment a cada element de moviment que em creat avanç, caldrà definir dins d'ell una funció per a que aquest la segueixi. En aquest model anem a treballar amb funcions que estan definides únicament per la variable TIME (temps), i que no depenen directament en cap moment d'altres factors com posicions o forces.

Encara que en aquest model sols es vaja a utilitzar una funció per a totes les simulacions, es vol explicar quines són les més semblants a aquesta i el perquè es decideix elegir-la. Com em vist a les *Imatges 76 i 80*, els moviments poden estar definits en qualsevol grau de llibertat que la articulació o punt on es trobi permeti. Per altra banda, cada grau de llibertat pot ser catalogat com a lliure, o estar definit per el seu desplaçament, velocitat o acceleració. En aquest treball anem a definir els graus de llibertat sempre com a lliures o controlant el seu desplaçament. Per tant:

- La forma més bàsica de definir un desplaçament seria amb un valor numèric de l'espectre real. D'aquesta manera, aquesta coordenada es situaria en el punt indicat, sempre que estigui dins del seu camp de treball.
- La definició anterior no defineix cap tipus de moviment, sinó que sols defineix la ubicació d'aquesta coordenada indistintament del temps en el que ens trobem. El segon mètode seria indicant-li un increment d'aquesta coordenada de manera temporal amb una expressió del tipus $N \cdot \text{TIME}$, on n seria el valor que incrementaria la coordenada cada segon.

Aquests dos mètodes són els més simples, i per tant menys irreal, ja que aquest moviment no constaria de cap tipus d'acceleració ni desacceleració. Açò es pot observar si sabem que per obtenir la velocitat hi ha que derivar la posició, i per tant amb ninguna d'aquestes dues formules aconseguiríem una segona derivada.

Les tres funcions **STEP**, **STEP5** i **HAVSIN** són de més precisió, i es defineixen amb un mètode igual, encara que el seu comportament sigui diferent. Totes s'escriuen de la forma **FUNCIÓ (X, Començ a, Acaba a, Valor Inicial de la Funció, Valor Final de la Funció)**. La *Imatge 84* il·lustra el comportament d'aquestes:



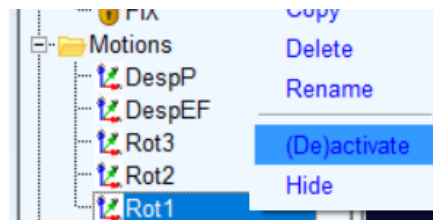
Imatge 84. Comportament de les funcions STEP, STEP5, HAVSIN i TANH

Cal dir, que d'aquestes, la funció HAVSIN s'aproxima a un polinomi de grau 5 i té una transició més suau des de l'inici fins el final. Tot açò, fa que sigui la funció elegida per a les nostres simulacions, ja que al ser d'un grau tan elevat, permet múltiples derivacions, aproximant-se al comportament real.

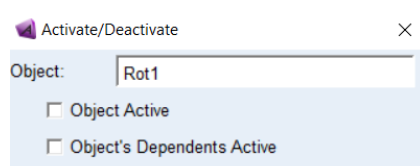
6.4 Cinemàtica directa

6.4.1 Simulació DespP positiu. Efactor Final ascendent

En primer lloc es simularà aplicant sols el moviment del pistó. Per a fer açò, desactivarem tots els moviments a excepció de **DespP**. Es farà d'un en un, seleccionem el moviment **Rot1** amb el botó dret, i polsem sobre **(De)activate**.



Imatge 85. Captura del programa ADAMS View



Imatge 86. Captura del programa ADAMS View

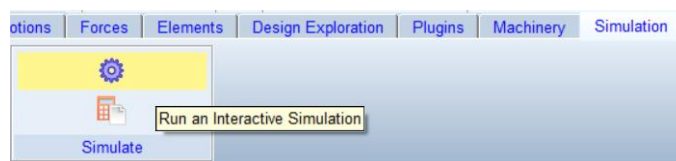
A la nova finestra que apareix anomenada **Activate/Desactivate**, es deseleccionen tots els tics i es polsa sobre **OK**. Aquesta operació es fa sobre els moviments restants.

Ara, fem clic dret sobre el moviment **DespP**, i polsem sobre **Modify**. La finestra que s'obrirà serà semblant a la de la *Imatge 79*, però ací podrem controlar el desplaçament sobre l'eix Z de la articulació. Aleshores, seleccionem al desplegable contigu a **Tra Z: disp(time)**, i tot seguit fem introduïm al quadre de text la funció:

HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 230.0)

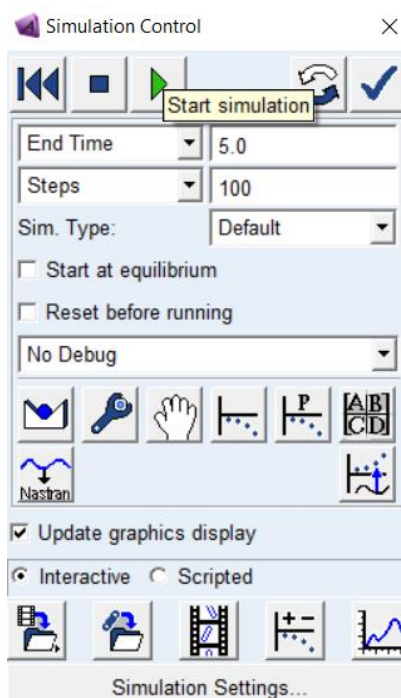
I polsem **OK**.

Ara caldrà fer la simulació. Per a açò, farem clic sobre **Simulation**, i a l'apartat **Simulate** seleccionarem la icona de l'engranatge.



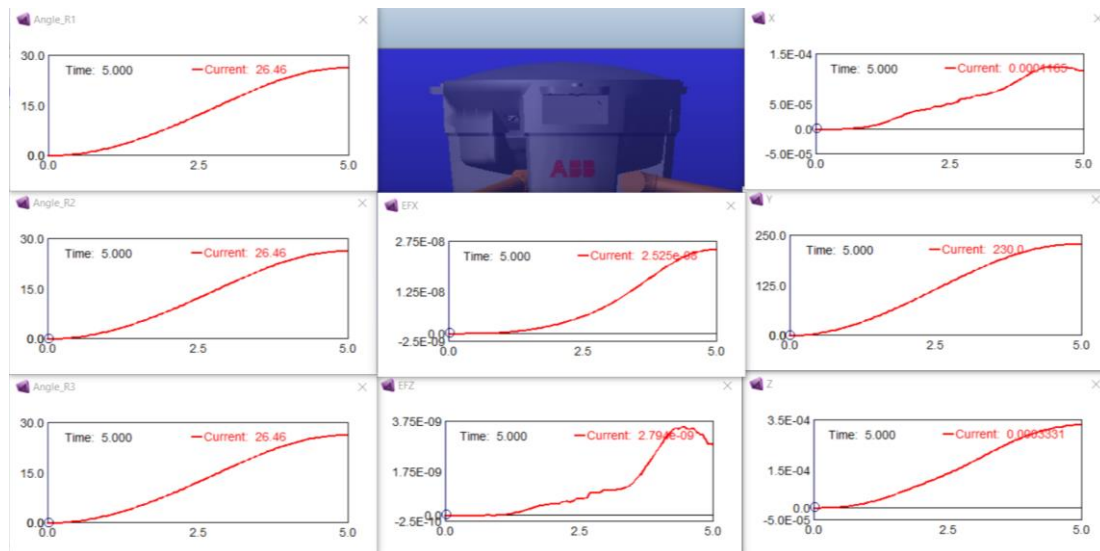
Imatge 87. Captura del programa ADAMS View

Apareixerà una nova finestra anomenada **Simulation Control**. Dins d'aquesta establirem com **End Time 5** segons i al camp **d'Steps** inclourem **100**. Per últim li donarem al triangle verd (**Play**) i esperarem a que acabi la simulació. Una vegada acabada està podem tancar aquesta finestra, i observar les gràfiques obtingudes.



Imatge 88. Captura del programa ADAMS View

Si s'ha observat el moviment, el l'efector final s'ha manejat de manera ascendent sobre l'eix vertical (Y). Les gràfiques obtingudes d'aquest moviment són les mostrades a la *Imatge 89*.



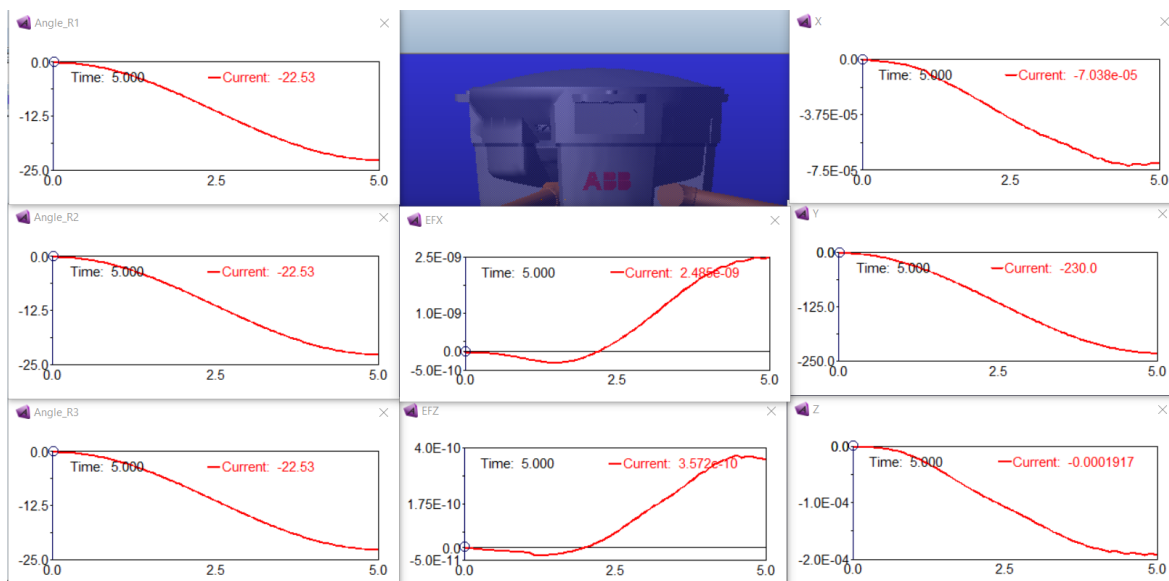
Imatge 89. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespP ascendent

S'observa com l'efector final s'ha manejat en direcció ascendent, i que els moviments en els eixos X i Z són molt propers a 0. Al mateix temps, la rotació d'aquest en ambdós eixos es de casi 0 radiants, estant així casi en perpendicular. Els braços superiors han seguit casi el mateix desplaçament.

6.4.2 Simulació DespP negatiu. Efactor Final descendent

Taula 13. Dades per a la simulació de DespP negatiu i Efactor Final amb moviment descendent

Moviment	Funció	End Time	Steps
DespP	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -230.0)	5	100



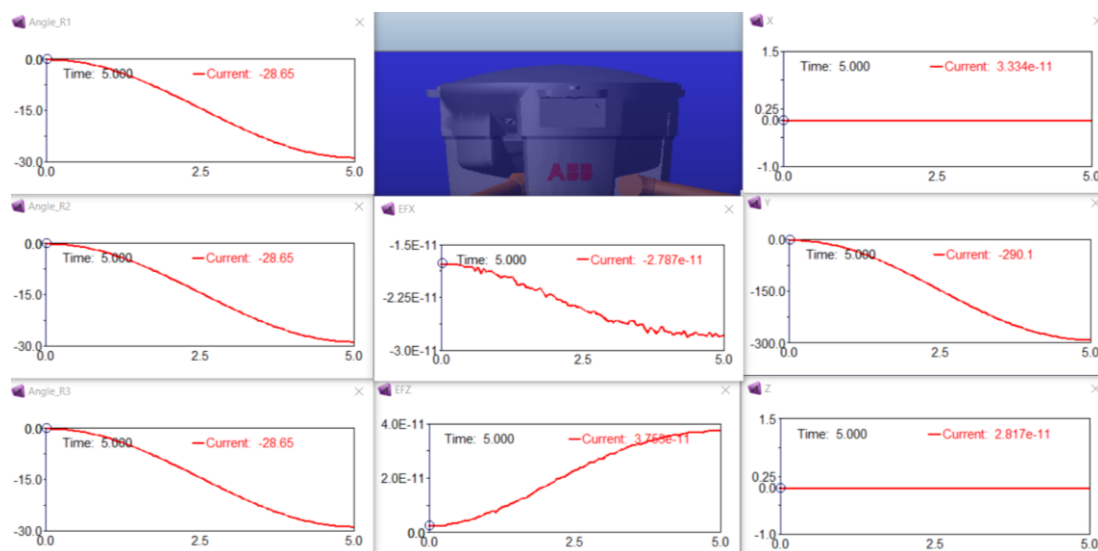
Imatge 90. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespP descendent

Aquest cas es molt similar a l'anterior, ja que els pars R han tingut el mateix desplaçament angular. L'única diferència, es en les rotacions de l'Efactor Final, les quals canvien de signe, per tant podria indicar que poden oscil·lar, o seguir creixent la seva rotació.

6.4.3 Simulació pars rotacionals positius. Efactor Final descendent (5 segons, 100 steps)

Taula 14. Dades per a la simulació els pars R positius i Efactor Final amb moviment descendent

Moviment	Funció
R1	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 0.5)
R2	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 0.5)
R2	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 0.5)



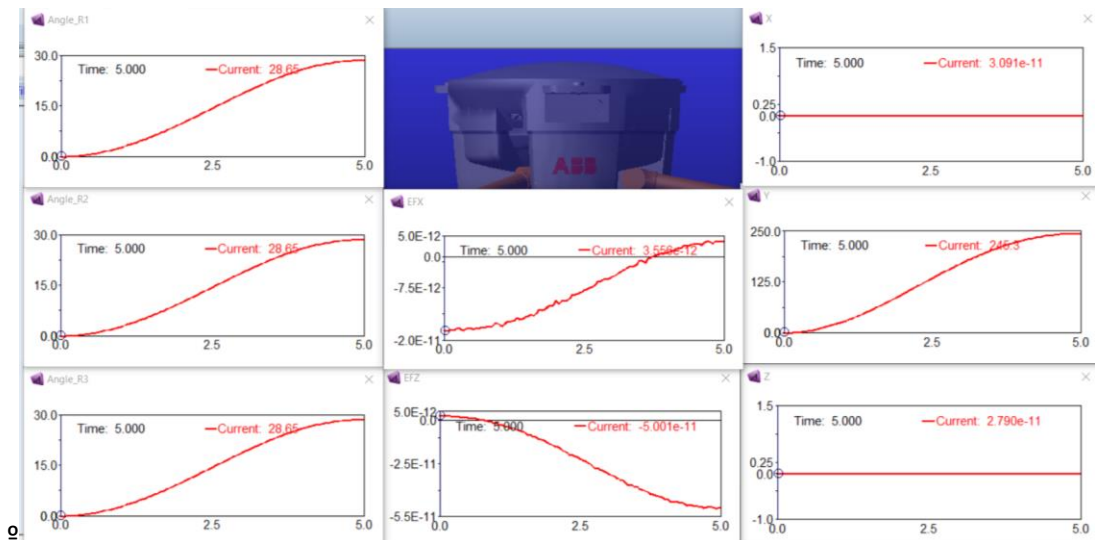
Imatge 91. Captura del programa ADAMS View. Simulació pars rotacionals. Efactor Final descendent

Els pars rotacionals segueixen el moviment imposat. Les rotacions de l'Efactor Final van augmentant amb el temps, encara que els seus valors són molt pròxims a 0 radiants. Per altra banda, el moviment es quasi paral·lel a l'eix Y, ja que les desviacions sobre els altres eixos son quasi 0.

6.4.4 Simulació pars rotacionals negatius. Efactor Final ascendent (5 segons, 100 steps)

Taula 15. Dades per a la simulació els pars R negatius i Efactor Final amb moviment ascendent

Moviment	Funció
R1	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -0.5)
R2	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -0.5)
R2	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -0.5)



Imatge 92. Captura del programa ADAMS View. Simulació pars rotacionals. Efactor Final ascendent

Aquest cas te els mateixos resultats que l'apartat anterior, però en direcció contraria sobre l'eix Y.

6.5 Cinemàtica inversa

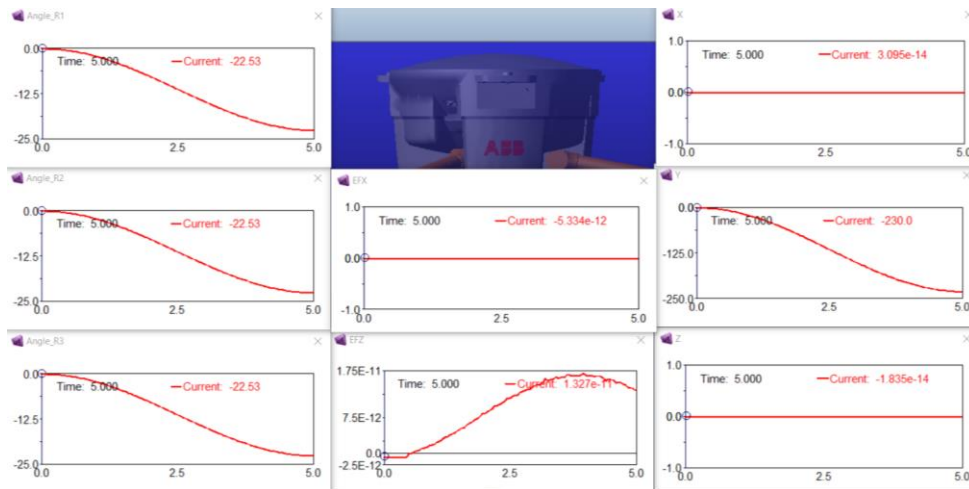
Fins ara totes les simulacions aplicaven el moviment als actuadors tan reials com hipotètics.

En les següents simulacions tan sols s'activarà el moviment **DespEF**, i s'emplenaran les dades corresponents a la finestra que es mostra a la *Imatge 83*.

6.5.1 Simulació eix Y descendent (5 segons, 100 steps)

Taula 16. Dades per a la simulació de l'eix Y negatiu

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	0
Tra Y	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 230.0)
Tra Z	Disp (time)	0
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



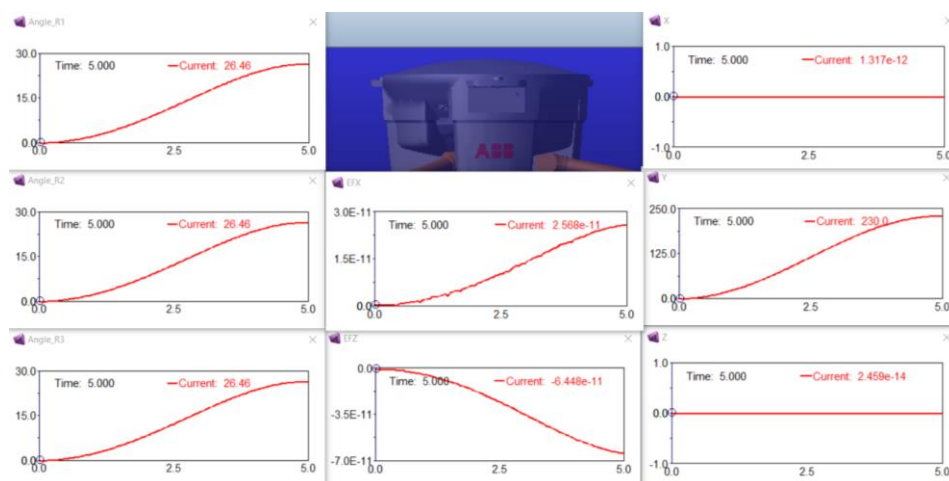
Imatge 93. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. Y descentent

Aquesta simulació és molt semblant a la de la cinemàtica directa, i millora la rotació de l'Efactor Final sobre l'eix X, ja que aquesta es manté molt propera a 0 radians.

6.5.2 Simulació eix Y ascendent (5 segons, 100 steps)

Taula 17. Dades per a la simulació de l'eix Y positiu

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	0
Tra Y	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -230.0)
Tra Z	Disp (time)	0
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



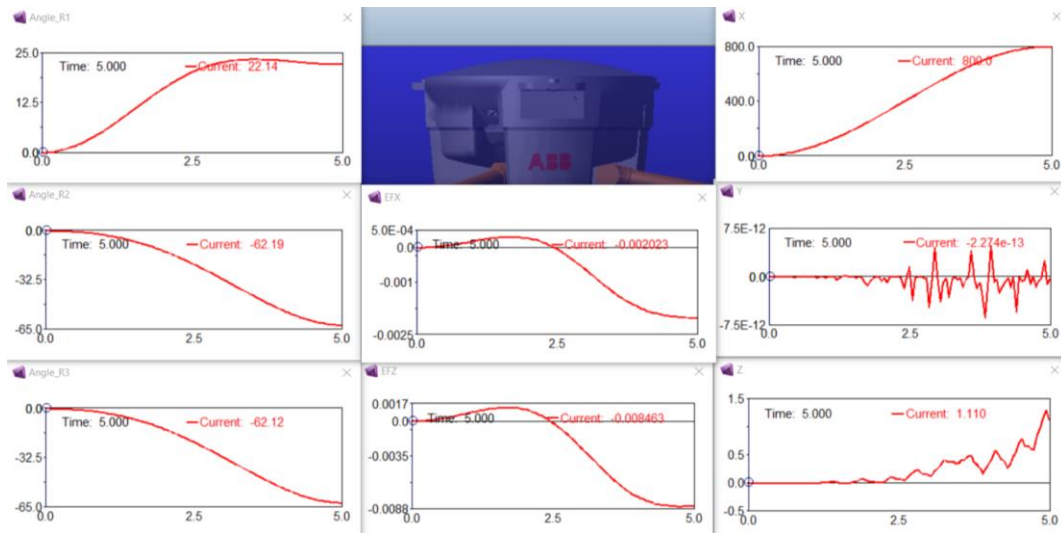
Imatge 94. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. Y ascendent

Aquesta simulació és molt semblant a la de la cinemàtica directa, ja que totes les mesures tenen el mateix comportament.

6.5.3 Simulació eix X sentit positiu(5 segons, 100 steps)

Taula 18. Dades per a la simulació de l'eix X positiu

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -800.0)
Tra Y	Disp (time)	0
Tra Z	Disp (time)	0
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



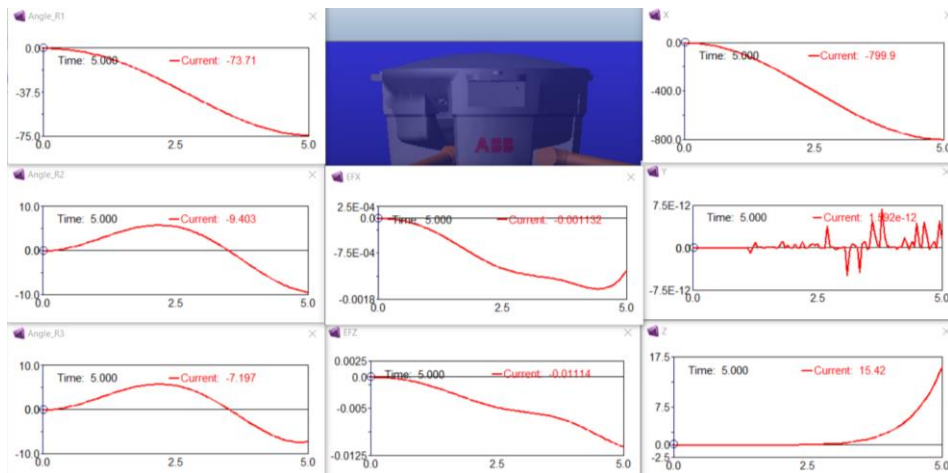
Imatge 95. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. X positiu

Ací s'observa com els pars rotacionals ja varien les seves rotacions per aconseguir la posició desitjada. Cal adonar-se, que el R1 oscil·la un poc al final. Per altra banda, les rotacions de l'Efactor Final oscil·len un poc, i van creixent encara que són properes a 0 radians. En quant al moviment, s'aconsegueix la posició desitjada, però els altres desplaçaments no es mantenen constants, sinó que comencen a oscil·lar, la Y mantenint-se proper a 0 i el Z creixent.

6.5.4 Simulació eix X sentit negatiu(5 segons, 100 steps)

Taula 19. Dades per a la simulació de l'eix X negatiu

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 800.0)
Tra Y	Disp (time)	0
Tra Z	Disp (time)	0
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



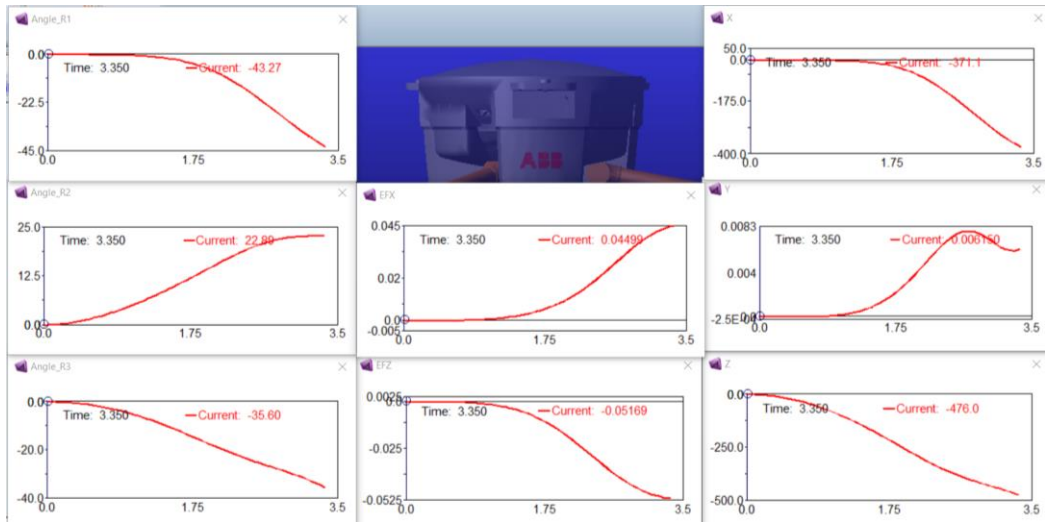
Imatge 96. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. X negatiu

Aquesta simulació no aconseguix el seu valor final, encara que es queda molt prop (0.1 mm). Els moviments de R2 i R3 oscil·len. Les rotacions sobre l'Efecter Final son properes a 0 radianis, però van variant. Els desplaçament sobre l'eix Y oscil·la, però es manté proper a 0. En canvi, el de l'eix Z te una desviació de 15.42mm al final de la simulació, i la gràfica apunta a que aquesta segueix creixent.

6.5.5 Simulació eix Z sentit negatiu(5 segons, 100 steps)

Taula 20. Dades per a la simulació de l'eix Z negatiu

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	0
Tra Y	Disp (time)	0
Tra Z	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 800.0)
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



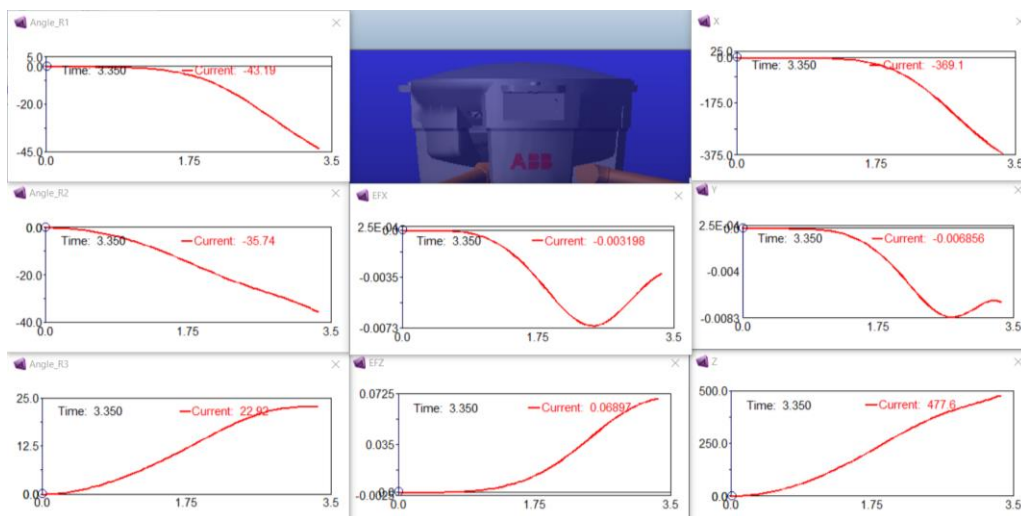
Imatge 97. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. Y negatiu

Aquesta simulació no acaba de completar-se, fallant així propera al segon 3.5. Fins a aquest punt, el moviment s'aproxima al desitjat (acaba a -476 mm sobre l'eix Z), però la desviació sobre l'eix X es notable.

6.5.6 Simulació eix Z sentit positiu(5 segons, 100 steps)

Taula 21. Dades per a la simulacio de l'eix Z positiu

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	0
Tra Y	Disp (time)	0
Tra Z	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -800.0)
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



Imatge 98. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. Y positiu

Aquesta simulació també falla prop del segon 3.5. Fins a aquest punt l'efector final està dirigint-se a la coordenada especificada sobre l'eix Z, però amb una gran desviació a l'eix X.

6.6 Conclusions

A aquest apartat analitzarem les simulacions anteriors, per a poder veure quina és l'exactitud d'aquest model.

En primer lloc, pel que fa a la cinemàtica directa, s'observa com totes aquestes simulacions compleixen l'objectiu definit sense fallar. Els desplaçaments assignats sobre l'eix Y son de -230 i 230, açò fa un moviment total sobre aquest eix de 460 mm, el mateix que té el camp de treball d'aquesta robot a la realitat.

En el cas de la cinemàtica inversa, es decideix restringir quasi que tots els graus de llibertat igualant les seves funcions a 0, ja que quant es prova deixant-los lliures (free), aquests difereixen massa de la posició desitjada o la simulació acaba fallant.

Dins d'aquest apartat, la primera simulació que es fa és la de l'eix Y, la qual té bons resultats, i és molt semblant a les fetes a la cinemàtica directa.

D'aquests resultats podem concloure que quant es treballa sobre l'eix Y, el model és molt precís, ja que aconseguix planar tot el camp de treball i les seves desviacions són molt baixes.

Per altra banda, quan treballem amb els eixos X i Z a la cinemàtica inversa canvia.

En primer lloc, sobre l'eix X les simulacions funcionen fins el final, però l'error sobre l'eix Z comença a ser notable, passant la desena de mm.

Sobre l'eix Z les simulacions fallen, i les desviacions sobre l'eix X superen les centenes de mm.

De tot açò es pot extraure que quan treballem sobre l'eix Y el model no té grans problemes ja que el moviment dels pars R és igual per a tots i llavors el programa no té cap dificultat de simulació.

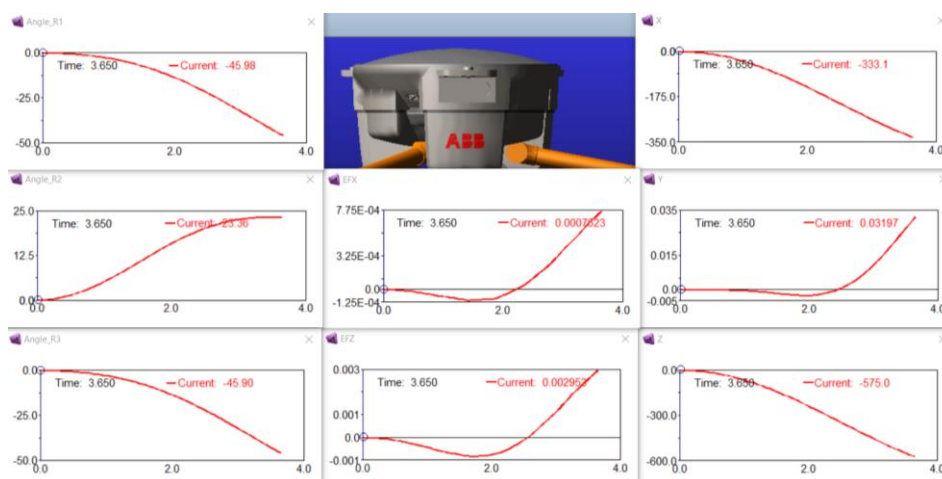
Quan comencem amb la simulació sobre l'eix X les desviacions comencen a ser majors, però arribem fins als 800 mm en cada direcció, per tant podem cobrir tota l'àrea de treball del robot en la realitat (diàmetre de 1600 mm). Aquest eix és coaxial amb el moviment que atorga el Braç 1, i per tant al programa li és més fàcil aconseguir una simulació per a aquest.

L'eix Z no es paral·lel a ningun moviment de cap dels braços i per tant el programa té grans dificultats per a simular-ho produint grans desviacions i acaba parant-se. Aquest eix forma un angle de 90º graus amb el Braç 1 i 30º respecte el Brac 2.

Per poder provar aquesta hipòtesi, es vol fer una ultima simulació amb un moviment paral·lel al Braç 2, i per tant formant un angle de 60º amb el Braç 1. Per a aquesta, caldrà incloure les dades de la Taula

Taula 22. Simulació sobre el Braç 2

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 400.0)
Tra Y	Disp (time)	0
Tra Z	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, 692.82)
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



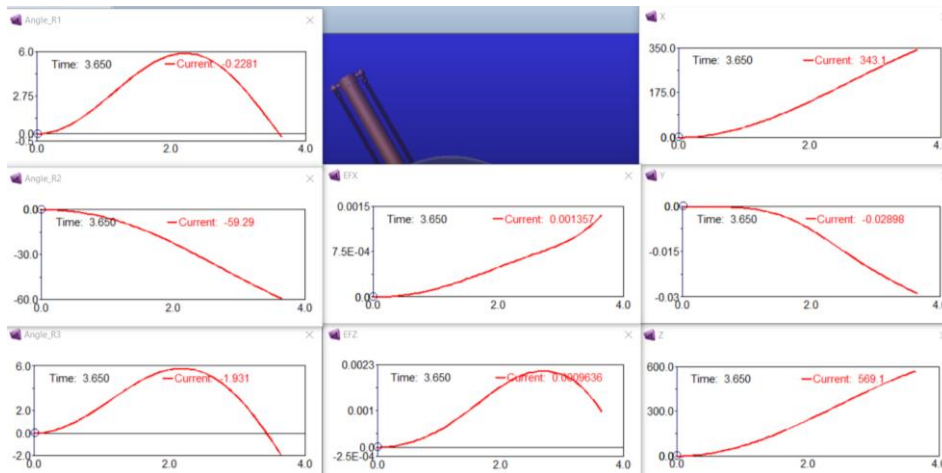
Imatge 99. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. Direcció del Braç 2

Aquesta simulació acaba fallant al segon 4, però fins a aquest moment el robot està complint les dades proporcionades.

Les següents dades creen el moviment en el sentit oposat:

Taula 23. Simulació sentit oposat al Braç 2

Coordenada	Estat	Funció
Tra X	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -400.0)
Tra Y	Disp (time)	0
Tra Z	Disp (time)	HAVSIN(time, 0.0, 0.0, 5.0, -692.82)
Rot X	Disp (time)	0
Rot Y	Free	-
Rot Z	Disp (time)	0



Imatge 100. Captura del programa ADAMS View. Simulació DespEF. Direcció del Braç 2

Aquesta simulació també falla pròxima al segon 4, i ací s'observa com els pars R1 i R2 oscil·len per aconseguir la posició desitjada.

Tot açò passa degut a les configuracions singulars que el robot adquireix. Degut a aquestes posicions el programa no sap com actuar i fa oscil·lar ràpidament els pars.

Després de totes aquesta simulacions podem dir que tots els moviments sobre l'eix Y que estan dins del camp de treball del robot son vàlids amb aquest model.

Si parlem de l'eix X, els moviments sobre aquest eix són vàlids sempre que siguin inferiors als 300 mm, punt a partir del qual la desviació comença a créixer.

Totes les simulacions restants, tant sobre l'eix Z com la combinació d'altres per a ser paral·leles als altres braços no són possibles amb aquest model degut a les grans desviacions i errors.

7. Plec de condicions

Degut a que aquest treball no consisteix en cap muntatge ni es precisa dur a terme cap projecte, les normes o lleis que s'haurien d'acatar per dur-lo a terme són inexistents.

Per a poder treballar amb el robot IRB 360 de manera real, s'hauria llegir i seguir totes les normes especificades per la companyia ABB a la fulla d'informació d'aquest producte.

A aquesta es recullen diferents tipus de dades com són la morfologia i mides del robot, característiques elèctriques i neumàtiques, normativa que compleix, etc.

Tot açò es pot trobar al link:

<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC029963-005&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>

En quant el que s'ha realitzat a aquest treball, per a poder aconseguir els mateixos resultats que es mostren, sols cal seguir tot el procediment explicat pas per pas.

També s'ha fet us de programes específics, així com d'un equip informàtic. Ambdós són nombrats en més detall a l'apartat 8. Pressupost.

8. Pressupost

Si ens basem en les dades proporcionades per el BOE, el salari d'un enginyer tècnic industrial per hora és de 13.37€. A aquest treball ha requerit moltes hores de treball per ser dut a terme, ja que dins d'aquestes s'inclou tot el temps dedicat a llegir e investigar el món dels robots paral·lels, i també les nombroses proves i errors que s'han realitzat per a què el robot tingui la major precisió possible. Per tant:

Taula 24. Preu de la mà d'obra

Concepte	Quantitat (hores)	Preu sense IVA (€)	Total (€)
Mà d'obra	337	4412.10	5338.61

A més, s'han agut d'utilitzar diferents programes per a poder realitzar el modelatge. Aquest *software* requereix del pagament de llicències per a poder ser utilitzat. A la Taula 25 es mostren els preus de les llicències per any:

Taula 25. Preu del software

Concepte	Cantitat	Preu sense IVA (€)	Total (€)
SolidWorks 2018	1	1200.00	1452
MSC Adams	1	1301.83	1575.21
			3027.21

Per últim, el hardware necessari per a realitzar aquest treball ha sigut únicament un ordinador. Aquest es va comprar al 2016, i el preu que va costar a aquella època amb IVA inclòs va ser de 700 €. El model de portàtil és un MSI CX 61 2QC.

Concepte	Preu (€)
Mà d'obra	5331.68
Software	3027.21
Hardware	700
Total	9059.89

Nou mil cinquanta-nou euros amb vuitanta-nou cèntims.

Annex I. Bibliografia i enllaços

- Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., Aracil, R., (1998), *Fundamentos de robótica*, Madrid, McGraw-Hill, 9788448156367
- Merlet, J. P., (2006), *Parallel Robots* (Second Edition); Springer 9781402041334
- Robot Delta, en *Wikipedia* consultat el 2 de Setembre de 2018. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_robot
- Thang010146 ,19 de Juny de 2018, Delta Robot 2. En *Youtube* [Video en línia]. Consultat el 2 de Setembre de 2018. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Z4LTDS7ejFA>
- ABB, Product Specification IRB 360. En *ABB Robotics*. Consultat el 2 de Setembre de 2018. Disponible en: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC029963-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB, IRB 360 FlexPicker. En *ABB Robotics*. Consultat el 2 de Setembre de 2018. Disponible en: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-360>
- ABB, IRB 360 Range. En *ABB Robotics*. Consultat el 2 de Setembre de 2018. Disponible en: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106103A1882&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>