Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Títol: Disseny d'una màquina de tall per arrossegament emprant un mecanisme paral·lel planar 3RRR

Document: 1. Memòria i annexos

Alumne: Maximilià Castro Molina

Tutor: Dr. Narcís Gascons Clarió

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Setembre 2016

Índex de continguts

1 Introducció 4
1.1 Antecedents 4
1.1.1 Màquines de tall per arrossegament 4
1.1.2 Mecanisme paral·lel planar 3RRR 5
1.2 Objecte 6
1.3 Abast 6
1.4 Especificacions 6
2 Descripció de la solució 8
2.1 Eina de tall 9
2.1.1 Portaeines 9
2.1.2 Ganiveta 10
2.2 Conjunt per al moviment en z 11
2.2.1 Molla 12
2.2.2 Solenoide 12
2.2.3 Peça d'unió èmbol-portaeines 13
2.3 Conjunt per al moviment en x i y: Mecanisme 3RRR 14
2.3.1 Consideracions prèvies 14
2.3.2 Dimensions generals 17
2.3.3 Baules 18
2.3.4 Juntes actives 19
2.3.5 Juntes passives 24
2.3.6 Plataforma mòbil i suport del conjunt per al moviment en z 25
2.4 Estructura 27
2.4.1 Estructura bàsica 27
2.4.2 Superfície de tall 29
2.4.3 Fixació dels servomotors 32
2.5 Electrònica 33
2.5.1 Placa controladora 33
2.5.2 Circuit per l'alimentació i control dels servomotors 34
2.5.3 Circuit per l'alimentació i control del solenoide 36
2.5.4 Connexió a la xarxa i elements de seguretat 38

2.5.5 Tancament de l'electrònica 38
3 Programació de la màquina 41
3.1 Plataforma de programació 41
3.2 Codi 41
3.3 Inicialització i calibratge 44
4 Resum del pressupost 46
5 Conclusions 47
6 Relació de documents 49
7 Bibliografia 50
Annex A Càlculs justificatius del conjunt per al moviment en z 51
A.1 Selecció de la molla 51
A.2 Posicions del conjunt 51
A.3 Selecció del solenoide 53
Annex B Càlculs justificatius del conjunt per al moviment en x i y 55
B.1 Dimensions generals 55
B.2 Fletxa de les baules 56
B.3 Càlcul dels actuadors 59
B.3.1 Dinàmica del mecanisme 59
B.3.2 Simulació: Trajectòria circular 71
B.3.3 Valoració dels actuadors i condicions de treball 77
Annex C Càlculs justificatius de l'electrònica 78
C.1 Font d'alimentació dels servomotors 78
C.2 Font d'alimentació del solenoide 78
C.3 Resistència limitadora de corrent per l'optoacoblador 79
C.4 Fusible de protecció 79
Annex D Programació de la màquina 80
Annex E Documentació tècnica 85
E.1 Documents tècnics del conjunt per al moviment en z 85
E.2 Documents tècnics del conjunt per al moviment en x i y 87
E.3 Documents tècnics de l'electrònica 91

1 Introducció

1.1 Antecedents

1.1.1 Màquines de tall per arrossegament

Una màquina de tall per arrossegament es tracta d'un dispositiu controlat per ordinador destinat a tallar per contacte mitjançant una eina de tall que consisteix en una ganiveta oscil·lant. Aquest tipus d'eina té l'avantatge que gràcies a un mecanisme amb rodaments permet orientar per si sola la ganiveta cap a la direcció de tall. Es pot treballar sobre diferents tipus de materials com cartró, paper, vinil adhesiu i, fins i tot, pell, entre d'altres. El gruix màxim del material depèn del model i es troba normalment entre 2 i 15 mm. A la *Figura 1.1* es mostra un exemple d'aquest tipus de màquina.

Figura 1.1. Màquina de tall per arrossegament model KNF50 de l'empresa Perez Camps (imatge extreta del catàleg)

Una altre sistema per aquesta classe de maquinària és el de tall tangencial. Tot i ser molt similars, es tracta d'un altre tipus de màquina. La principal diferència és que la ganiveta no gira lliurement i l'orientació es realitza mitjançant un motor de posicionament. Aquestes són més precises però el procés és més lent ja que en cada canvi de direcció cal aixecar l'eina.

Deixant de banda el tall tangencial, actualment per aplicacions de tall per arrossegament s'utilitzen màquines com la primerament descrita o simplement s'acobla una ganiveta oscil·lant en el portaeines d'una fresadora de control numèric convencional. En ambdós casos el moviment és de tipus cartesià. L'àrea de treball depèn del model però acostuma a ser de 1000x1000 mm o inferior per configuracions petites i propera a 3000x2000 mm per models grans. Són màquines pesades, destinades a usos industrials i de cost elevat.

La trajectòria que segueix l'eina és definida per l'usuari en una interfície del programa i el cervell o electrònica de la màquina degudament programada acciona els actuadors per tal de seguir-la.

1.1.2 Mecanisme paral·lel planar 3RRR

Un mecanisme paral·lel és aquell que la seva estructura mecànica està formada per un mecanisme de cadena tancada en el que l'efector final s'uneix a la base per almenys dos cadenes cinemàtiques independents (Aracil et al., 2006). Respecte a les configuracions serials, els robots paral·lels presenten millors prestacions pel que fa a rigidesa i velocitat. No obstant, com a desavantatges disposen d'un espai de treball més reduït i amb singularitats.

Hi ha diferents tipus de mecanismes paral·lels: planars, esfèrics i espacials. En els mecanismes paral·lels planars els moviments es troben dins un únic pla i poden ser la translació dins d'aquest i la rotació sobre un eix perpendicular a aquest. Així doncs els mecanismes paral·lels planars (MPP) poden tenir dos o tres graus de llibertat.

El MPP 3RRR consta d'una plataforma mòbil que s'uneix a la bancada per tres cadenes cinemàtiques independents. Aquestes cadenes tenen la configuració RRR que consisteix en dues baules i tres juntes cinemàtiques de revolució, una de les quals és activa (R) i les altres dues són passives (RR).

Sobre una base fixa o bancada es situen les tres juntes actives que actuen sobre els tres graus de llibertat del mecanisme. Llavors les tres cadenes s'uneixen a la plataforma amb les juntes passives passant per una junta rotacional intermèdia. Aquesta arquitectura dóna lloc a un mecanisme paral·lel planar de tres graus de llibertat.

A la *Figura 1.2* s'observa un prototip realitzat al Institute of Mechatronic Systems de Hannover per l'estudi de les singularitats en l'espai de treball i la millora d'aquest.

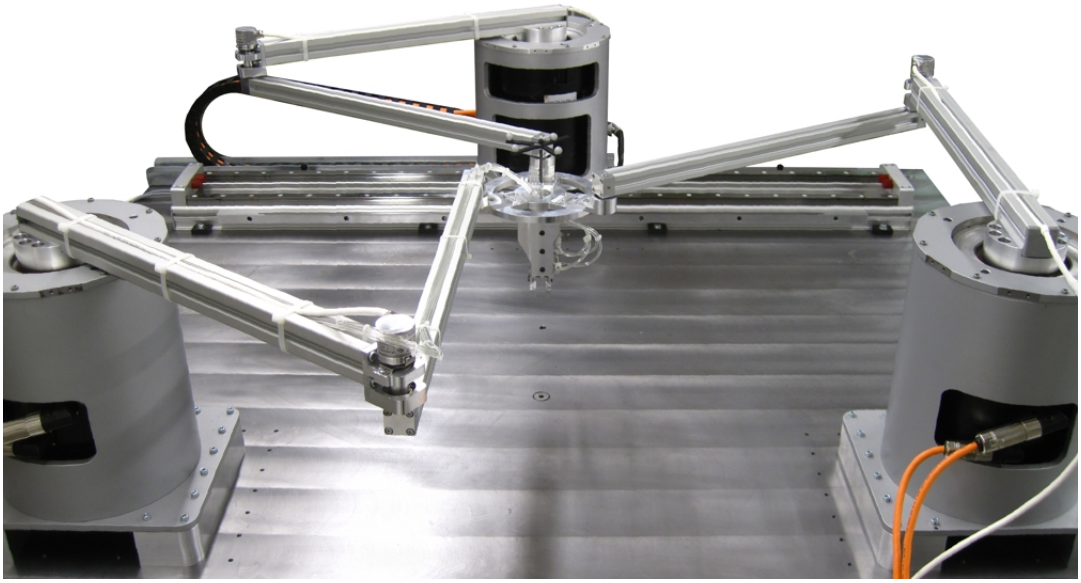


Figura 1.2. Prototip de robot 3RRR realitzat al Institute of Mechatronic Systems de Hannover (Kotlarski et al., 2008)

1.2 Objecte

L'objecte del projecte és el disseny d'un prototip de màquina de tall per arrossegament amb una arquitectura alternativa i explorar la possibilitat de que variant el disseny convencional s'aconsegueixin millors prestacions en termes de pes i velocitat. A canvi, serà una màquina més bàsica, pel tall de contorns senzills i amb una àrea de treball menor.

S'utilitzarà un mecanisme paral·lel planar 3RRR ja que presenta la característica que els actuadors es troben fixats a la base amb el qual es reduirà el pes de l'equip mòbil aconseguint així una menor inèrcia.

1.3 Abast

L'abast del present projecte inclou el disseny complet de la màquina per tal de poder construir-la i fer-la funcionar. Això comprèn els càlculs de l'espai de treball pel dimensionament dels braços, l'elecció d'elements i materials, els plànols dels diferents components, el disseny de la part electrònica i el programa per controlar-la. No obstant, la part de control no inclourà la planificació de trajectòries i la màquina quedarà limitada al tall de contorns senzills.

1.4 Especificacions

A la *Taula 1.1* es recullen les especificacions d'aquest projecte.

Taula 1.1. Especificacions del projecte

ESPECIFICACIÓ	DESCRIPCIÓ
Funció màquina	Tallar per arrossegament seguint trajectòries simples fixades per l'usuari.
Materials a tallar	Treballar sobre materials que talla una màquina de tall per arrossegament convencional (cartró premsat, paper offset, goma, materials compostos, vinil, film, PVC, adhesius i pell) .
Dimensions	Tallar materials de dimensions màximes 420x297 mm, corresponents a la mida estandarditzada DIN A3, i gruix màxim de 2 mm.
Pressió de tall	L'usuari ha de poder augmentar la pressió de tall fins a una pressió màxima de 500 grams.

Moviments	L'eina ha de poder moure's en x i y dins l'espai de treball. També s'ha de poder moure en z per tal de separar-se del material a tallar en un canvi de trajectòria.
Velocitat	La velocitat de l'eina en la direcció de tall ha de poder arribar als 400 mm/s per competir amb les màquines de tall per arrossegament de gamma mitja.
Pes	La part mòbil ha de ser lleugera per poder competir amb les màquines convencionals en termes d'inèrcia.
Energia	La màquina s'alimentarà amb energia elèctrica de la xarxa.
Control	La màquina ha d'estar governada per un hardware lliure. Aquest estarà programat per un software també lliure i s'han de poder comunicar mitjançant connexió USB.
Estructura	Ha de ser resistent per suportar el pes del conjunt i els esforços d'aquest. Les barres estaran sotmeses a flexió i la fletxa haurà de ser menyspreable per no afectar el funcionament de la màquina.
Muntatge i desmuntatge	La fase de disseny ha d'implicar l'estratègia DFMA o "Design for Manufacturing and Assembly" per tal de facilitar l'assemblatge dels elements i la construcció de la màquina. S'han de poder muntar i desmuntar fàcilment els elements que pateixen desgast i requereixen una substitució periòdica.
Materials	Utilització sempre que sigui possible d'elements i materials normalitzats o de compra.
Seguretat	Hi ha d'haver protecció per les persones en la zona de tall.
Costos	Es buscarà minimitzar el cost de la màquina.
Terminis	Finalització setembre de 2016.

2 Descripció de la solució

Els components de la màquina dissenyada es poden agrupar en cinc conjunts: l'eina de tall, el conjunt per al moviment en z, el conjunt per al moviment en x i y, l'estructura i l'electrònica.

El conjunt de l'eina de tall engloba la ganiveta així com l'element de subjecció d'aquesta, el portaeines. El conjunt per al moviment en z està format pels components que permeten separar l'eina del material a tallar en un canvi de trajectòria.

Pel que fa al conjunt per al moviment en x i y, són els elements que permeten situar la ganiveta en un punt determinat dins l'espai de treball. Per fer aquest moviment de translació en x i y s'utilitzarà el mecanisme paral·lel planar 3RRR.

El motiu principal pel qual s'ha escollit aquests sistema, en comptes de la configuració cartesiana, és que amb aquest mecanisme es redueix la massa de la part mòbil ja que no es requereix una guia que es desplaça juntament amb un actuador i un carro mòbil disposats a sobre com en el mètode convencional. En aquest mecanisme, els actuadors es troben fixats a la bancada. Amb aquest sistema doncs es buscarà una reducció en la massa de la part mòbil obtenint així inèrcies menors i conseqüentment una major velocitat.

Un altre punt a favor per l'elecció d'aquest mecanisme és la seva capacitat de càrrega. Considerant que treballa en paral·lel, la disposició dels actuadors fa que, al moure una determinada càrrega, l'esforç es reparteixi entres tots els actuadors i no recaigui només en un.

Un altre aspecte per l'elecció d'aquest mecanisme és l'acceleració. Cada actuador, al no haver de suportar el pes dels altres, exerceix tot el seu parell per accelerar la càrrega útil.

Finalment, un altre motiu important pel qual s'utilitza el mecanisme paral·lel planar 3RRR és la precisió. En aquest cas, cada actuador és independent dels altres, és a dir, a aquest no se li suma l'error d'imprecisió d'un altre actuador a diferència de la configuració cartesiana.

A banda del mecanisme 3RRR, els darrers conjunts en que s'ha dividit el disseny de la màquina són l'estructura, sobre la qual hi reposa el mecanisme en qüestió i la caixa de l'electrònica, i l'electrònica en sí, encarregada de governar els actuadors.

A la *Figura 2.1* es mostra la vista 3D de la màquina dissenyada en el present projecte. En els punts que precedeixen s'exposa de forma detallada la solució escollida per l'obtenció del disseny mostrat a la figura.

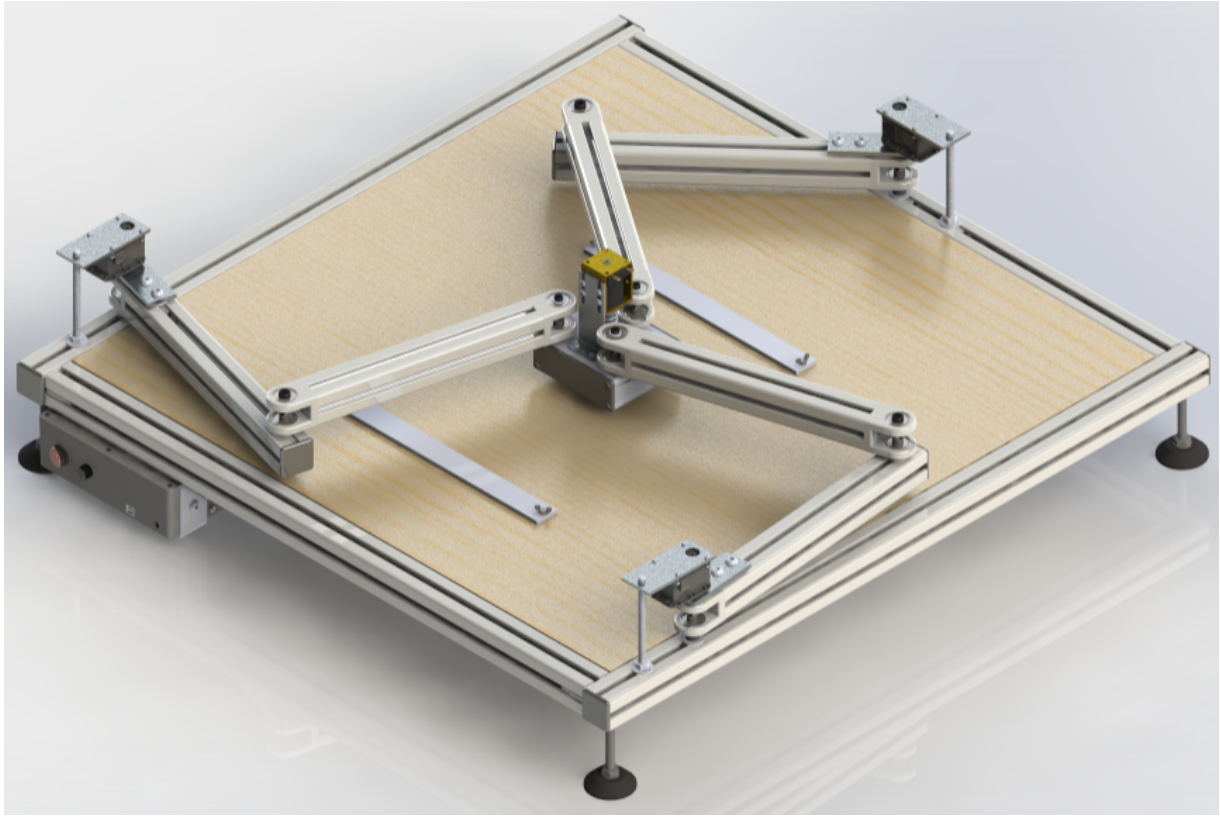


Figura 2.1. Màquina de tall per arrossegament amb mecanisme paral·lel planar 3RRR

2.1 Eina de tall

2.1.1 Portaeines

L'eina ha de permetre que la ganiveta s'orienti per si sola cap a una direcció en desplaçar-la cap a aquesta, és a dir, el tall ha de ser per arrossegament. Per això s'ha optat per la utilització d'un portaeines per traçadores o impressores de tall. Aquestes màquines tenen un principi de funcionament molt similar al de la màquina a dissenyar i el portaeines d'aquestes és adequat per l'aplicació d'aquest projecte.

El portaeines escollit, mostrat a la *Figura 2.2*, és específic per traçadores o impressores de tall de la marca Roland. Aquests són els més utilitzats en el sector i són compatibles amb diversos models.

Figura 2.2. Portaeines per traçadores o impressores de tall de la marca Roland (imatge extreta del catàleg)

Aquest portaeines consta d'un cos principal elaborat en alumini cosa que afavoreix la lleugeresa de la part mòbil. La ganiveta s'introdueix per un orifici situat a la part inferior i queda fixada dins del cos gràcies a un imant.

El portaeines disposa de rodaments dobles a l'interior que permeten que la ganiveta giri lliurement i s'orienti per ella mateixa en la direcció correcta.

Un capçal elaborat en plàstic negre i roscat per la part inferior del cos del portaeines fa possible la regulació de la profunditat amb la que sobresurt la ganiveta. Això ens permetrà fer l'ajust segons el gruix del material a tallar.

Finalment, el tub cilíndric situat a la part superior actua com a punxó per poder extreure la ganiveta en cas que hagi de ser substituïda.

2.1.2 Ganiveta

Al portaeines d'una impressora de tall s'hi poden acoblar diferents ganivetes segons l'aplicació. S'escull en base al material a tallar i el gruix d'aquest.

Els diferents models de ganiveta es diferencien en l'angle de la fulla de tall essent els més comuns 30º, 45º i 60º. La profunditat de tall vindrà determinada per aquest angle de manera que per un major angle la ganiveta penetrarà més profundament i permetrà tallar materials més gruixuts. Així doncs, la ganiveta de 30º s'utilitza per tallar materials molt fins, la de 45º per usos generals i la de 60º per materials gruixuts.

Per la present aplicació s'ha seleccionat una ganiveta de 60º compatible amb portaeines de la marca Roland per tal de tallar el màxim gruix possible. Aquesta està elaborada en carbur cementat el qual ofereix una bona rigidesa obtenint així millor exactitud en el tall respecte altres models elaborats en acer. A la *Figura 2.3* s'exposen tres ganivetes d'aquest tipus amb els angles de fulla més comuns.

Figura 2.3. Ganivetes per traçadores o impressores de tall de 30º, 45º i 60º

2.2 Conjunt per al moviment en z

L'eina s'ha de poder separar del material a tallar quan hi ha un canvi de trajectòria per no fer talls indesitjables. Així doncs, caldrà desplaçar lleugerament l'eina en z i durant un període curt. Per fer petits desplaçaments i de forma més o menys intermitent, la millor solució entre les contemplades és l'ús d'un actuador electromagnètic o solenoide.

Un actuador amb solenoide és un dispositiu capaç de convertir energia elèctrica en energia mecànica lineal. Per tant, quan es requereixi separar la ganiveta del material, s'excitarà el solenoide i el portaeines, acoblat a l'èmbol d'aquest, pujarà.

També cal considerar que és necessari aplicar una certa pressió de tall en la direcció z cap al material. Aquesta força es farà mitjançant una molla. Per tant, quan hi hagi un canvi de trajectòria, el solenoide haurà de fer una força que permeti elevar l'èmbol amb el portaeines acoblat amb els elements d'unió i alhora vèncer la força de la molla. Aquest conjunt es mostra a la *Figura 2.4*.

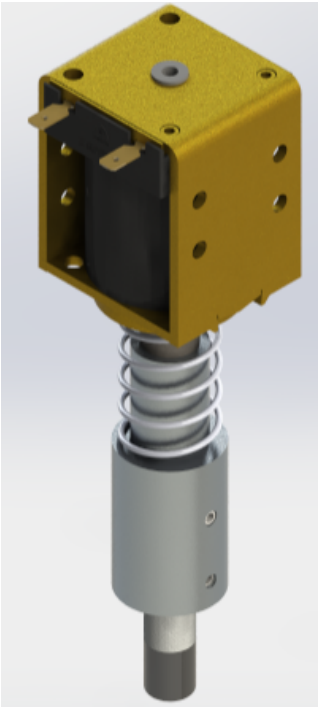


Figura 2.4. Conjunt per al moviment en z

Així doncs, quan el conjunt per al moviment en z està muntat a la màquina podem contemplar dues situacions: la posició de tall i la posició de canvi de trajectòria.

En la posició de tall, el solenoide no està excitat, l'eina està en contacte amb el material a tallar i la molla es troba més o menys comprimida segons la pressió a aplicar (entre 0 i 500 grams aproximadament).

En la posició de canvi de trajectòria, el solenoide estarà excitat de manera que la ganiveta es separarà del material a tallar una distància de seguretat fixada en 5 mm. En aquesta posició la força magnetomotriu del solenoide ha de ser capaç de vèncer el pes de l'èmbol i dels elements acoblats a aquest i també la força de la molla.

La força exercida pel solenoide dependrà del nombre d'espires útils de forma que a mesura que l'èmbol avança dins el cos del solenoide es redueix aquest nombre i la força que es pot exercir és menor. Per això, en aquesta posició la carrera de l'èmbol s'atura mitjançant un topall mecànic a fi que la força magnetomotriu sigui suficient.

A l'Annex A s'exposen de forma detallada les possibles posicions del conjunt per al moviment en z.

2.2.1 Molla

S'ha escollit una molla de filferro d'acer, de diàmetre interior 19.20 mm, longitud natural 38 mm i de constant elàstica 1.038 N/mm que compleix amb les necessitats del disseny pel que fa a les dimensions i la constant elàstica. Els càlculs justificatius per la selecció de la molla es troben a l'Annex A.

2.2.2 Solenoide

El solenoide seleccionat és el model 4HD-I-24D de la marca *Guardian Electric*. Es tracta d'un solenoide que compleix amb la força i amb la carrera requerida tal com justifiquen els càlculs de l'Annex A. S'alimenta amb una tensió continua de 24 V, fa l'acció d'estirar (*pull type*) i té una carrera de 25.4 mm. El solenoide en qüestió es presenta a la *Figura 2.5*.

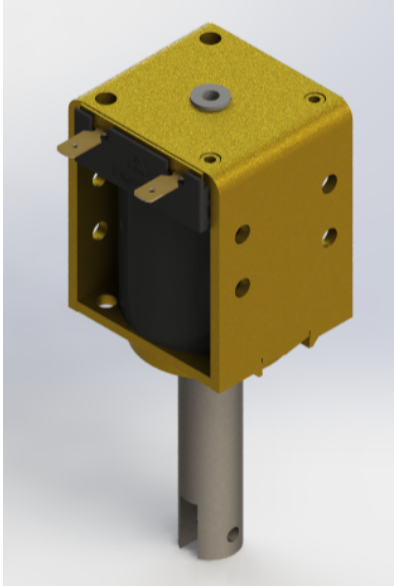


Figura 2.5. Solenoide model 4HD-I-24D de Guardian Electric

Aquest model es troba en la configuració per treballar de forma continua o per treballar de forma intermitent. S'ha optat per la configuració per treballar intermitentment destinada a aplicacions en que el *duty cycle* és com a màxim del 25% (100 segons excitat seguit de 300 segons sense excitar).

El fet de no treballar contínuament permet fer circular una intensitat major que en els models continus sense malmetre el bobinat, donant així una major força electromotriu però amb el desavantatge que únicament es pot excitar durant un curt període de temps.

2.2.3 Peça d'unió èmbol-portaeines

Aquesta peça serà l'encarregada d'unir l'èmbol del solenoide i el portaeines i alhora fer de límit mecànic per aturar la carrera del solenoide.

Atès que no existeix cap element normalitzat ni de compra que faci aquesta funció, la peça d'unió èmbol-portaeines, presentada a la *Figura 2.6*, serà una peça de fabricació pròpia. Es realitzarà en alumini per obtenir bones prestacions en quant a lleugeresa i resistència.

Figura 2.6. Peça d'unió èmbol-portaeines

Considerant que la peça fa de limitador mecànic, caldrà que la seva unió a l'èmbol sigui molt resistent perquè la part superior de la peça rebrà un impacte contra el cos del solenoide en cada canvi de trajectòria. S'ha optat per fer un ajustament amb serratge entre l'èmbol i el diàmetre interior de la peça d'unió. També s'introduirà un passador elàstic ranurat d'acer galvanitzat a través d'un orifici passant situat al cos de la peça i a través dels orificis disposats en l'extrem de l'èmbol.

A la literatura es recomana que el diàmetre nominal del passador sigui igual al diàmetre nominal del forat. El diàmetre de l'orifici de l'èmbol és de 3.2512 mm (veure la documentació tècnica a l'Annex E). Per això s'ha escollit, entre les opcions disponibles, un diàmetre estàndard immediatament següent de 3.5 mm i es rectificarà degudament el forat de l'èmbol. Aquest també serà el diàmetre nominal del forat disposat al cos de la peça.

Així doncs, el passador tindrà un diàmetre nominal de 3.5 mm i una longitud de 24 mm que s'adequa amb la dimensió del cos de la peça. El fet d'utilitzar un passador elàstic fa que no necessitem toleràncies molt restrictives ja que té la capacitat d'adaptar-se gràcies a la ranura.

En relació a la connexió entre la peça d'unió i el portaeines no serà necessària una fixació tan forta com l'anterior ja que en la posició de treball la força que exerceix la superfície contra la ganiveta afavorirà la subjecció. En aquest cas també s'ha optat per un ajustament amb serratge entre el diàmetre interior de la peça d'unió i el diàmetre del cos del portaeines.

Per assegurar el portaeines s'utilitzarà un cargol presoner M4 allotjat en un orifici d'aquesta mètrica disposat en un dels costats de la peça d'unió.

2.3 Conjunt per al moviment en x i y: Mecanisme 3RRR

El mecanisme que permet situar l'eina en x i y dins l'espai de treball és el mecanisme paral·lel planar 3RRR descrit anteriorment. Aquest constarà d'una plataforma mòbil on anirà fixat el conjunt per al moviment en z de manera que es podrà col·locar l'eina en qualsevol punt x i y dins la zona de treball i desplaçar-la lleugerament en z quan es realitzi un canvi de trajectòria.

El mecanisme consta de tres cadenes cinemàtiques (RRR) les quals uneixen la plataforma mòbil amb la bancada. Cada cadena disposa de dues baules i tres juntes de revolució, dues de passives i una d'activa.

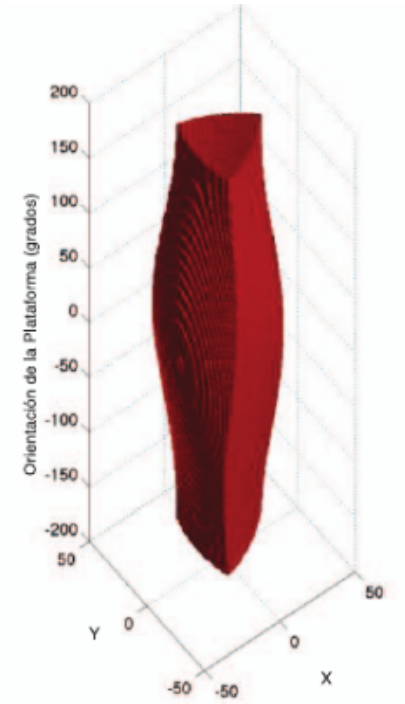
2.3.1 Consideracions prèvies

Els moviments possibles de la plataforma mòbil són la translació en x i y dins el pla de treball i la rotació φ sobre un eix perpendicular a aquest. Tot i disposar d'aquests moviments, per l'aplicació en qüestió s'ha optat per mantenir sempre una orientació φ de 0º, prescindint així del moviment rotacional de la plataforma. Aquest fet no afectarà a l'orientació de l'eina en la direcció correcta ja que, tal com s'ha descrit anteriorment, el portaeines permet que la ganiveta s'orienti per si sola.

Cal a dir que si es prescindeix de la rotació de la plataforma únicament és necessari accionar dos graus de llibertat, és a dir, amb dos actuadors seria suficient. No obstant, la resolució del mecanisme resultaria més complicada i la força disponible a l'element terminal es veuria reduïda.

El motiu principal pel qual s'ha decidit prescindir de la rotació de la plataforma és evitar les col·lisions entre les baules de les tres cadenes.

Un altre aspecte a considerar és que l'espai de treball, definit com la regió de posicions x i y que la ganiveta pot assolir, es veu reduït a mesura que augmentem l'angle d'orientació de la plataforma tal com es veu al *Gràfic 2.1*.



Gràfic 2.1. Espai de treball del mecanisme paral·lel planar 3RRR per diferents orientacions de la plataforma. (Cardona, 2014)

Un altre consideració pel disseny del conjunt per al moviment en x i y són les configuracions singulars. En aquestes situacions el mecanisme perd graus de llibertat, físicament representa que no hi ha moviment de sortida possible per la plataforma mòbil (Tsai, 1999).

Amb la finalitat de defugir d'aquestes posicions singulars s'han escollit unes dimensions del mecanisme per les quals no es donen aquests casos. M. N. Cardona (2014) afirma que per obtenir unes dimensions òptimes, que donen un espai de treball lliure de configuracions singulars, per determinat robot i prenent de base la distància entre els actuadors (H), s'haurà de complir una llei de semblança en la qual les dimensions del costat de la plataforma mòbil (h) hauran de ser el 10 % de H i que la dimensió de les baules hauran de ser iguals (a=b) i amb un valor del 40% de H.

Així doncs, les juntes actives fixades a la bancada definiran un triangle equilàter amb un costat de mida H, les baules seran totes iguals i de mida igual al 40% de H i les juntes passives disposades a la plataforma definiran un altre triangle equilàter de costat de mida igual al 10% de H.

Aquestes dimensions generals es visualitzen a la *Figura 2.7*.

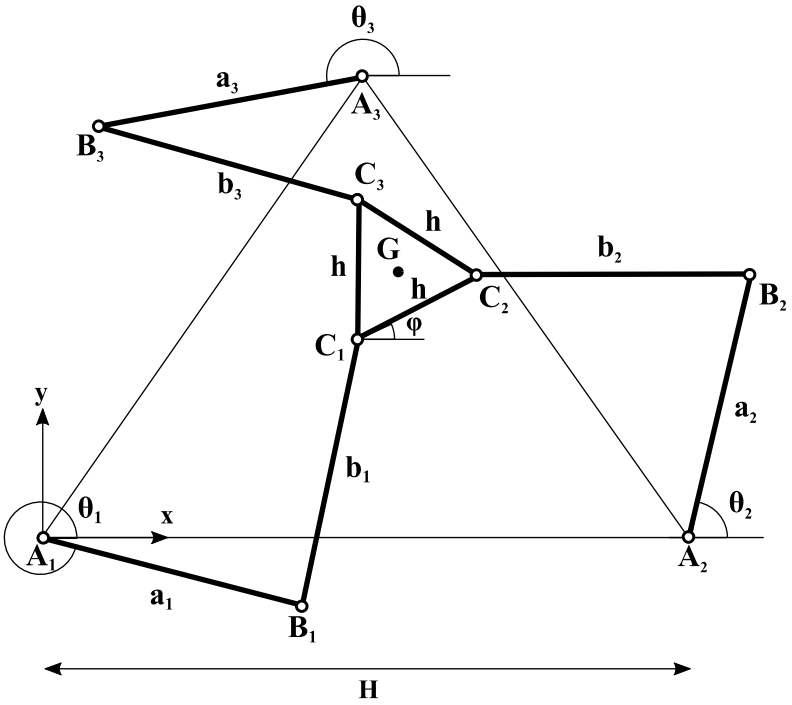


Figura 2.7. Dimensions principals del mecanisme paral·lel planar 3RRR

Un altre aspecte a considerar és la postura utilitzada per treballar amb aquest mecanisme. Segons la posició del colze o junta intermèdia (endins o enfora) el mecanisme paral·lel 3RRR pot adoptar vuit postures diferents les quals es mostren a la *Figura 2.8*.

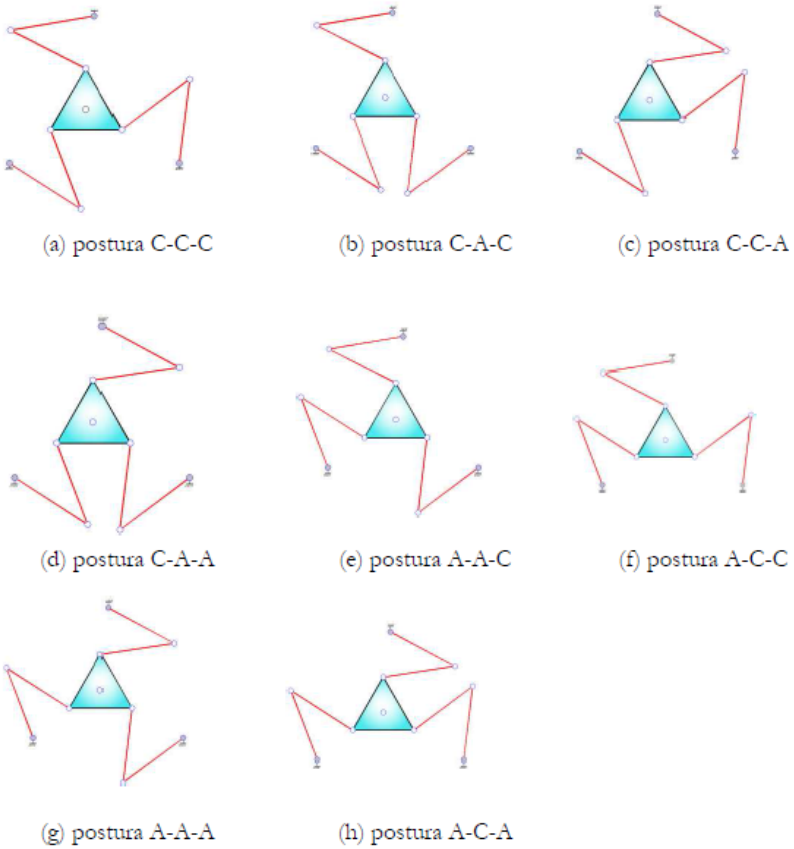


Figura 2.8. Diferents postures que pot adoptar el mecanisme paral·lel 3RRR (Yañez, 2007)

Segons l'estudi de M. N. Cardona (2014), els modes de treball adequats pel mecanisme 3RRR corresponen al primer (a) i penúltim (g) de les possibilitats presentades ja que aquests no presenten singularitats dins l'espai de treball si es compleix la llei de semblança darrerament esmentada. En els altres modes apareixen singularitats dins l'espai de treball. Per tant, per l'aplicació en qüestió el mecanisme sempre treballarà en la postura C-C-C (*Figura 2.8*.a).

2.3.2 Dimensions generals

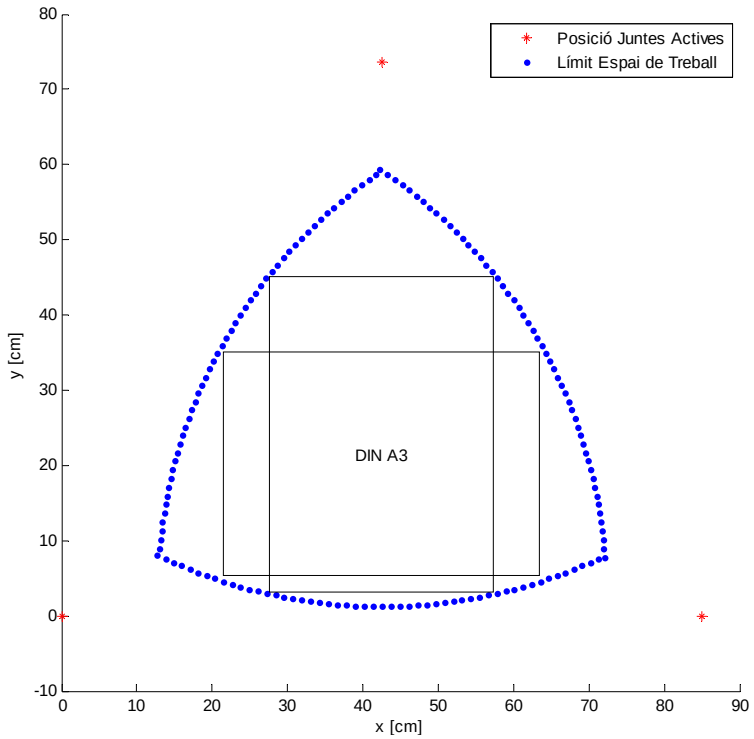
Les dimensions generals del mecanisme estan determinades per l'espai de treball requerit. Aquest espai de treball ha de tenir una àrea suficient a fi que permeti posicionar l'eina de forma que pugui arribar a tallar materials de mides estandarditzades DIN A3.

La distància entre les juntes actives, la dimensió de les baules i la mida del costat de la plataforma mòbil han de ser tals que garanteixin un espai de treball suficient i que compleixin la llei de semblança descrita a l'anterior apartat per evitar configuracions singulars.

A partir del codi amb Matlab que es detalla a l'Annex B es determinen les següents dimensions generals.

- Distància entre els actuadors (H): 85 cm.
- Dimensió de les baules (a=b): 34 cm.
- Dimensió del costat de la plataforma mòbil (h): 8.5 cm.

Tal com es mostra al *Gràfic 2.2*, aquestes dimensions compleixen les condicions plantejades.



Gràfic 2.2. Espai de treball per les dimensions escollides i adaptació al material DIN A3

Cal destacar que aquestes dimensions no corresponen a les de l'element en la seva totalitat sinó que seran les distàncies entre els eixos de les juntes.

Del darrer càlcul també es pot extreure la posició en la que s'haurà de col·locar el material a tallar respecte el sistema de coordenades situat a la primera junta activa. Si es decideix disposar el material verticalment, la cantonada inferior esquerra es trobarà en la posició (276.5, 31) mm respecte la primera junta.

2.3.3 Baules

La solució per les baules consisteix en perfilaria d'alumini extruït. Concretament s'ha escollit un perfil de la sèrie 8 de la marca ITEM. Es tracta d'una sèrie molt versàtil, universal i robusta. Dins aquesta s'ha optat per el model 8 L de dimensió modular de 40 mm i unes característiques favorables pel disseny en qüestió. Aquest es mostra a la *Figura 2.9*.

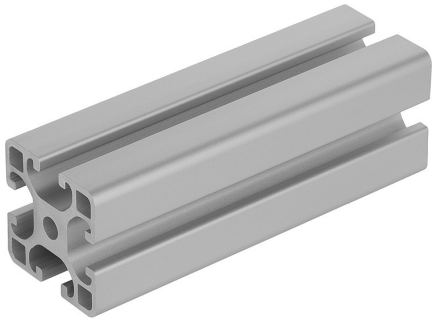


Figura 2.9. Perfil 8 40x40 L de la marca ITEM (imatge extreta de catàleg)

Per la selecció s'ha contemplat principalment la massa i la funcionalitat. El model 8 L (*light*) presenta una gran lleugeresa per tal de reduir la massa de la part mòbil. Aquest perfil es troba anoditzat en color natural i per això és resistent a la corrosió i a ser ratllat donant un aspecte de qualitat a la màquina.

Es tracta d'un perfil lleuger i suficientment rígid alhora, presentant una fletxa menyspreable tal com detallen els càlculs de l'Annex B.

Un aspecte clau per la selecció d'aquest tipus de baules són les funcionalitats que presenta pel que fa al muntatge. Aquests perfils disposen de ranures longitudinals per allotjar elements de connexió i fixar accessoris en qualsevol posició. Existeixen uns connectors ràpids o *fasteners* per aquests perfils que faciliten molt la unió entre aquests i altres elements donant lloc a un muntatge net i ràpid.

Respecte la dimensió longitudinal, aquesta serà de 335 mm per la primera baula i de 280 mm per la segona. Aquestes dimensions contemplen l'espai que ocuparan les juntes i s'ajusten per donar una separació entre eixos de 340 mm tal com s'ha definit anteriorment.

2.3.4 Juntes actives

Les juntes actives són les que es troben fixades a la bancada i actuen sobre els tres graus de llibertat del mecanisme. Així doncs, caldrà per cada junta activa un actuador que transformi energia elèctrica en energia mecànica rotacional i a més es precisa que es pugui controlar aquest moviment de rotació. A la *Figura 2.10* es mostra la solució constructiva per aquestes juntes.

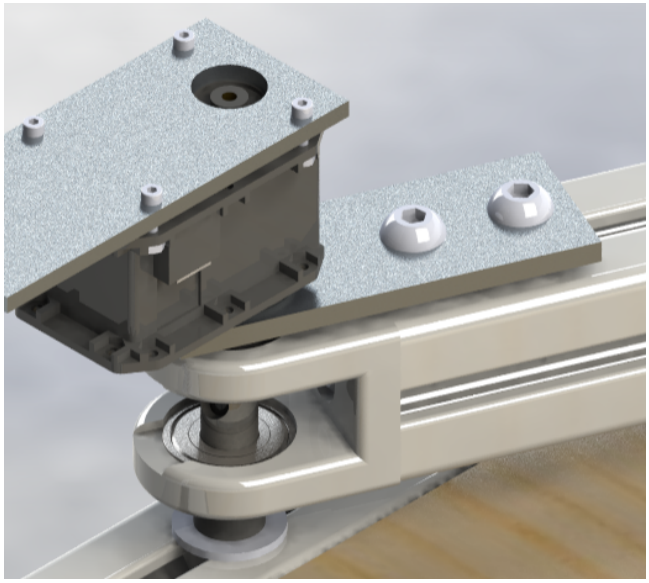


Figura 2.10. Solució constructiva per les juntes actives

Aquesta solució busca evitar que l'eix del motor treballi a flexió. Per aquest motiu s'uneix per testa a l'extrem de la primera baula una peça que allotjarà dos rodaments. Al diàmetre interior d'aquests s'hi ajusta un eix buit a través del qual hi passa un cargol Allen que permet unir la junta a la bancada. L'eix buit juntament amb el cargol Allen suportaran els esforços a flexió evitant que ho faci el motor. Es selecciona un cargol M8 i no de mètrica inferior per tal de suportar els esforços sense deformar-se.

L'actuador queda subjectat per sobre de la junta amb un suport de manera que el seu eix coincideix amb l'eix buit. El capçal giratori del motor transmet el moviment a la baula a través d'una platina permetent la rotació respecte l'eix de la junta activa. Gràcies als rodaments el moviment de rotació es realitza amb un fregament mínim.

- **Actuadors**

Les opcions contemplades per l'actuador són els motors pas a pas i els servomotors. S'han escollit aquests últims perquè són més adequats per aplicacions on es requereix altes velocitats, un parell gran i impliquen canvis dinàmics de càrrega.

Es descarten els motors pas a pas perquè el seu rendiment a altes velocitats és considerablement menor que el dels servomotors donant un parell molt baix quan giren ràpid.

El servomotor consisteix en un actuador rotatori que permet el control precís de la posició angular ja que disposa d'un sensor que retorna la posició. Per tant, treballen en llaç tancat donant lloc a un alt rendiment el qual serà adequat per l'aplicació en qüestió.

L'actuador escollit és de la sèrie Dynamixel de la marca Robotis. Concretament és el model MX-64T mostrat a la *Figura 2.11*. Es tracta d'un servomotor digital, intel·ligent i molt compacte. El cos està elaborat en plàstic d'alta qualitat i els engranatges són d'acer. Per la selecció s'ha contemplat la velocitat màxima, el parell màxim, la resolució i el rang d'operació.

Figura 2.11. Servomotor Dynamixel MX-64T de Robotis (imatge extreta de catàleg)

El model escollit pot girar a una velocitat angular màxima de 117 rpm i té un parell màxim de 6 N·m sota les condicions d'alimentació recomanades. Aquests paràmetres són suficients per obtenir unes velocitats lineals i unes forces a l'element terminal (ganiveta) que puguin competir amb les dels models convencionals d'aquest tipus de màquina. Així ho mostren els càlculs de l'Annex B.

Respecte a la precisió, la posició pot ser controlada amb una resolució de 0.088º la qual és adequada per situar l'eina en x i y de forma molt acurada i precisa.

A diferència de la majoria de servomotors presents al mercat, aquest model té un rang d'operació de 360º amb el qual es pot cobrir sense problemes el rang d'angles que s'obtenen a partir de la col·locació de l'element terminal en els diferents punts compresos dins el material de mida DIN A3.

Altres aspectes de interès pel disseny són les dimensions de 40.2x61.1x41 mm, la tensió d'alimentació de 12 V i la intensitat de 4.1 A que circula pel màxim parell sota les condicions d'alimentació recomanades.

- **Peça d'allotjament dels rodaments**

Per evitar que l'eix del motor treballi de forma inadequada es disposarà de dos rodaments i un eix sobre el qual girarà la junta de manera que sigui aquest el que suporta els esforços a flexió i no l'eix del motor. L'ús de rodaments fa que la rotació sigui amb un fregament mínim. Es precisa però d'una peça que serveixi com a allotjament d'aquests.

S'utilitzarà l'articulació amb rodaments per la sèrie 8 de la marca ITEM presentada a la *Figura 2.12*. Aquesta permet unir perfils ITEM i altres elements proporcionant una rotació amb molt poc fregament entre aquests gràcies a dos rodaments de la sèrie 6001Z de diàmetre interior de 12 mm.

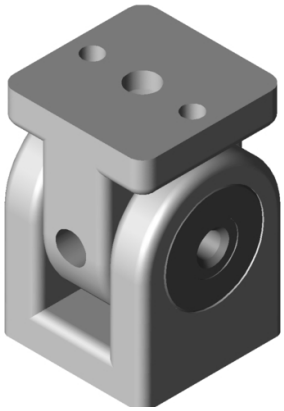


Figura 2.12. Articulació amb rodaments per la sèrie 8 de ITEM (imatge extreta del catàleg)

Aquest element presenta però l'inconvenient que només permet una rotació de 180º, el qual no és adequat per l'aplicació en qüestió. Així doncs, s'adaptarà aquesta articulació a fi que permeti un gir de 360º. Per això, es desacoblen els diferents elements que la composen i s'utilitza únicament el cos principal que serveix com a allotjament dels rodaments. La part utilitzada de l'articulació es mostra a la *Figura 2.13*.

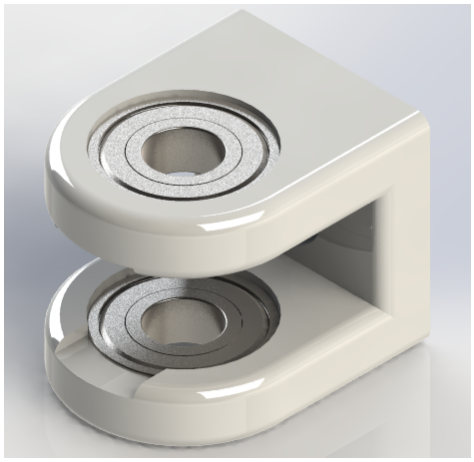


Figura 2.13. Peça d'allotjament dels rodaments 6001Z

Aquesta part permet també la unió amb la baula gràcies a un orifici a través del qual s'hi passarà un cargol Allen M8 que fixarà la peça i el perfil per testa gràcies a una rosca que es practicarà en el nucli d'aquest. Amb l'objectiu que l'element no giri respecte l'eix del cargol, s'utilitzen unes creuetes antigir que s'encaixen a la peça i queden allotjades a les ranures del perfil.

- **Eix de la junta activa**

L'articulació amb rodaments de ITEM inclou de sèrie un eix cilíndric de 12 mm. Aquest disposa d'un forat transversal al centre de la seva dimensió longitudinal que permet passar-hi una clau Allen per enroscar l'articulació al perfil sense necessitat de desmuntar-la.

A l'efecte d'aprofitar l'ajustament òptim de fàbrica entre el diàmetre de l'eix i el diàmetre interior dels rodaments s'utilitzarà l'eix en qüestió. Únicament s'hi mecanitzarà un orifici passant al centre d'aquest de diàmetre 8.25 mm. Aquest forat permetrà fer passar a través de l'eix un cargol Allen de M8. L'eix degudament mecanitzat es mostra a la *Figura 2.14*.

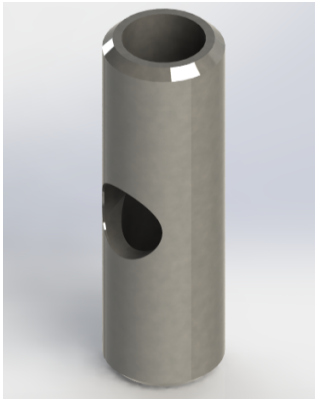


Figura 2.14. Eix de sèrie de l'articulació ITEM mecanitzat

La cabota del cargol Allen M8 amb un diàmetre de 13 mm pressionarà únicament la pista interior del rodament superior sense excedir les dimensions de topall de la sèrie 6001Z. Llavors el cargol permetrà fixar la junta a l'estructura gràcies a una femella ITEM M8 disposada a la ranura dels perfils que conformen la bancada.

Per tal de sostenir el mecanisme 3RRR a una alçada suficient per sobre del taulell, es col·loca un gruix de PVC entre el perfil ITEM de la bancada i la cara de sota del rodament inferior. Aquest gruix de PVC, de fabricació pròpia, consisteix en un cilindre tubular de diàmetre extern de 15 mm i diàmetre intern de 8.25 mm. El gruix pressiona la pista interior del rodament inferior respectant també en aquest cas les dimensions de topall de la sèrie.

Per tenir un àrea major per pressionar el perfil de la bancada i aconseguir una unió més forta es col·loca una volandera plana entre el gruix i el perfil.

A la *Figura 2.15* s'observa en detall la solució descrita en aquest apartat. En acer de color negre es té el cargol Allen que passa a través de l'eix buit ajustat al diàmetre interior dels rodaments. Seguidament es disposa en PVC de color gris el gruix que permet elevar el mecanisme i finalment es té la volandera i la femella ITEM encarregades de fixar la junta amb la bancada.

Figura 2.15. Detall de l'eix de la junta activa

- **Platina d'unió del capçal giratori i la baula**

Per acoblar els actuadors a les primeres baules s'utilitzarà una platina degudament mecanitzada. Atès que no existeix cap element de compra que s'adapti a aquesta funció, la platina d'unió presentada a la *Figura 2.16* serà una peça de fabricació pròpia.

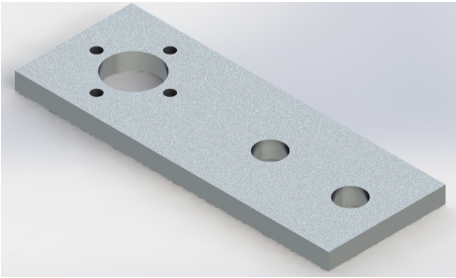


Figura 2.16. Platina d'unió del capçal giratori de l'actuador i la primera baula

S'elaborarà en alumini per obtenir una bona lleugeresa i no carregar el pes de la part mòbil. La platina quedarà unida al capçal giratori de l'actuador mitjançant quatre cargols Allen de M2.5. Aquests passaran a través de quatre forats practicats a la platina i quedaran collats als orificis roscats d'aquesta mètrica disposats al capçal giratori de l'actuador.

Al centre de la circumferència que descriuen els centres dels orificis de M2.5 s'hi mecanitzarà un orifici passant de 15 mm de diàmetre. Aquest evitarà que la cabota del cargol Allen que passa a través de l'eix buit interfereixi amb la platina. Això és important ja que aquest cargol, al fixar la junta amb la bancada, restarà estàtic i serà la baula que rotarà respecte el seu eix. Així doncs cal que la platina no tingui contacte amb la cabota per evitar fregaments mecànics.

Aquest orifici també servirà per allotjar la cabota del cargol que fixa el capçal giratori amb el cos del servomotor.

Pel que fa a la unió entre la platina i la primera baula s'utilitzaran dos cargols Allen de M8 que passaran a través de dos forats de 8.25 mm de diàmetre disposats a l'altre extrem de la platina. Aquests cargols quedaran collats a la baula gràcies dues femelles ITEM situades a l'interior de la ranura del perfil. Entre la platina i la baula es col·loca una volandera per cada cargol per deixar espai a les cabotes dels cargols de M2.5.

2.3.5 Juntes passives

A cada cadena es tenen dues juntes passives. Una d'aquestes és la unió entre les dues baules i l'altra la unió entre la segona baula i la plataforma.

Aquestes juntes treballen de forma passiva, és a dir, giren lliurement permetent la rotació relativa entre els elements que uneixen. Cal doncs un element mecànic que permeti aquesta rotació relativa amb precisió i un fregament mínim. L'element idoni per aquesta funció és altra vegada el rodament de boles.

Així doncs, per les juntes passives s'opta per la mateixa solució que la utilitzada en les juntes actives. Als dos extrems dels perfils de les segones baules s'hi unirà per testa la peça d'allotjament dels rodaments. D'aquesta manera un dels extrems de les primeres baules quedarà lliure i s'hi col·locarà una tapeta per donar un millor aspecte visual.

A la *Figura 2.17* s'observa la solució per les juntes passives.

a) b)

Figura 2.17. a) Junta passiva intermèdia. b) Junta passiva de la plataforma

Per la junta intermèdia s'utilitzarà un cargol Allen M8 de la mateixa forma que per la junta activa. En aquest cas també es disposarà d'un gruix de PVC perquè les baules no freguin però serà d'una alçada menor que per la junta activa.

La junta intermèdia quedarà fixada a la primera baula gràcies a una femella ITEM M8 disposada a la ranura d'aquesta. La femella s'haurà de situar dins la ranura de la primera baula de tal manera que entre l'eix de la junta activa i l'eix de la junta intermèdia hi hagi una distància de 340 mm tal com s'ha acordat en l'apartat de dimensions generals.

Pel que fa a la junta passiva que uneix les cadenes i la plataforma, la solució difereix lleugerament de l'anterior. En aquest cas s'utilitzarà un cargol Allen de M6 ja que no hi ha espai suficient a la plataforma per practicar-hi els orificis que allotjarien els cargols de M8. Caldrà doncs mecanitzar un forat de diàmetre 6.25 mm en l'eix de l'articulació ITEM per poder allotjar el cargol.

La cabota del cargol de M6, a diferència del cas de la junta intermèdia, no té un diàmetre suficient per pressionar la pista interior del rodament. Per això es col·loca una volandera entre la cabota i el rodament superior.

També s'utilitzarà un gruix de PVC a fi que la plataforma no fregui amb la segona baula i la junta quedarà fixada amb una femella hexagonal estàndard M6 situada per sota de la superfície de la plataforma.

2.3.6 Plataforma mòbil i suport del conjunt per al moviment en z

La plataforma mòbil serà l'encarregada de subjectar el conjunt per al moviment en z i el portaeines en la posició correcta per tal de poder traslladar la ganiveta en x i y. És per això que es fixarà un suport en forma de "L" a la plataforma perquè subjecti el solenoide en una posició adequada. A la *Figura 2.18* es visualitza l'assemblatge dels elements darrerament esmentats.

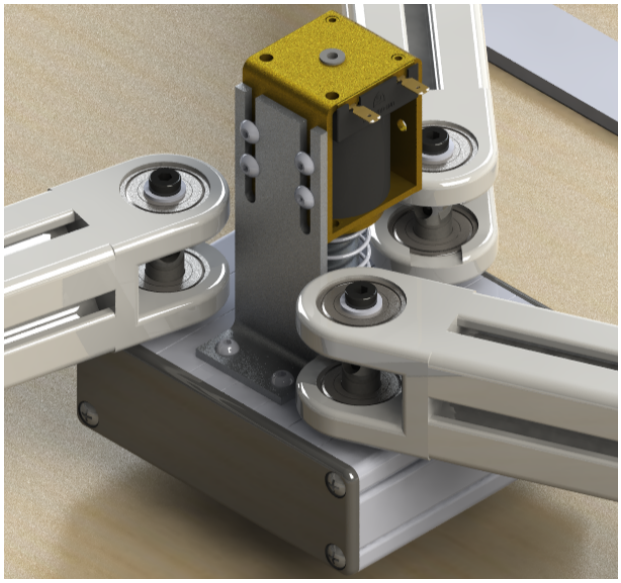


Figura 2.18. Assemblatge de la plataforma, el suport en L i el conjunt pel moviment en z

Tal com s'observa, per donar un millor aspecte visual a la plataforma es col·locaran unes tapes a cada costa del canal de manera que tant les femelles per fixar el suport del solenoide com les femelles per fixar les juntes quedaran ocultes.

- **Plataforma mòbil**

La plataforma consistirà en un canal d'alumini anoditzat de dimensions 120x100x40 mm i gruix 2.5 mm aconseguint bones prestacions pel que fa a la lleugeresa. S'utilitzaran els canals modulars de la marca ITEM que tenen una construcció directa i sense mecanitzats muntant els perfils laterals en els perfils portadors. La plataforma es mostra a la *Figura 2.19*.

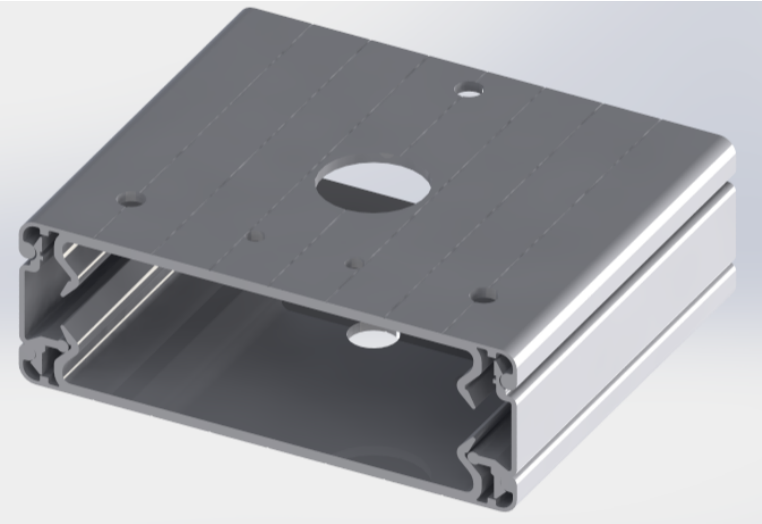


Figura 2.19. Plataforma mòbil

De les dimensions generals del mecanisme 3RRR detallades amb anterioritat es té que els eixos de les juntes passives que uneixen les baules amb la plataforma formen un triangle equilàter de costat igual a 85 mm. Així doncs, la plataforma haurà d'incloure tres orificis que permetin fixar els cargols Allen de M6 de manera que els eixos de les juntes compleixin amb aquestes dimensions.

Per subjectar el conjunt per al moviment en z es requereix un suport que també haurà d'anar fixat a la plataforma. La fixació es farà mitjançant dos cargols Allen M4 amb el qual caldrà practicar a la plataforma dos orificis amb aquesta finalitat.

L'aspecte considerat per l'elecció d'aquest tipus de canal per la plataforma és evitar inclinacions en l'eix definit pel portaeines i el conjunt per al moviment en z. Aquest fet provocaria una pèrdua de qualitat en el tall. Per això, gràcies a una plataforma en forma de canal, s'aconsegueix que l'eix de la ganiveta quedi centrat per dos punts que es corresponen a l'orifici de la tapa superior de la plataforma i a l'orifici de la base de la plataforma.

Aquests dos orificis són de diàmetres diferents atès que el forat superior conduirà el cos de la peça d'unió entre l'èmbol del solenoide i el portaeines i el forat inferior conduirà el cos del portaeines. Tanmateix caldrà mecanitzar-los alhora a fi que siguin perfectament concèntrics.

- **Suport del conjunt per al moviment en z**

L'element que subjectarà el solenoide en la posició adequada consistirà en un suport en forma de "L" tal com mostra la *Figura 2.20*. Pel fet que no hi ha cap element normalitzat ni de compra que faci aquesta funció caldrà mecanitzar el suport en alumini per tal de no carregar la plataforma mòbil.

Figura 2.20. Suport del solenoide

El suport inclourà dos orificis a la part inferior que permetran la fixació amb la plataforma amb dos cargols M4 estàndards. Pel que fa a la subjecció del conjunt per al moviment en z, el suport disposa d'unes ranures que permeten fixar el solenoide gràcies a quatre cargols i els forats roscats practicats en el cos d'aquest. Les ranures possibiliten la col·locació del solenoide a diferents alçades segons la pressió de tall requerida.

2.4 Estructura

L'estructura és l'encarregada de subjectar el mecanisme 3RRR, la caixa de l'electrònica i el taulell sobre el qual es realitzarà el tall. Ha de ser rígida, resistent i funcional.

2.4.1 Estructura bàsica

L'estructura bàsica consisteix en una bancada simple formada per quatre perfils d'alumini que s'eleva del terra mitjançant quatre peus ajustables. Per donar un millor aspecte visual als extrems dels perfils que queden lliures s'hi posa una tapa. L'estructura bàsica es mostra a la *Figura 2.21*.

Figura 2.21. Estructura bàsica

- **Mides**

Les mides principals de l'estructura són 890x900x128 mm. Aquestes s'han seleccionat considerant que la bancada haurà de sostenir els tres servomotors i que entre els eixos d'aquests s'ha de definir un triangle equilàter de costat igual a 850 mm segons s'ha acordat a l'apartat de dimensions generals.

L'estructura s'ha sobredimenisonat en la direcció y amb la finalitat que el colze de la primera cadena no sobresurti excessivament de la zona de treball i pugui impactar amb objectes propers a la màquina.

Pel que fa a la dimensió en z, aquesta s'ha fixat en 128 mm tot i que es pot variar gràcies als peus ajustables. Aquesta dimensió ha de ser suficient per deixar lloc a la caixa de l'electrònica. No obstant, es buscarà que sigui el menor possible per aconseguir un disseny compacte.

- **Perfils**

S'han seleccionat els mateixos perfils que els utilitzats en les baules del mecanisme 3RRR. Aquests són de la marca ITEM sèrie 8 L de dimensió modular 40 mm. Es tracta d'un perfil lleuger que donarà lloc a una estructura amb un pes adequat per tal de poder transportar la màquina en cas que calgués canviar el seu emplaçament.

També s'ha contemplat per la selecció d'aquest tipus de perfil la seva funcionalitat pel que fa al muntatge. Gràcies a les ranures longitudinals i les femelles específiques per aquest tipus de perfil, es podran muntar els diferents elements d'una forma neta i sense mecanitzats.

Per la selecció del perfil també s'ha calculat la fletxa. Els càlculs d'aquesta no s'adjunten ja que els resultats són pràcticament nuls. Així doncs, amb una fletxa totalment menyspreable, es té que els perfils són adequats.

- **Unions**

Per unir els perfils de la bancada s'utilitzaran els kits d'unió automàtics ITEM específics per als perfils de la sèrie 8. De les múltiples possibilitats, s'ha seleccionat aquest tipus d'unió perquè no requereix cap mecanitzat previ.

Aquest tipus d'unió s'utilitza sempre en parelles. Consisteix en un cos roscat que es cargola en l'extrem de la ranura del perfil mecanitzant-se automàticament la rosca. Prèviament s'haurà introduït un cargol Allen en la mateixa ranura. El cos roscat serveix per allotjar el cargol que es fixarà a l'altre perfil ITEM mitjançant una femella disposada en la ranura del segon. La vista de l'especejament d'aquesta unió es mostra a la *Figura 2.22*.

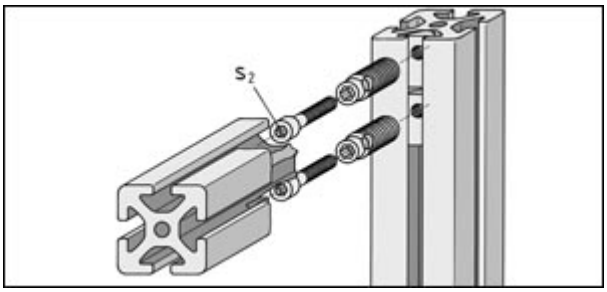


Figura 2.22. Parella de kits d'unió automàtics ITEM per la unió de dos perfils (imatge extreta del catàleg)

- **Peus**

Per tal d'elevar l'estructura respecte el terra s'utilitzaran uns peus ajustables de la marca ITEM. S'ha seleccionat el model D60 M10x120. Consta d'una base amb un diàmetre de 57 mm. Aquest és adequat per proporcionar estabilitat a la bancada.

Té una alçada de 120 mm suficient per cobrir la mida del perfil i de la caixa de l'electrònica. No obstant, aquest peu consta d'un cos cilíndric roscat (M10) de manera que es podrà ajustar l'alçada gràcies a una femella posicionada segons escaigui.

Per fixar els peus a la bancada s'utilitzarà un forat roscat practicat en l'extrem dels perfils i una contrafemella que quedarà per sota d'aquests.

2.4.2 Superfície de tall

La superfície de tall serà l'element sobre el qual es disposarà el material a treballar i es farà el tall. Consistirà en un taulell que reposarà en els suports fixats a la bancada. El taulell disposarà d'un sistema per aguantar el material a tallar.

- **Material del taulell**

Per la superfície de tall s'ha seleccionat un taulell de DM (densitat mitja) o MDF (*Medium Density Fibreboard*). Aquest material és un tipus d'aglomerat elaborat amb fibres de fusta aglutinades amb resines sintètiques a través d'alta pressió i temperatura en sec.

Per la selecció d'aquest material s'han considerat diversos aspectes. Un primer punt clau de disseny és l'acabat. Els taulells DM tenen una estructura uniforme i homogènia i una textura molt fina que permet que les seves cares i arestes tinguin un molt bon acabat. Així doncs, els acabats d'aquest tipus de taulell són adequats perquè la superfície de tall no tingui imperfeccions i s'aconsegueixi un tall de qualitat.

Un altre aspecte important és la duresa. A fi que la ganiveta no es desgasti molt ràpid i calgui una freqüent substitució és necessari que la superfície de tall no sigui molt dura. Aquesta consideració fa els taulells DM més apropiats respecte als taulells metàl·lics.

Finalment, un punt fonamental és el preu. Els taulells DM al tenir un cost molt econòmic seran adequats ja que la superfície de tall es desgastarà i caldrà una substitució periòdica.

- **Mides del taulell**

Les dimensions del taulell són de 810x820x20 mm. Les mides en x i y es determinen per tal que el taulell quedi encaixat entre els perfils ITEM de la bancada. La dimensió en z de 10 mm s'ha seleccionat per no carregar excessivament l'estructura i que alhora no es produeixi el pandeig. A més aquest gruix farà que la superfície del taulell no sobresurti per sobre dels perfils de l'estructura donant un millor aspecte visual.

- **Suport del taulell**

El taulell es trobarà assentat sobre quatre suports en forma de "L" fixats a la part interior de l'estructura. Els suports seleccionats consisteixen en uns angles de dimensions 80x40x20 mm de la marca ITEM. El material d'aquests és el Zamak (aliatge de zinc amb alumini, magnesi i coure).

Els suports s'uniran a l'estructura mitjançant cargols Allen M6 i femelles específiques ITEM situades a la ranura interior dels perfils de la bancada. S'utilitzaran dos cargols per cada suport per evitar que quedin inclinats.

A la *Figura 2.23* s'observa en detall com queden disposats els suports del taulell a l'interior de l'estructura.

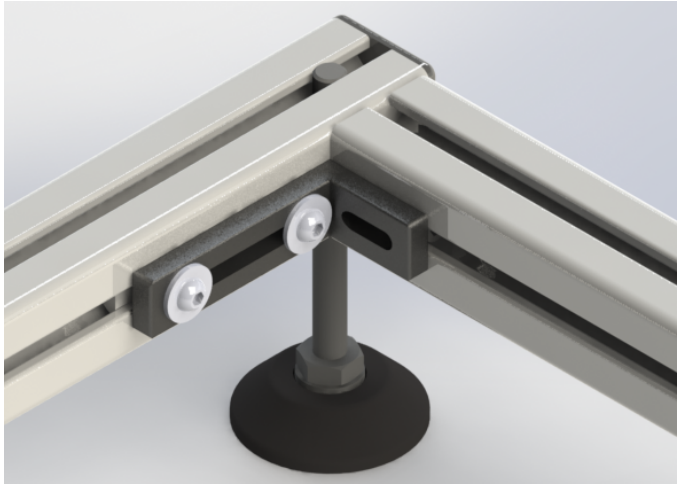


Figura 2.23. Suport del taulell fixat a l'interior de l'estructura

- **Fixació del material a tallar**

El sistema encarregat de fixar el material de mida DIN A3 al taulell durant l'operació de tall es mostra a la *Figura 2.24*. Els extrems del material disposat verticalment es col·locaran per sota de les platines i l'usuari ajustarà manualment els cargols de manera que el material quedi completament fitxat.

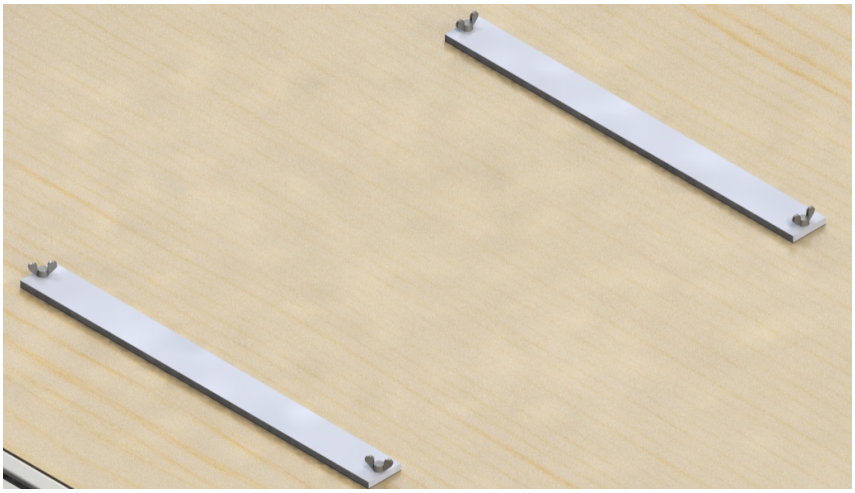


Figura 2.24. Sistema per la fixació del material a tallar DIN A3 al taulell

Les platines inclouen als seus extrems un forat de 4.5 mm de diàmetre que permet allotjar els cargols de M4 comunament coneguts com cargols de papallona o d'ala. Aquests cargols faran que les platines exerceixin pressió sobre els extrems del material a tallar i aquest quedi fixat.

A l'efecte de poder collar els cargols es practiquen al taulell DM dos forats passants de 8 mm de diàmetre en els quals s'hi entrarà a pressió una femella hexagonal de M4. Això impedirà el moviment de la femella quan es giri el cargol. Per tal d'assegurar que la femella queda immobilitzada s'encolarà l'orifici amb cola sintètica.

2.4.3 Fixació dels servomotors

Es requereix d'un conjunt d'elements que permeti sostenir i fixar els servomotors per sobre de les juntes actives de tal manera que l'eix del servomotor i l'eix de l'articulació coincideixin. La solució per la fixació dels actuadors es mostra a la *Figura 2.25*.

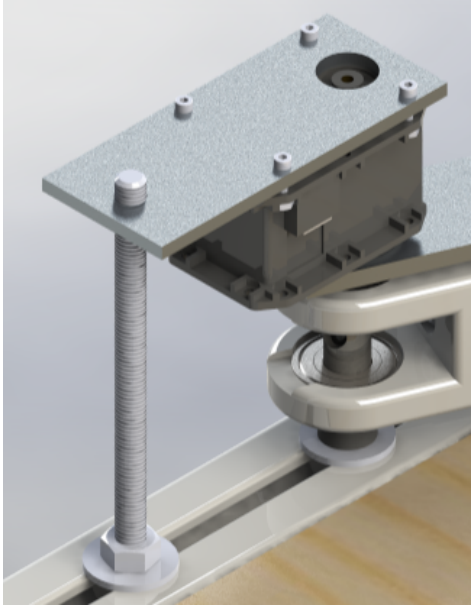


Figura 2.25. Solució per la fixació dels servomotors

La present solució busca evitar problemes de concentricitat entre l'eix del servomotor i l'eix de l'articulació. Tal com es pot observar el pes del servomotor recaurà sobre l'articulació i la platina de suport i la barra roscada únicament faran que el moviment del cos de l'actuador quedi bloquejat. D'aquesta manera s'evita que un mal muntatge del servomotor en el suport provoqui una insuficient alineació d'eixos. Això donaria lloc a fregaments mecànics que disminuirien notablement el rendiment dels actuadors.

Es requereix de la fabricació d'una platina que exercirà de suport pel servomotor atès que no existeix cap element de compra que faci aquesta funció. El disseny d'aquesta es mostra a la *Figura 2.26*.

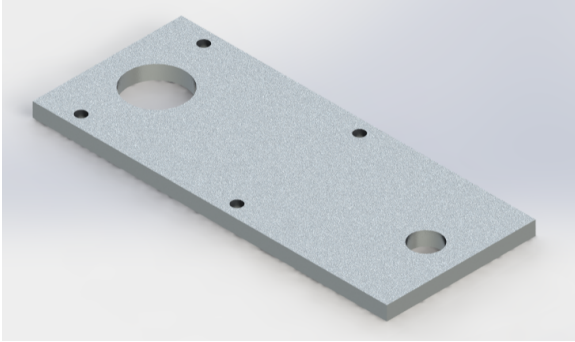


Figura 2.26. Platina suport pel servomotor

La platina inclou quatre orificis de 3 mm de diàmetre que permeten la unió entre aquesta i el servomotor a través de quatre cargols Allen M2.5 que queden collats amb unes femelles disposades al cos de l'actuador.

A l'eix de simetria de la platina s'hi practiquen dos forats. Un d'aquests forats, amb un diàmetre de 16 mm, permet allotjar la part de l'eix del servomotor que surt per la seva zona inferior. A través de l'altre orifici de diàmetre nominal 8 mm s'hi fa passar la barra roscada de M8 per bloquejar el moviment del cos del motor.

La barra roscada es fixarà a la bancada amb una femella ITEM de M8 allotjada a la ranura del perfil i una contrafemella hexagonal que es col·locarà per sobre del perfil juntament amb una volandera.

2.5 Electrònica

L'electrònica engloba el conjunt d'elements que permeten subministrar energia i controlar els dispositius electrònics de la màquina. Aquests dispositius són els tres servomotors i el solenoide.

Es tindran dos circuits diferenciats però alhora governats per la mateixa placa controladora. Un circuit tindrà la funció del control i alimentació dels servomotors mentre que l'altre exercirà la mateixa funció però sobre el solenoide.

2.5.1 Placa controladora

Una placa controladora consisteix en una placa programable amb entrades i sortides que permet transmetre informació i actuar sobre els diferents dispositius connectats a aquesta.

S'ha escollit una placa microcontroladora Arduino model UNO. Es tracta d'una plataforma de hardware lliure, molt flexible i molt econòmica. Aquest model és el més estàndard i compleix amb els requisits pel que fa a les entrades i sortides disponibles, memòria, intensitat per pin i tensió d'operació, entre d'altres prestacions mostrades a la documentació tècnica a l'Annex E.

Un aspecte clau per l'elecció de la plataforma Arduino és que es tracta de hardware i software de codi obert, és a dir, no caldrà disposar de cap llicència per la utilització d'aquesta.

Disposa també d'un port per comunicar-se amb un ordinador mitjançant connexió USB, cosa que permetrà a l'usuari intercanviar informació amb la placa de forma senzilla.

Per l'elecció també s'ha valorat el software per programar la placa. El software Arduino, també lliure, es basa en el llenguatge C++. Aquest fet dóna lloc a disposar de molta informació per la programació i a la existència d'una gran quantitat de llibreries.

2.5.2 Circuit per l'alimentació i control dels servomotors

Aquest circuit serà l'encarregat d'alimentar i controlar els servomotors. Comprendrà bàsicament una font d'alimentació per subministrar energia als servomotors i un buffer triestat degudament connectat a la placa Arduino per permetre la correcta transmissió de dades. A la *Figura 2.27* es mostra aquest circuit.

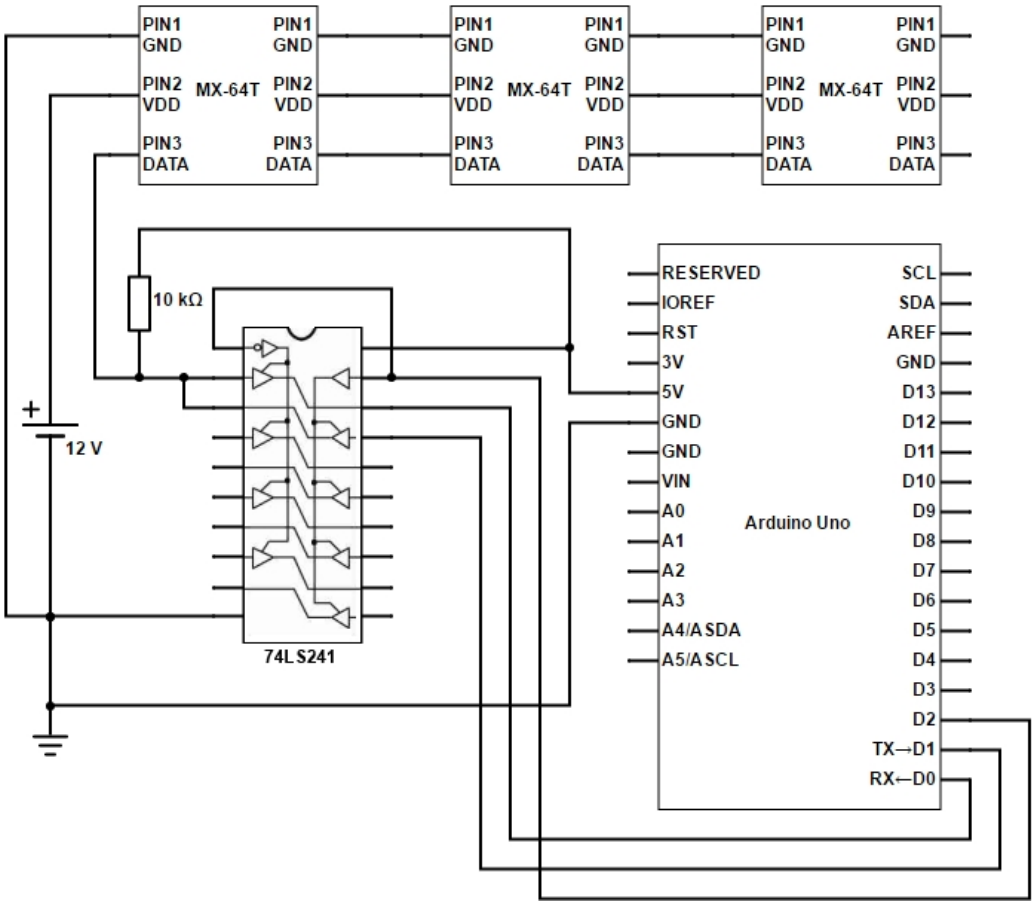


Figura 2.27. Esquema del circuit per l'alimentació i control dels servomotors

Tal com s'observa la connexió a terra (GND) del bufer, de la placa microcontroladora i dels servomotors queden unides per tal d'aconseguir la correcta comunicació.

Els servomotors d'aquesta sèrie disposen de dos ports preparats per la comunicació TTL. La presència de dos ports fa possible connectar els servomotors en sèrie de manera que només sigui necessària la connexió d'un d'aquests al circuit d'alimentació i control.

- **Alimentació**

Per alimentar els tres servomotors s'utilitzarà una font d'alimentació commutada integrada del fabricant RS Pro de la sèrie RS-150. Concretament s'escull el model RS-150-12. Aquesta amb una potència nominal de 150 W i una tensió de sortida de 12 V de corrent continua és suficient per l'alimentació dels servomotors tal com justifiquen els càlculs de l'Annex C.

Té un rang de tensió d'entrada de 176 a 264 V de corrent alterna amb el qual serà adequada per funcionar amb l'energia elèctrica subministrada per la xarxa.

Disposa d'unes dimensions de 199x98x38 mm i és fàcil d'instal·lar gràcies als orificis disposats a la carcassa d'aquesta. Les connexions es realitzen de forma senzilla gràcies a uns terminals de bloc roscats.

- **Circuit de control**

Per controlar els servomotors cal tenir en consideració un aspecte molt important: el protocol de comunicació d'aquests. A diferència d'altres servomotors de gammes inferiors, la sèrie Dynamixel no respon a senyals de modulació per amplada de pols (*Pulse-width modulation* o PWM), sinó que respon a un protocol més sofisticat d'instruccions per llegir i escriure la seva memòria. La comunicació té lloc a través d'un port sèrie (port UART).

Una interfície serial on ambdós dispositius poden enviar i rebre informació, és a dir, la comunicació és bidireccional, es coneix com un sistema *Duplex*. Cal distingir però el sistema *Full Duplex* i el *Half Duplex*. En el cas del *Full Duplex*, els dos dispositius poden enviar i rebre informació simultàniament a diferència del *Half Duplex* on la comunicació també és bidireccional però els dispositius no poden enviar i rebre alhora.

El microcontrolador Arduino disposa d'una interfície serial *Full Duplex* utilitzant la connexió TX per transmetre i RX per rebre aconseguint així la transmissió i recepció simultània. No succeeix el mateix pels actuadors Dynamixel que utilitzen únicament un cable tant per la transmissió com la recepció. Es té doncs que aquests actuadors utilitzen el sistema *Half Duplex*.

Per poder controlar aquests motors amb una placa microcontroladora Arduino o similar es disposa del buffer triestat 74LS241 i es construeix un circuit que converteix el *Full Duplex* en *Half Duplex*. El circuit recomanat pel fabricant dels actuadors es mostra a la *Figura 2.28*.

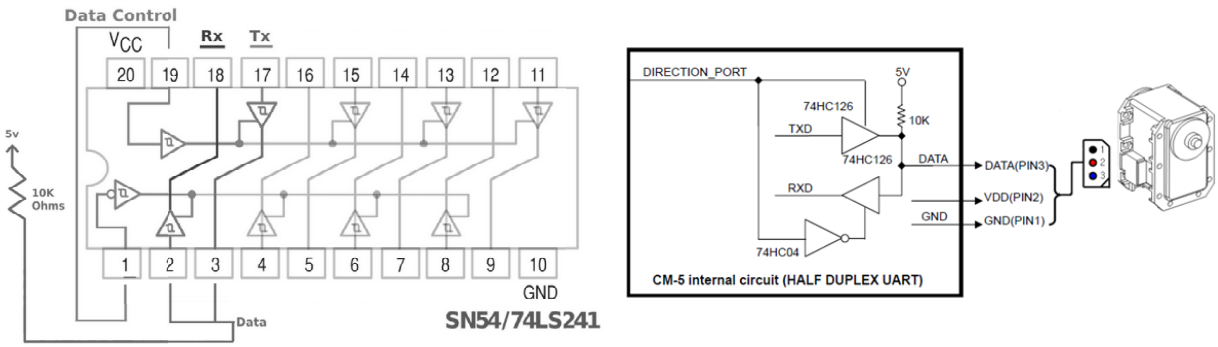


Figura 2.28. Circuit recomanat pel fabricant per la conversió *Full Duplex – Half Duplex*

2.5.3 Circuit per l'alimentació i control del solenoide

Aquest circuit serà l'encarregat d'alimentar i controlar el solenoide. Comprèn una font d'alimentació per subministrar energia al solenoide i diferents elements que permeten separar el circuit de control del circuit de potència per no malmetre la placa controladora. El circuit en qüestió es mostra a la *Figura 2.29*.

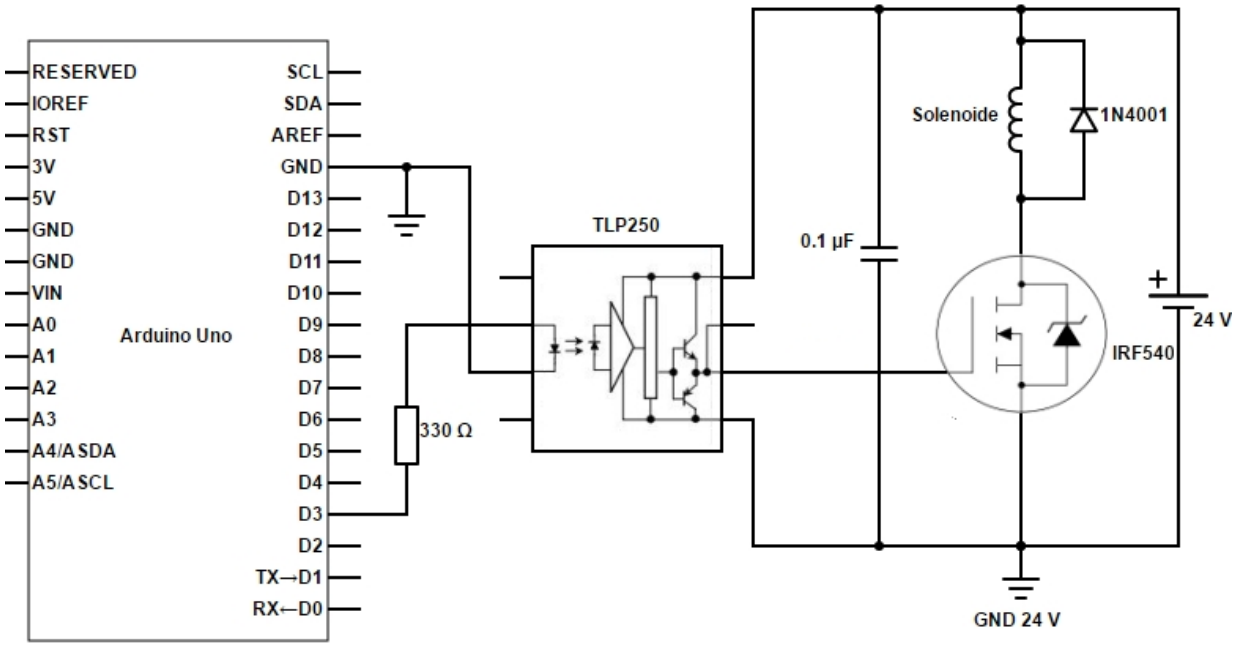


Figura 2.29. Esquema del circuit per l'alimentació i control del solenoide

Tal com s'observa, la terra pel solenoide (GND 24 V) i per la placa controladora queden clarament separades com a mesura de protecció.

- **Alimentació**

Per alimentar el solenoide s'utilitzarà una font d'alimentació commutada integrada del fabricant TracoPower model TXM 035-124. Aquest model té una potència nominal de 35 W i una tensió de sortida de 24 V de corrent continua amb el qual és adequat per alimentar el solenoide tal com justifica l'Annex C.

Aquest model disposa d'un rang per la tensió d'entrada de 90 a 264 V de corrent alterna amb el qual també és adequat per funcionar amb l'energia de la xarxa.

Es tracta d'una font d'alimentació molt compacta amb unes mides de 102x64x33 mm. És fàcil d'instal·lar gràcies als orificis disposats a la carcassa d'aquesta i les connexions es realitzen de forma senzilla mitjançant uns terminals de bloc roscats.

- **Circuit de control**

Pel que fa al circuit de control pel solenoide, cal considerar que aquest no es podrà controlar directament des de l'Arduino ja que al ser una càrrega inductiva produeix voltatges transitoris quan s'interromp la seva alimentació que podrien causar danys.

Per evitar malmetre la placa Arduino amb corrents i voltatges excessius s'aïlla la part de control de la part de potència. El dispositiu encarregat de realitzar aquesta funció és l'optoacoblador. Pel present disseny s'ha escollit el model TLP250 de Toshiba. Els optoacobladors utilitzen un feix de llum emès per un díode LED per transmetre senyals d'un circuit a un altre sense que aquests estiguin connectats físicament.

Segons la documentació tècnica de l'Annex E, la tensió màxima d'alimentació del model escollit és de 35 V si la temperatura és inferior a 70ºC. Es té doncs que es podrà alimentar l'optoacoblador amb la mateixa font que s'alimenta el solenoide.

Per no malmetre el LED de l'optoacoblador és necessari no excedir el corrent que consta a la documentació tècnica. Aquest serà de màxim 20 mA amb el qual cal limitar el corrent disposant una resistència entre el pin de la placa Arduino que emet la senyal de control i l'ànode del LED. La resistència haurà de ser de 330 ohms segons els càlculs adjuntats a l'Annex C.

Segons les recomanacions del fabricant, entre el pin 5 (GND) i el pin 8 (VCC) cal connectar un condensador ceràmic de 0.1 µF. Aquest condensador estabilitza l'operació de l'amplificador lineal d'alt guany.

L'optoacoblador actua sobre el MOSFET. El model escollit és el IRF540. El funcionament d'aquest component consisteix en que quan se li envia una senyal alta al pin de control (pin *gate*) s'activa i permet circular el corrent entre la font (pin *source*) i el drenador (pin *drain*).

Es connecta el solenoide a la sortida V+ de la font d'alimentació però no a la terra (V-). La terra anirà connectada al drenador del MOSFET. Es té doncs que quan la placa Arduino enviï una senyal alta i arribi a la porta del MOSFET, aquest s'activarà i completarà el circuit de potència pel solenoide.

Finalment es té el diode connectat en paral·lel al solenoide. Com que el solenoide és una càrrega inductiva cal incloure aquest diode entre els seus contactes amb la finalitat d'eliminar els voltatges transitoris causats quan s'interromp l'alimentació d'una bobina magnètica. Sense aquest component els pics dels voltatges transitoris podrien malmetre els altres elements del circuit.

2.5.4 Connexió a la xarxa i elements de seguretat

La tensió d'entrada per les dues fonts d'alimentació serà subministrada per la xarxa. S'utilitzarà un cable d'alimentació degudament connectat als terminals de les fonts i es respectarà el codi de colors establert a la Norma UNE 21089 destinant el marró per la fase, el blau pel neutre i el verd i groc per la terra.

Com a mesura de seguretat s'interposa en el cable de la fase entre la xarxa i les fonts d'alimentació un fusible per protegir el circuit contra sobrecàrregues i curtcircuits. S'escull un fusible amb un valor de corrent nominal d'un amper tal com justifiquen els càlculs de l'Annex C. Aquest es col·locarà a l'interior d'un portafusibles de cos roscat que es muntarà a la caixa de l'electrònica.

El cable corresponent a la fase també es tallarà amb un interruptor de tipus ON/OFF. Aquest es disposarà entre el fusible i les fonts i permetrà encendre i apagar la màquina. Es selecciona un interruptor il·luminat amb un LED vermell per tal que indiqui quan la màquina està correctament alimentada. L'interruptor escollit disposa d'un cos rodó de manera que la seva instal·lació només requereix de la mecanització d'un forat.

2.5.5 Tancament de l'electrònica

L'electrònica quedarà protegida per una caixa que es fixarà a la bancada mitjançant tres suports. A la *Figura 2.30* es veu una vista general de la caixa de l'electrònica unida a l'estructura.

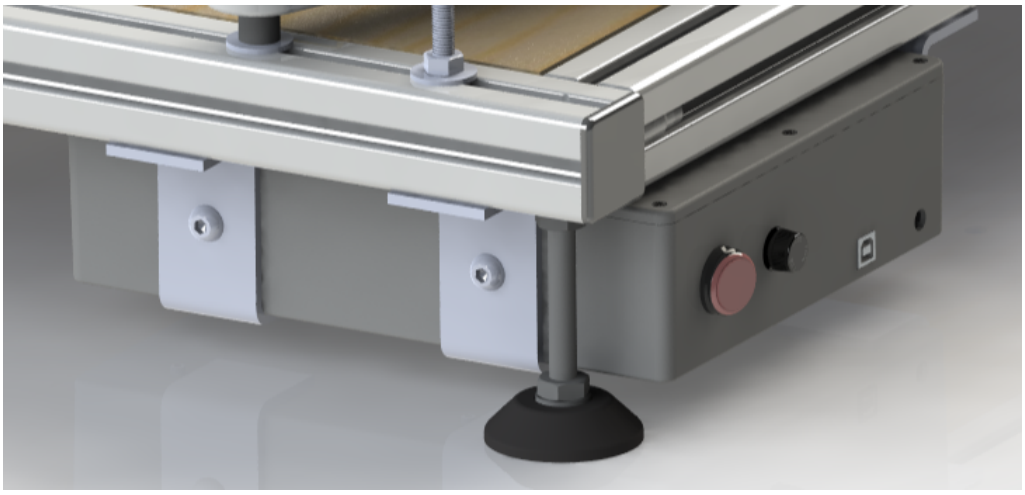


Figura 2.30. Tancament a l'electrònica i fixació a la bancada

Al costat posterior de la caixa s'hi mecanitza un orifici que permet extreure els cables que connectaran l'electrònica amb els servomotors i el solenoide. Aquests cables aniran conduits per l'interior de la ranura dels perfils de la bancada.

- **Caixa de l'electrònica**

S'utilitzarà una caixa de plàstic ABS com a suport pel circuit electrònic i les fonts d'alimentació i alhora els protegirà dels possibles impactes i de la pols. Aquesta amb unes dimensions de 250x200x64 mm permet allotjar els diferents elements. Disposa també d'una tapa que tanca la caixa mitjançant sis cargols M3.

A la *Figura 2.31* es mostra la disposició a l'interior de la caixa de les diferents parts de l'electrònica sense el cablejat. Tots els elements s'uneixen a la base de la caixa mitjançant cargols Allen M3. Els cargols que fixen les fonts d'alimentació queden collats als orificis roscats disposats a la carcassa d'aquestes i els cargols per les plaques queden collats amb femelles hexagonals estàndards.

Figura 2.31. Disposició de l'electrònica a la caixa (Sense cablejat)

Cal doncs la mecanització de diversos forats de diàmetre de 3.5 mm a la base de la caixa per poder fixar els elements.

- **Panell**

El costat frontal de la caixa servirà com a panell. En aquest costat s'hi practicaran dos orificis per tal de muntar l'interruptor que permet encendre i apagar la màquina i el portafusibles. Un tercer orifici disposat a la cantonada inferior dreta servirà per extreure el cable d'alimentació que anirà connectat a la xarxa.

En aquest costat frontal de la caixa també s'hi mecanitzarà un forat rectangular que allotjarà el connector per cable USB de la placa controladora.

A la *Figura 2.32* es mostra en detall el panell de l'electrònica.

Figura 2.32. Panell de l'electrònica

- **Suport de l'electrònica**

Per fixar la caixa de l'electrònica a la bancada s'utilitzaran tres suports que seran de fabricació pròpia. Els suports s'uneixen a l'estructura mitjançant un cargol Allen de M8 que passa a través d'un orifici practicat a la part superior d'aquests i queda roscat a una femella ITEM disposada a la ranura inferior dels perfils de la bancada.

La caixa reposarà sobre la superfície horitzontal inferior dels suports. Per evitar que es desplaci s'utilitzen tres cargols Allen de M8 i tres femelles hexagonals que uneixen la part central dels suports amb les parets de la caixa.

- **Refrigeració de l'electrònica**

L'electrònica requerirà de refrigeració. A l'interior de la caixa es disposarà un ventilador que refrigerarà principalment la placa microcontroladora i la placa amb els elements de control soldats. El ventilador es fixa a la caixa mitjançant quatre orificis practicats a una de les parets a través dels quals hi passaran quatre cargols Allen M4 que quedaran collats a quatre femelles hexagonals.

El ventilador seleccionat fabricat per Sunon té unes dimensions de 40x40x10 mm, una tensió d'alimentació de 12 V de corrent continua i consumeix una potència de 1.6 W. Aquestes característiques el fan adequat per alimentar-se directament amb la mateixa font que els servomotors. Atès que la font d'alimentació dels actuadors està lleugerament sobredimensionada, el consum de potència del ventilador no afectarà al funcionament dels servomotors.

3 Programació de la màquina

En aquest capítol es presenta la plataforma utilitzada per la programació de la màquina de tall i s'explica el funcionament en línies generals del codi principal.

També s'exposa la fase d'inicialització i calibratge de la màquina que s'haurà de realitzar abans d'executar el codi per primera vegada.

3.1 Plataforma de programació

La plataforma de programació serà el software de codi obert Arduino. Es tracta d'un programa de descàrrega senzilla i gratuïta i que no cal cap llicència per la seva utilització. Es troba disponible per Windows, Mac i Linux.

Aquest programa permet escriure el codi, compilar-lo i carregar-lo fàcilment a la placa. El llenguatge d'Arduino és una variant del llenguatge de programació C++, però utilitza llibreries incorporades per simplificar tasques de programació complicades (Warren et al., 2011).

Aquest programa consta de molta informació per escriure el codi i de l'existència d'una gran quantitat de llibreries. Pel present projecte s'utilitza la llibreria Dynamixel Serial que permet comunicar-se correctament amb els servomotors d'aquesta sèrie i ofereix un seguit de comandes per controlar-los.

3.2 Codi

En aquest apartat s'exposa de forma general el codi generat per tal de controlar la màquina de tall. A l'Annex D es troba el codi complet i amb comentaris de les diferents línies.

Primerament cal destacar que la planificació de trajectòries queda exclosa de l'abast del present projecte. S'entén per planificació de trajectòries la fase d'obtenir una expressió a partir del conjunt de punts d'un contorn i la velocitat en les direccions x i y que ha de tenir l'element terminal.

El punt de partida del codi serà una taula que contindrà els punts de les trajectòries i una altra amb les velocitats de l'element terminal. A la primera taula per cada trajectòria hi haurà dos files on la primera contindrà les coordenades x dels punts de la trajectòria i la segona contindrà les coordenades y. Per tant, aquesta taula tindrà tantes columnes com punts tinguin les trajectòries i el número de files serà el doble del número de trajectòries.

La taula de velocitats es construeix de manera anàloga a l'anterior però en canvi de coordenades x i y es tenen velocitats en x i y de l'element terminal.

Així doncs, de la fase de planificació s'obtindran aquestes dues taules. En el present projecte, per fer una simplificació i a mode d'exemple, es planifiquen 6 trajectòries circulars de 50 mm de radi repartides en l'espai del DIN A3 tal com es veu al fragment de codi presentat a la *Figura 3.1*.

```
 /*_____________________PLANIFICACIÓ TRAJECTÒRIES_____________________
 (6 trajectòries circulars de radi 50 mm repartides en l'espai DIN A3)*/

for (n=0; n < 3; n++)
{
  for (m=0; m < 2; m++)
  {
      for (i=0; i<360; i=i+24)
      {
        float ox = 0.355 + 0.150*m;
        float oy = 0.370 - 0.125*n;
        float r = 50/1000;

        PuntsTrajectories[j][k] = ox + r*cos(i*71/4068);
        PuntsTrajectories[j+1][k] = oy + r*sin(i*71/4068);

        VelocitatsTrajectories[j][k] = -0.4*sin(i*71/4068);
        VelocitatsTrajectories[j+1][k] = 0.4*cos(i*71/4068);

        k=k+1;
      }
      j = j+2;
  }
}
```

Figura 3.1. Fragment de codi corresponent a la fase de planificació de trajectòries i obtenció de les taules de punts i velocitats

A continuació, el codi recorrerà les taules i resoldrà la cinemàtica per tal d'obtenir la posició i velocitats angulars de les juntes actives. Llavors per cada punt s'enviarà la posició de destí i la velocitat angular als servomotors. No obstant, un cop resolta la cinemàtica cal fer un seguit de passos previs abans d'enviar la instrucció a l'actuador.

En primer lloc, el programa resol la cinemàtica i obté les posicions i velocitats en rad i rad/s respectivament. Els resultats obtinguts cal adaptar-los al rang de valors del servomotor. Així doncs, es crea una funció que, donat el valor en rad o rad/s segons el cas, retorna el valor corresponent en l'escala del motor. Aquesta escala és de 0 a 4095 per la posició i de 0 a 1023 per la velocitat. A la funció per la velocitat caldrà enviar-li la velocitat obtinguda de la cinemàtica en valor absolut ja que l'actuador no accepta velocitats negatives sinó que es dóna el mòdul i el sentit queda definit per la posició de destí.

Un cop es té el valor per la posició i la velocitat adequat al rang del servomotor s'arrodoneix per tal d'obtenir un enter ja que l'escala va d'unitat en unitat. Pel cas de la posició una unitat en l'escala del servomotor equival a 0.088 graus i per la velocitat equival a 0.114 rpm.

L'últim pas abans d'enviar la comanda al servomotor és convertir els valors anteriors al sistema hexadecimal ja que els motors així ho requereixen. Es crea una altra funció que permet obtenir una cadena de caràcters amb el valor en el sistema hexadecimal i ja es pot enviar la instrucció a l'actuador convertint el valor de la cadena a enter amb la comanda toInt().

A la *Figura 3.2* es mostra el fragment de codi que permet obtenir els resultats de la cinemàtica i fer el posterior tractament dels valors per enviar la instrucció correctament als acutadors.

```
//Executa la cinemàtica inversa per obtenir l'angle theta en radiants
float theta1rad=cinematicaInversa1(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i]);
float theta2rad=cinematicaInversa2(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i]);
float theta3rad=cinematicaInversa3(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i]);

//Executa la cinemàtica per obtenir les velocitats angulars vtheta en
radiants/segon i en valor absolut
float vtheta1rads = abs(cinematicaVelocitat1(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i],VelocitatsTrajectories[j][i],
VelocitatsTrajectories[j+1][i]));
float vtheta2rads = abs(cinematicaVelocitat2(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i],VelocitatsTrajectories[j][i],
VelocitatsTrajectories[j+1][i]));
float vtheta3rads = abs(cinematicaVelocitat3(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i],VelocitatsTrajectories[j][i],
VelocitatsTrajectories[j+1][i]));

//Adequem l'angle theta (1,2 i 3) al rang de valors del servomotor (0 a
4095) i arrodonim el valor obtingut
int theta1dec=round(mapPosition(theta1rad));
int theta2dec=round(mapPosition(theta2rad));
int theta3dec=round(mapPosition(theta3rad));

//Adequem la velocitat angular vtheta (1,2 i 3) al rang de valors del
servomotor (0 a 1023) i arrodonim el valor obtingut
int vtheta1dec=round(mapVelocity(vtheta1rads));
int vtheta2dec=round(mapVelocity(vtheta2rads));
int vtheta3dec=round(mapVelocity(vtheta3rads));

//Passem el valor decimal a hexadecimal per escriure'l al servomotor
String theta1hex=decToHex(theta1dec);
String theta2hex=decToHex(theta2dec);
String theta3hex=decToHex(theta3dec);
String vtheta1hex=decToHex(vtheta1dec);
String vtheta2hex=decToHex(vtheta2dec);
String vtheta3hex=decToHex(vtheta3dec);
```

Figura 3.2. Fragment de codi corresponent a l'obtenció dels resultats de la cinemàtica i tractament d'aquests per poder escriure'ls al motor

A continuació només cal enviar la instrucció al servomotor. La llibreria utilitzada ofereix una comanda on s'indica la posició de destí i la velocitat de moviment. Un cop executada la instrucció cal però assegurar que els actuadors arriben a la posició de destí abans no s'enviï la següent instrucció. Per això s'utilitza el bucle presentat a la *Figura 3.3*. El funcionament d'aquest consisteix en llegir la posició actual del servomotor i comparar-la contínuament amb la posició de destí de manera que no s'executi una nova instrucció si l'actuador no ha arribat a lloc.

```
while((posicio1!=theta1hex.toInt())&&(posicio2!=theta2hex.toInt())&&
(posicio3!=theta3hex.toInt()))
      {
      Dynamixel.servo(0x01,theta1hex.toInt(),vtheta1hex.toInt());
      Dynamixel.servo(0x02,theta1hex.toInt(),vtheta1hex.toInt());
      Dynamixel.servo(0x03,theta1hex.toInt(),vtheta1hex.toInt());

      int posicio1 = Dynamixel.readPosition(1);
      int posicio2 = Dynamixel.readPosition(2);
      int posicio3 = Dynamixel.readPosition(3);
      }
```

Figura 3.3. Fragment de codi corresponent a l'execució de la comanda i bucle per esperar fins que es completa el moviment

Finalment cal controlar el solenoide. Per això, quan s'ha acabat una trajectòria s'envia una senyal alta al pin on es té connectat el solenoide de manera que puja l'eina. Llavors comença de nou el bucle que resol la cinemàtica i envia la instrucció als actuadors però un condicional fa que si el punt que s'està recorrent és el primer d'una trajectòria (i=0), s'enviï una senyal baixa al solenoide de manera que l'eina es col·loca en posició de tall de nou.

3.3 Inicialització i calibratge

Abans d'utilitzar la màquina per primer cop cal una fase prèvia de configuració i calibratge. Pel que fa a la inicialització consisteix principalment en assignar als servomotors els identificadors que permetran diferenciar-los per tal de poder enviar instruccions diferents a cada un d'ells.

La llibreria utilitzada (Dynamixel Serial) inclou un petit programa per realitzar aquesta operació. Aquest programa permet canviar els diversos paràmetres de configuració dels actuadors. Així doncs, per realitzar la configuració de la màquina, es connectaran un a un els tres actuadors i s'executarà el codi en qüestió. Per cada un es modificarà l'ID atribuint un 1, un 2 o un 3 segons escaigui i també s'escollirà el mode d'operació, que es correspon al mode de servomotor, i la velocitat de comunicació o *Baud Rate* que es fixarà en 1000000 bps.

Un cop estigui la màquina correctament inicialitzada es procedeix a fer el calibratge. Pel calibratge primer s'enviaran ordres senzilles de posició als motors un a un. Tal com estan disposats els motors, enviant la comanda per anar a la posició 2048 (180º) les primeres baules haurien de quedar perfectament alineades amb els perfils de l'estructura. Així doncs, s'anirà executant l'ordre variant la posició d'unitat en unitat fins que les primeres baules quedin perfectament alineades amb els perfils de l'estructura. Un cop es té la posició exacta per la qual els perfils queden alineats, aquesta s'escriu a la funció que transforma l'angle obtingut a la cinemàtica en el rang de valors del servomotor.

El darrer procediment permetrà corregir problemes en el muntatge dels servomotors. No obstant, també cal considerar problemes en el muntatge dels altres components de les cadenes. Per això, en el programa de la màquina es resol la cinemàtica en funció de cada una de les dimensions de manera que si hi ha una dimensió lleugerament inferior o superior es pot indicar i el programa compensarà el desajustament. Caldrà doncs un cop muntada la màquina mesurar les diferents dimensions amb un aparell de precisió i corregir-les si és necessari en el codi.

4 Resum del pressupost

El preu total amb IVA inclòs de la màquina de tall per arrossegament mitjançant el mecanisme paral·lel planar 3RRR dissenyada en el present projecte a dia 5 de setembre de 2016 és de:

Dos mil setanta-cinc euros amb setanta-cinc cèntims..... **2075,75 €**

5 Conclusions

En aquest apartat es presenten les conclusions assolides en el present projecte així com línies futures per la millora de la màquina dissenyada.

Primer cal destacar que en aquest projecte s'ha dissenyat un prototip. Alguna de les solucions optades pels diferents elements caldria adaptar-la o modificar-la si s'hagués de fer una producció de moltes unitats.

Per altra banda, s'ha complert l'objectiu principal del projecte ja que s'ha fet el disseny mecànic de la màquina utilitzant el mecanisme 3RRR i a més s'ha dissenyat la part electrònica i s'ha escrit el programa que permeten fer-la funcionar. Així doncs, amb la solució desenvolupada i recollida en els diferents documents es pot fer funcionar la màquina per tallar contorns senzills i fins i tot es podria comercialitzar.

En relació amb les especificacions, aquestes s'han complert totes en línies generals. S'ha assolit un disseny capaç de competir amb les màquines de tall de gamma mitja presents al mercat tant pel que fa a dimensions del material a tallar com a la velocitat i pressió de tall.

S'ha aconseguit un disseny compacte i funcional que ofereix un muntatge senzill i net gràcies als diferents perfils amb ranures. Gràcies a aquests es pot variar el disseny sense haver de fer nous mecanitzats oferint la possibilitat de modificar les dimensions o muntar nous elements.

S'han utilitzat el màxims elements de compra possibles per tal d'evitar la fabricació de peces. No obstant, per les peces a mecanitzar s'ha aconseguit un disseny molt simple i eficient per tal que la fabricació no comporti masses despeses.

Respecte a l'electrònica i control, s'ha utilitzat una plataforma que no requereix llicències i que permet a l'usuari establir la connexió mitjançant USB. Això fa que la màquina es pugui utilitzar amb qualsevol ordinador.

Pel que fa a la seguretat, els diferents elements electrònics queden totalment protegits amb la solució descrita. L'electrònica queda físicament tancada i aïllada gràcies a la caixa d'ABS. Caldria però millorar la seguretat de les persones en vers les parts mòbils de la màquina. Tot i que el propi interruptor d'encès i apagat serveix com a polsador de seguretat, es proposa un tancament de l'àrea de treball com a línia futura per la millora de la màquina.

Una altra línia futura d'actuació seria la millora de la interfície d'usuari mitjançant una petita pantalla LCD que informés de l'estat de la màquina, del progrés del tall de les trajectòries o alguna altra informació d'interès.

També caldria completar el codi de la màquina en respecte amb la planificació de trajectòries de manera que l'usuari pogués entrar els punts del contorn i el programa gràcies a un sistema d'interpolació tornès la trajectòria a seguir.

Tal com s'observa, s'han complert la majoria d'especificacions establertes i s'ha assolit l'objectiu principal. Es té doncs que s'ha finalitzat el projecte de forma satisfactòria.

Girona, 5 de setembre de 2016

Maximilià Castro Molina

6 Relació de documents

El present projecte es composa dels següents documents:

- Document 1. Memòria i annexos
- Document 2. Plànols
- Document 3. Plec de condicions
- Document 4. Estat d'amidaments
- Document 5. Pressupost

7 Bibliografia

Aracil, R., Saltarén, R., Sabater, J. M., i Reinoso, O. (2006). Robots paralelos: Máquinas con un pasado para una robótica del futuro. *Revista iberoamericana de automática e informática industrial*, *3*(1), 16-28.

Kotlarski, J., Abdellatif, H., i Heimann, B. (2008). Improving the pose accuracy of a planar 3RRR parallel manipulator using kinematic redundancy and optimized switching patterns. *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference* (pp. 3863-3868). IEEE.

Cardona, M. N. (2014). Similarity law for the design and workspace optimization of 3RRR planar parallel robots. *Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIV), 2014 IEEE* (pp. 1-6). IEEE.

Tsai, L. W. (1999). *Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators*. John Wiley & Sons.

Yañez Valdez, R. (2007). *Resolución de Mecanismo Paralelo Planar 3RRR Impulsado por Actuadores Eléctricos*. Tesi Doctoral, CICATA-QRO, IPN.

Warren, J. D., Adams, J., & Molle, H. (2011). Arduino for robotics. *Arduino Robotics* (pp. 51-82). Apress.

Annex A Càlculs justificatius del conjunt per al moviment en z

En aquest annex es detallen els càlculs pel disseny i per la selecció d'elements del conjunt per al moviment en z.

A.1 Selecció de la molla

La molla ha de ser tal que el diàmetre interior sigui suficient a fi que la part superior de la peça d'unió èmbol-portaeines pugui quedar disposada a l'interior de la molla. El diàmetre de la part superior de la peça d'unió és de 16.70 mm.

En relació a les altres dimensions de la molla, també ha de tenir una longitud natural que no sigui excessivament llarga per evitar una alçada exagerada del conjunt per al moviment en z.

Finalment, la molla també ha de complir que la constant elàstica sigui suficient per donar una pressió de tall acceptable (de 0 a 500 grams aproximadament) sense haver de recórrer un percentatge massa gran de la carrera del solenoide. Aquesta condició és important ja que la força del solenoide disminueix a mesura que l'èmbol avança cap a l'interior. Si es consumeix gran part de la carrera del solenoide únicament per comprimir la molla a fi que doni la pressió de tall necessària, llavors la força magnetomotriu no serà suficient per aixecar el portaeines i vèncer la força de la molla en un canvi de trajectòria.

La molla seleccionada està elaborada en filferro d'acer, té un diàmetre interior de 19.20 mm, una longitud natural de 38 mm i una constant elàstica de 1.038 N/mm.

Si la pressió de tall màxima a aplicar és aproximadament 500 grams i sabem que aquesta pressió serà exercida pràcticament en la seva totalitat per la molla, podem aplicar la Llei de Hooke (Eq. A.1) per trobar la distància de compressió màxima en la posició de tall.

$$k \cdot x = \textit{pressió màxima de tall} \qquad \text{(Eq. A.1)}$$

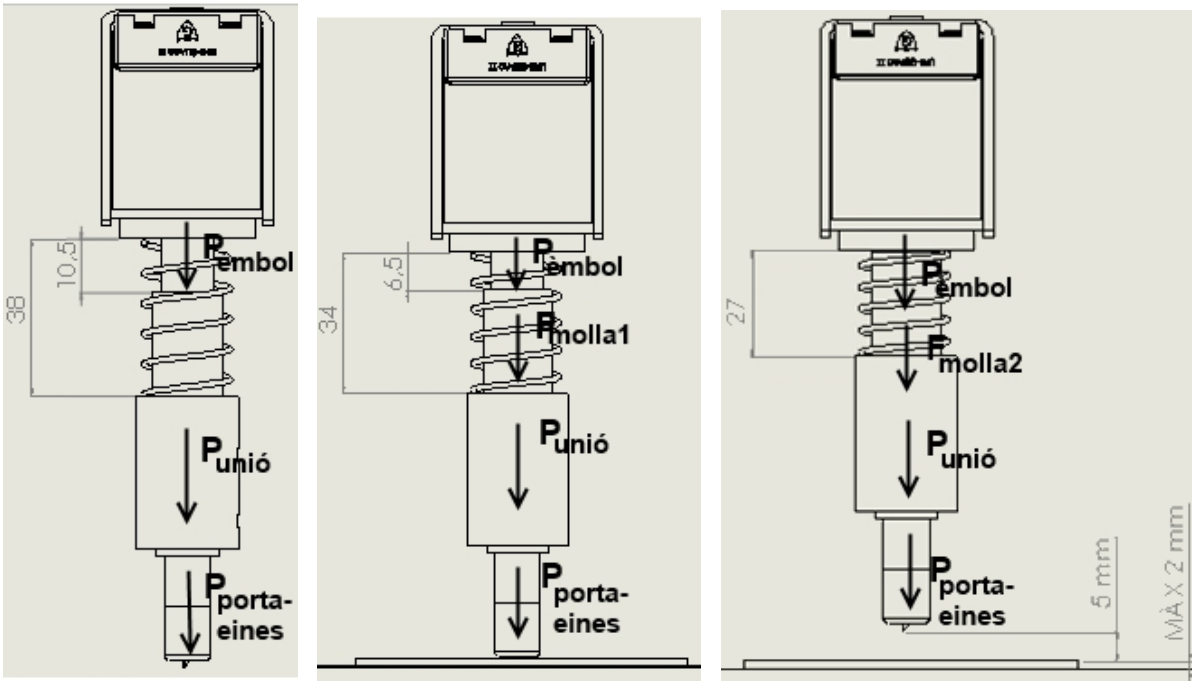
Sabent que la pressió màxima en termes de força és aproximadament 5 newtons i substituint per la constant elàstica de la molla en l'equació anterior, trobem que la compressió màxima de la molla en la posició de tall serà inferior als 5 mm i que, per tant, consumirem una petita part de la carrera del solenoide per fer aquesta compressió.

A.2 Posicions del conjunt

En aquest apartat s'exposa de forma detallada i per la molla escollida les diferents posicions que pot prendre el conjunt per al moviment z.

S'analitza el cas més desfavorable que es dóna quan el material té el gruix màxim que pot tallar la màquina i la pressió de tall a aplicar és la màxima també.

A la *Figura A.1* es mostren de forma esquemàtica aquestes posicions i les forces que hi intervenen.



a) b) c)

Figura A.1. a) Conjunt en posició de descans. b) Conjunt en posició de tall. c) Conjunt en posició de canvi de trajectòria

- **Posició de descans**

És la situació que es presenta quan el conjunt per al moviment en z no està muntat a la màquina. En aquest cas el solenoide no està excitat, la carrera recorreguda per l'èmbol del solenoide és de 0 mm, és a dir, està al seu punt inicial, i la distància entre el canvi de diàmetre de la peça d'unió i el cos del solenoide és de 38 mm que es correspon a la longitud natural de la molla. Així doncs, la molla es troba sense comprimir.

- **Posició de tall**

En aquesta posició es col·loca el solenoide de manera que la molla queda lleugerament comprimida. Aquesta distància de compressió serà entre 0 i 4 mm per tal de donar respectivament la mínima i la màxima força de tall (0 i 500 grams aproximadament).

Per aquesta situació el solenoide no estarà excitat però s'haurà recorregut de forma mecànica entre 0 i 4 mm de la seva carrera per fer la compressió que dóna la pressió de tall.

La distància de compressió en la posició de tall es pot trobar fàcilment aplicant l'equilibri de forces. Per la pressió de tall màxima (500 grams) veiem a continuació que aquesta compressió és de 4 mm tal com es mostra a la *Figura A.1.b)*.

$$P_{èmbol} + F_{molla1} + P_{unió} + P_{porta-eines} = pressió\ màxima\ de\ tall \qquad \text{(Eq. A.2)}$$

$$m_{èmbol} \cdot g + k \cdot x_1 + m_{unió} \cdot g + m_{porta-eines} \cdot g = pressió\ màxima\ de\ tall \qquad \text{(Eq. A.3)}$$

On les diferents masses són:

- Massa èmbol: 68 grams (veure la documentació tècnica Annex E)
- Massa elements de la unió èmbol-portaeines: 30 grams
- Massa portaeines: 50 grams

De l'equació A.3 obtenim que la compressió de la molla x_1 per donar la màxima pressió de tall serà gairebé de 4 mm.

- **Posició de canvi de trajectòria**

En aquesta tercera situació el solenoide es troba excitat de manera que exerceix una força magnetomotriu que permet separar la ganiveta del material a tallar durant el canvi de trajectòria.

La distància de separació s'ha fixat en 5 mm pel qual si la màquina està tallant un material de gruix de 2 mm, corresponent al gruix màxim, la ganiveta haurà de quedar 7 mm per sobre del taulell. Per tant, pel cas més desfavorable (màxim gruix i màxima pressió), la molla es trobarà comprimida 11 mm en aquesta posició, 4 mm dels quals són per la compressió per exercir la força de tall i 7 mm per la separació.

En aquesta posició el recorregut de l'èmbol del solenoide s'atura a 11 mm mitjançant un topall mecànic realitzat per la pròpia peça d'unió. Aquesta acció és necessària per tenir un nombre adequat d'espires útils i conseqüentment que la força exercida pel solenoide sigui suficient.

A.3 Selecció del solenoide

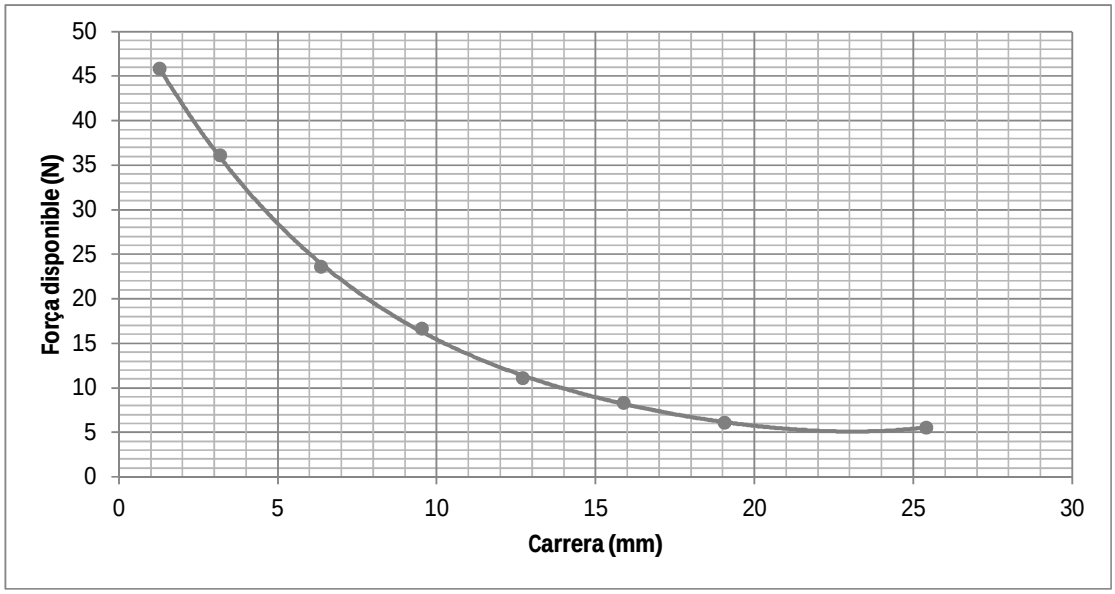
Per l'elecció del solenoide cal considerar principalment dos paràmetres: la carrera i la força que és capaç d'exercir.

En el darrer apartat s'ha vist que en la posició de canvi de trajectòria la distància recorreguda per l'èmbol és de 11 mm. Així doncs, caldrà un solenoide que tingui una carrera major.

El solenoide escollit és el model 4HD-I-24D de Guardian Electric i té una carrera de 25.4 mm amb el que compleix aquesta condició.

Cal comprovar que pel recorregut màxim que farà l'èmbol (11 mm en la situació de canvi de trajectòria) la força que exerceix el solenoide és suficient per sostenir el pes de l'èmbol i els elements acoblats a aquest i oposar-se a la força de la molla.

El fabricant proporciona els valors de la força amb la que pot estirar el solenoide (*pull force*) per diferents posicions de l'èmbol (veure la documentació tècnica Annex E). S'utilitza aquesta informació per obtenir la corba de la força disponible en front de la carrera i determinar el valor per un recorregut de l'èmbol de 11 mm. La corba es mostra al *Gràfic A.1*.



Gràfic A.1. Corba de la força disponible en funció de la carrera del solenoide 4HD-I-24D de Guardian Electric

S'obté que per un recorregut de 11 mm la força disponible és de 13.75 newtons. Es comprova que aquesta força és suficient per vèncer les forces presentades en el diagrama de cos lliure de la *Figura A.1.c)* a partir del planteig de l'equilibri de forces.

$$13.75 > P_{èmbol} + F_{molla2} + P_{unió} + P_{porta-eines} \qquad \text{(Eq. A.4)}$$

$$13.75 > m_{èmbol} \cdot g + k \cdot x_2 + m_{unió} \cdot g + m_{porta-eines} \cdot g \qquad \text{(Eq. A.5)}$$

Considerant que la compressió de la molla x_2 és 11 mm es comprova que la darrera expressió es verifica i queda justificada l'elecció del solenoide.

Annex B Càlculs justificatius del conjunt per al moviment en x i y

En aquest annex es detallen els càlculs pel disseny i selecció d'elements del conjunt per al moviment en x i y.

B.1 Dimensions generals

Per l'obtenció de les dimensions generals cal considerar que la mida màxima del material a tallar és de 420x297 mm equivalent a la mida estandarditzada DIN A3.

Es genera un codi amb Matlab que permet obtenir per prova i error, únicament modificant la distància H, unes dimensions que donen lloc a un espai de treball que s'adapta a les mides màximes del material a tallar i compleixen la llei de semblança darrerament anomenada de manera que s'evitaran les singularitats. S'entén per espai de treball el conjunt de posicions x i y que pot prendre l'eina de tall. El codi es mostra a la *Figura B.1*.

```
%%%%%%%%%%%%%%%% ESPAI DE TREBALL DEL MECANISME 3RRR %%%%%%%%%%%%%%%%

clear; clc; clf; hold on;

%DIMENSIONS A PROVAR EN CM'S
    %Distància entre actuadors
    H = 85;
    %Posició primera junta activa
    A1x=0; A1y=0;
    %Posició segona junta activa
    A2x=H; A2y=0;
    %Posició tercera junta activa
    A3x=H/2; A3y=sqrt(H^2-(H/2)^2);
    %Longitud cadena estirada (Long baula=40% de H per Llei de semblança)
    l=(0.4*H)*2;
    %Dimensió costat plataforma mòbil (10% de H per Llei de semblança)
    h=(0.1*H);

%CADENA CINEMÀTICA 1
    c=0;
    for theta1=4:1:56;
        xa=l*cosd(theta1)+(4.25);
        ya=l*sind(theta1)+3;
        c=c+1;
        x1(c)=xa; y1(c)=ya;
    end

%CADENA CINEMÀTICA 2
    c=0;
    for theta2=125:1:175;
        xb=A2x+(l*cosd(theta2))-(4.25);
        yb=(l*sind(theta2))+3;
        c=c+1;
        x2(c)=xb; y2(c)=yb;
    end
```

```
%CADENA CINEMÀTICA 3
    c=0;
    for theta3=244:1:295;
        xc=A3x+(l*cosd(theta3));
        yc=A3y+(l*sind(theta3))-(sqrt(8.5^2 - (8.5/2)^2)-3);
        c=c+1;
        x3(c)=xc; y3(c)=yc;
    end

%REPRESENTACIÓ JUNTES ACTIVES I ESPAI DE TREBALL
    plot(A1x,A1y,'r*',x1,y1,'b.')
    plot(A2x,A2y,'r*',x2,y2,'b.')
    plot(A3x,A3y,'r*',x3,y3,'b.')
    legend('Posició Juntes Actives','Límit Espai de Treball')

%REPRESENTACIÓ DEL MATERIAL MIDA DIN A3
    rectangle('Position',[((H/2)-(29.7/2)) 3.1 29.7 42]) %Vertical
    rectangle('Position',[((H/2)-(42/2)) 5.4 42 29.7]) %Horitzontal
    txt1 = 'DIN A3';
    text((85/2)-3.5,(sqrt(H^2-(H/2)))/4,txt1)

%CARACTERÍSTIQUES ÀREA DEL GRÀFIC
    axis equal
    axis([0 90 -10 80]);
    xlabel('x [cm]')
    ylabel('y [cm]')
```

Figura B.1. Codi Matlab per l'obtenció de l'espai de treball i les dimensions generals

El codi dóna la representació dels punts que determinen el límit de l'espai de treball. Aquests punts límit es donaran quan una de les cadenes estigui totalment estesa i es pot obtenir de forma immediata aplicant relacions trigonomètriques bàsiques i considerant la posició de l'eina en la plataforma.

B.2 Fletxa de les baules

S'analitza el cas més desfavorable que es dóna quan una de les cadenes està totalment estirada obtenint així la llum màxima. Únicament es calcularà la fletxa d'una cadena ja que les altres dues es comportaran de la mateixa manera.

S'assimilarà la cadena totalment estirada a un biga en voladís on l'encastament representarà la unió de la junta activa. Així es veu a la *Figura B.2*.

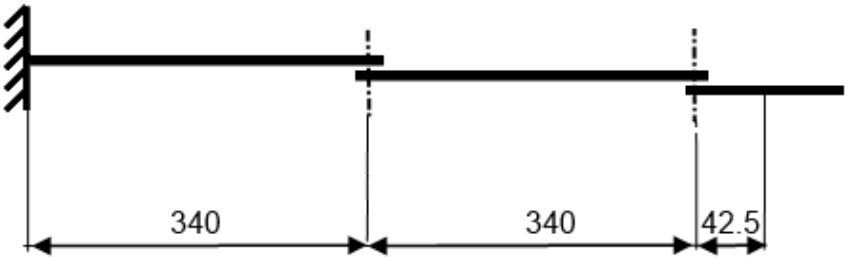


Figura B.2. Cadena totalment estirada assimilada a una biga en voladís encastada

Les forces que actuaran sobre cada cadena es llisten a continuació.

- Pes de les baules: W = 17.0964 N/m (veure documentació tècnica Annex E)
- Pes de la junta passiva: P_{junta} = 3.43 N
- Pes del conjunt de la plataforma mòbil: $P_{conjunt\ plataforma}$ = 7.1 N (inclou el pes de la plataforma amb una massa de 240 g, el pes del solenoide amb una massa de 400 g, el pes del suport d'aquest amb una massa de 35 g aproximadament i el pes del portaeines amb una massa de 50 g)
- Força de tall: F_{tall} = 5 N (es considera que s'aplica la pressió màxima de tall i un coeficient de fregament de 1)
- Força normal: N = 5 N (es correspon a la força que la superfície exerceix contra la ganiveta pel principi d'acció i reacció considerant una pressió de tall màxima)

Aquestes forces quedaran disposades en la cadena tal com es mostra a la *Figura B.3*. Els pesos de les juntes i del conjunt de la plataforma s'han considerat com a forces puntuals mentre que el pes dels perfils es prenen com una força uniformement distribuïda.

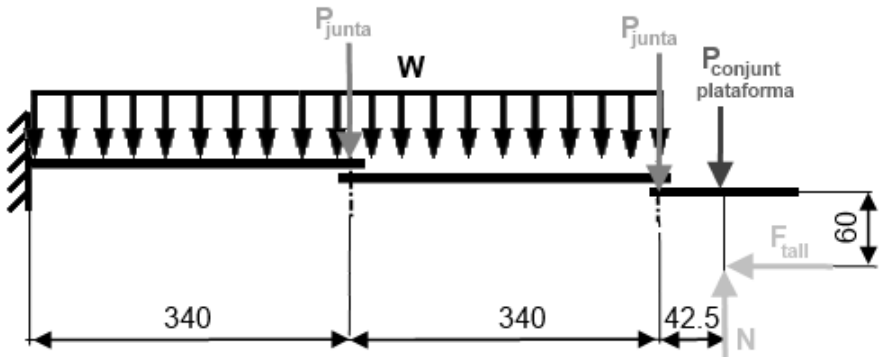


Figura B.3. Disposició de les forces a la cadena totalment estirada.

Si es traslladen les forces que actuen a la plataforma a l'extrem de la biga que representa la cadena totalment estirada, s'obté el diagrama de cos lliure mostrat a la *Figura B.4*.

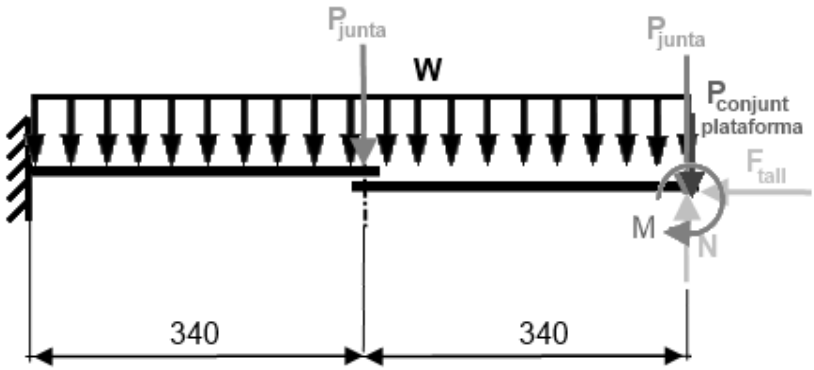


Figura B.4. Diagrama de cos lliure de la biga que representa les baules totalment estirades

Com a resultat de traslladar les forces s'obté un moment M determinat per l'equació B.1.

$$M = P_{\substack{conjunt \\ plataforma}} \cdot 42.5 + F_{tall} \cdot 60 - N \cdot 42.5 \qquad \text{(Eq. B.1)}$$

De l'equació anterior es dedueix que el moment resultant del trasllat de les forces aplicades a la plataforma és de 389.25 N·mm.

Pel càlcul de la fletxa es descompon el problema en quatre subproblemes per poder utilitzar les expressions disponibles en la literatura i s'analitza l'extrem lliure de la biga on es donarà la fletxa màxima.

Es té pel perfil escollit un mòdul d'elasticitat E de 70000 N/mm^2 i una inèrcia de $9 \cdot 10^4$ mm^4 (veure documentació tècnica Annex E).

- **Biga simple en voladís: Càrrega uniforme "q" al llarg de tota la biga**

La fletxa màxima ve donada per l'Equació B.2.

$$y_{màx} = -\frac{qL^4}{8EI} \qquad \text{(Eq. B.2)}$$

On q = W i L = 680 mm. S'obté una contribució a la fletxa total de -0.0725 mm.

- **Biga simple en voladís: Càrrega puntual "F" al centre de la biga**

En aquest cas la fletxa màxima es troba amb l'Equació B.3.

$$y_{màx} = -\frac{5FL^3}{48EI} \qquad \text{(Eq. B.3)}$$

On F correspon al pes de la junta intermèdia. S'obté una fletxa de -0.0178 mm.

- **Biga simple en voladís: Càrrega puntual "F" a l'extrem de la biga**

Per aquesta posició de la càrrega puntual la fletxa màxima s'obté amb l'Equació B.4.

$$y_{màx} = -\frac{FL^3}{3EI} \qquad \text{(Eq. B.4)}$$

On F = P_{junta} + $P_{conjunt\ plataforma}$ – N i es correspon a la força puntual resultant en l'extrem de la biga. El valor per la fletxa és de -0.092 mm.

- **Biga simple en voladís: Moment puntual "M" a l'extrem**

Per aquesta situació la fletxa màxima ve donada per l'Equació B.5.

$$y_{màx} = -\frac{ML^2}{2EI} \qquad \text{(Eq. B.5)}$$

On M és el moment resultant de traslladar les forces. Es troba una contribució a la fletxa total de -0.01428 mm.

Finalment, considerant la contribució de cada subproblema, es troba una fletxa màxima total de -0.2 mm. Es tracta d'un valor menyspreable i es té que la fletxa no afectarà al disseny. També cal tenir present que les forces que actuen sobre la plataforma es repartiran entre les tres cadenes i no actuaran sobre una sola tal com s'ha considerat. Així doncs, es tracta d'un càlcul sobredimensionat i es conclou que no caldrà considerar la fletxa en el disseny.

B.3 Càlcul dels actuadors

Per valorar la bondat de l'elecció dels actuadors es consideren bàsicament dos aspectes clau: la màxima velocitat de rotació i el parell. El requisit que hauran de complir aquest dos paràmetres és que siguin suficients per donar unes velocitats lineals i unes forces en l'element terminal que puguin competir amb les màquines de tall per arrossegament presents al mercat.

En un model de gamma estàndard d'aquest tipus de màquina la ganiveta pot tallar a una velocitat màxima de 400 mm/s. Respecte a la força que ha d'aplicar la ganiveta, aquesta ha ser superior a la força d'oposició que es dóna quan s'aplica la pressió màxima de tall (5 N). Si es considera aquesta força d'oposició com una força de fricció on el coeficient de fregament és de 1, es té que la força a l'element terminal en la direcció de tall haurà de ser aproximadament de 5 N.

Per calcular la velocitat màxima de rotació i el parell requerit en els actuadors per les condicions de treball descrites caldrà resoldre la dinàmica del mecanisme.

B.3.1 Dinàmica del mecanisme

Per solucionar la dinàmica del mecanisme primerament es requereix la resolució de la cinemàtica per obtenir les posicions, velocitats i acceleracions dels diferents components donada una entrada d'aquestes mateixes variables per l'element terminal. Seguidament es podran plantejar les diferents forces i parells i resoldre la dinàmica.

- **Geometria**

La simbologia utilitzada per la resolució de la dinàmica del mecanisme paral·lel planar 3RRR es mostra a la *Figura B.5*. Les dimensions principals es denominen de la mateixa forma que en apartats anteriors essent la longitud de les baules "a", el costat del triangle equilàter de la plataforma "h" i la distància entre actuadors "H". Els símbols θ_i i α_i denoten els angles absoluts respecte l'horitzontal de les juntes actives i intermèdies respectivament on i=1, 2 i 3.

Els punts A_1, A_2, A_3 defineixen la geometria de la base i els punts C_1, C_2, C_3 la geometria de la plataforma. Els centres de masses de les baules es representen amb els punts D_i i E_i.

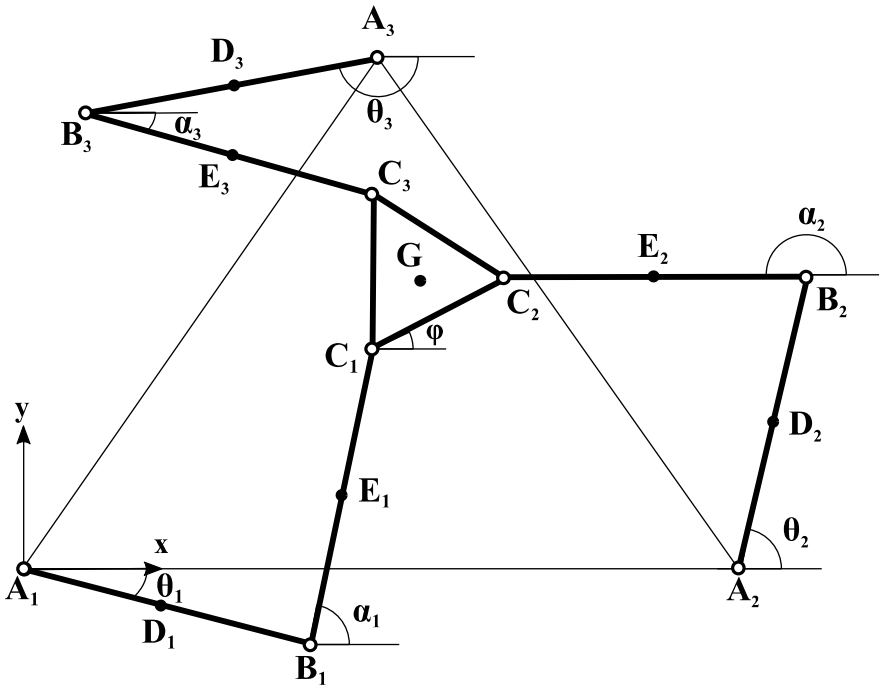


Figura B.5. Simbologia per la resolució de la dinàmica

L'element terminal, representat amb el punt G, no es troba exactament situat en el centroide del triangle a diferència de la majoria de prototips del mecanisme en qüestió. A la *Figura B.6* es mostra la simbologia utilitzada per la situació de l'element terminal.

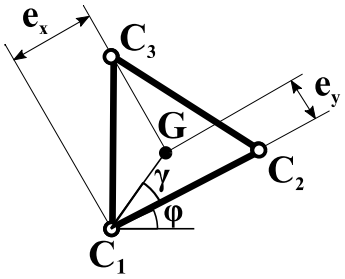


Figura B.6. Ubicació de l'element terminal en la plataforma

- **Cinemàtica inversa**

La cinemàtica inversa ens permet determinar la posició que han d'adoptar les juntes actives per tal d'aconseguir que l'element terminal s'ubiqui en una posició concreta. Així doncs, es parteix de la posició (x_G, y_G) per obtenir les posicions de les diferents articulacions i els angles de les baules.

Primer s'obtenen de forma immediata les posicions de les juntes de la plataforma C_i a partir de les coordenades de G.

$$x_{C,1} = x_G + e_x \cdot (\sin\varphi \cdot \tan\gamma - \cos\varphi) \qquad \text{(Eq. B.6)}$$

$$y_{C,1} = y_G - e_x \cdot (\cos\varphi \cdot \tan\gamma + \sin\varphi) \qquad \text{(Eq. B.7)}$$

$$x_{C,2} = x_G + e_x \cdot (\sin\varphi \cdot \tan\gamma + \cos\varphi) \qquad \text{(Eq. B.8)}$$

$$y_{C,2} = y_G - e_x \cdot (\cos\varphi \cdot \tan\gamma - \sin\varphi) \qquad \text{(Eq. B.9)}$$

$$x_{C,3} = x_G - \left(\sqrt{3/4}\,h - e_y\right) \cdot \sin\varphi \qquad \text{(Eq. B.10)}$$

$$y_{C,3} = y_G + \left(\sqrt{3/4}\,h - e_y\right) \cdot \cos\varphi \qquad \text{(Eq. B.11)}$$

A continuació per tal de facilitar la resolució de la cinemàtica inversa s'utilitzen els angles auxiliars ψ_i i β_i indicats a la *Figura B.7*.

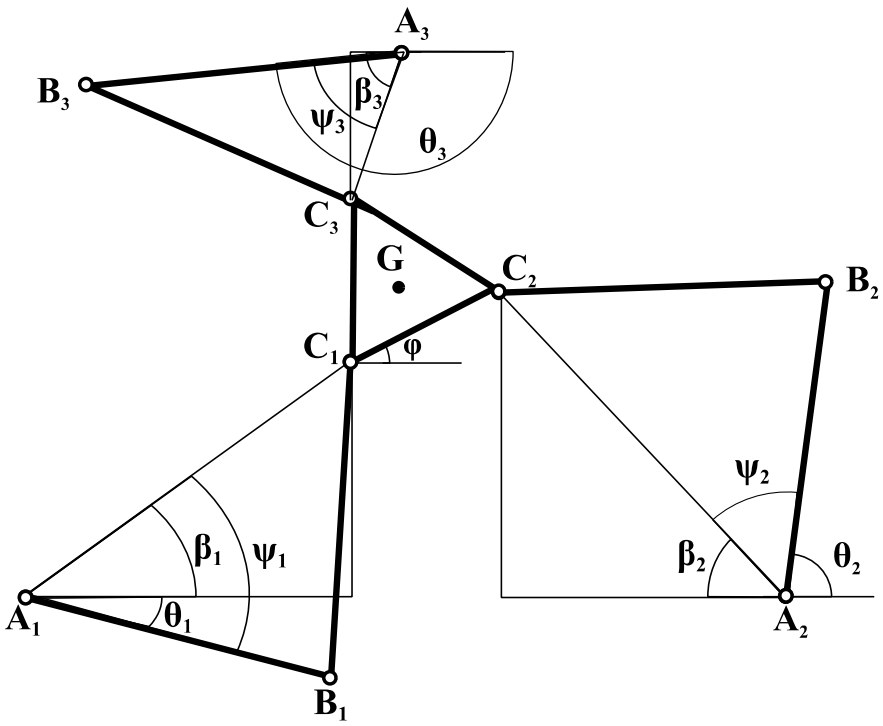


Figura B.7. Angles auxiliars per la resolució de la cinemàtica inversa

Per obtenir els angles auxiliars β_i s'utilitza la funció atan2 perquè retorni el quadrant adequat de l'angle en qüestió.

$$\beta_i = \operatorname{atan2}\,(y_{C,i} - y_{A,i}\,, x_{C,i} - x_{A,i}) \qquad \text{(Eq. B.12)}$$

Seguidament aplicant el teorema del cosinus es determinen els angles auxiliars ψ_i.

$$\psi_i = \operatorname{acos}\left(\frac{(x_{C,i} - x_{A,i})^2 + (y_{C,i} - y_{A,i})^2}{2a\sqrt{(x_{C,i} - x_{A,i})^2 + (y_{C,i} - y_{A,i})^2}}\right) \qquad \text{(Eq. B.13)}$$

Finalment la cinemàtica inversa queda resolta amb l'obtenció dels angles θ_i.

$$\theta_i = \beta_i - \psi_i \qquad \text{(Eq. B.14)}$$

- **Cinemàtica: Velocitats i acceleracions**

Per resoldre la dinàmica es requereix també de les acceleracions dels diferents elements i conseqüentment també de les velocitats. Es parteix d'una entrada que conté la velocitat i l'acceleració de l'element terminal G, essent aquestes dades conegudes.

Primer, a partir de la velocitat lineal de G ($\dot{x}_G, \dot{y}_G$) i la velocitat angular de la plataforma $\dot{\varphi}$, es determina la velocitat de les segones juntes passives ($\dot{x}_{C,i}$, $\dot{y}_{C,i}$) on i=1, 2 i 3.

$$\dot{x}_{C,i} = \dot{x}_G + \dot{\varphi} \cdot (y_G - y_{C,i}) \qquad \text{(Eq. B.15)}$$

$$\dot{y}_{C,i} = \dot{y}_G + \dot{\varphi} \cdot (x_{C,i} - x_G) \qquad \text{(Eq. B.16)}$$

A continuació es planteja la relació cinemàtica de la primera i segona baula entre els punts A_i i B_i i els punts C_i i B_i respectivament.

$$\vec{\dot{x}}_{B,i} = \vec{\dot{\theta}}_i \times \overrightarrow{A_i B_i} \qquad \text{(Eq. B.17)}$$

$$\vec{\dot{x}}_{B,i} = \vec{\dot{x}}_{C,i} + \vec{\dot{\alpha}}_i \times \overrightarrow{C_i B_i} \qquad \text{(Eq. B.18)}$$

Combinant les darreres equacions s'obtenen les velocitats angulars absolutes de cada baula.

$$\dot{\theta}_i = \frac{\dot{x}_{C,i} \cdot (x_{B,i} - x_{C,i}) + \dot{y}_{C,i} \cdot (y_{B,i} - y_{C,i})}{(x_{B,i} - x_{A,i})(y_{B,i} - y_{C,i}) - (x_{B,i} - x_{C,i})(y_{B,i} - y_{A,i})} \qquad \text{(Eq. B.19)}$$

$$\dot{\alpha}_i = \frac{\dot{x}_{C,i} \cdot (x_{B,i} - x_{A,i}) + \dot{y}_{C,i} \cdot (y_{B,i} - y_{A,i})}{(x_{B,i} - x_{A,i})(y_{B,i} - y_{C,i}) - (x_{B,i} - x_{C,i})(y_{B,i} - y_{A,i})} \qquad \text{(Eq. B.20)}$$

Seguidament, a partir de l'acceleració lineal de G ($\ddot{x}_G, \ddot{y}_G$) i l'acceleració angular de la plataforma $\ddot{\varphi}$, es determinen les acceleracions de les articulacions, dels centres de masses de les baules i també les acceleracions angulars de les baules.

Plantejant la relació cinemàtica entre els punts G i C_i obtenim les acceleracions de les juntes passives de la plataforma ($\ddot{x}_{C,i}$, $\ddot{y}_{C,i}$).

$$\ddot{x}_{C,i} = \ddot{x}_G - \ddot{\varphi} \cdot (y_{C,i} - y_G) - \dot{\varphi}^2 (x_{C,i} - x_G) \qquad \text{(Eq. B.21)}$$

$$\ddot{y}_{C,i} = \ddot{y}_G + \ddot{\varphi} \cdot (x_{C,i} - x_G) - \dot{\varphi}^2 (y_{C,i} - y_G) \qquad \text{(Eq. B.22)}$$

De forma anàloga a les velocitats angulars absolutes s'obtenen les acceleracions angulars absolutes de cada baula $\ddot{\theta}_i$ i $\ddot{\alpha}_i$. Primer es plantegen les relacions cinemàtiques entre els punts A_i i B_i de la primera baula i els punts C_i i B_i de la segona baula.

$$\vec{\ddot{x}}_{B,i} = \vec{\ddot{\theta}}_i \times \overrightarrow{A_i B_i} - \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot \overrightarrow{A_i B_i} \qquad \text{(Eq. B.23)}$$

$$\vec{\ddot{x}}_{B,i} = \vec{\ddot{x}}_{C,i} + \vec{\ddot{\alpha}}_i \times \overrightarrow{C_i B_i} - \dot{\alpha}_i^{\,2} \cdot \overrightarrow{C_i B_i} \qquad \text{(Eq. B.24)}$$

Es combinen les dues darreres equacions i s'obtenen les acceleracions angulars absolutes de cada baula.

$$\begin{aligned}\ddot{\theta}_i = {} & (\ddot{x}_{C,i}(x_{B,i} - x_{C,i}) + \ddot{y}_{C,i}(y_{B,i} - y_{C,i}) + \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot ((x_{B,i} - x_{A,i})(x_{B,i} - x_{C,i}) \\ & + (y_{B,i} - y_{A,i})(y_{B,i} - y_{C,i})) + \dot{\alpha}_i^{\,2} \cdot (-(x_{B,i} - x_{C,i})^2 - (y_{B,i} - y_{C,i})^2)) \\ & / ((x_{C,i} - x_{B,i})(y_{B,i} - y_{A,i}) + (x_{B,i} - x_{A,i})(y_{B,i} - y_{C,i}))\end{aligned} \qquad \text{(Eq. B.25)}$$

$$\begin{aligned}\ddot{\alpha}_i = {} & (\ddot{x}_{C,i}(x_{B,i} - x_{A,i}) + \ddot{y}_{C,i}(y_{B,i} - y_{A,i}) - \dot{\alpha}_i^{\,2} \cdot ((x_{B,i} - x_{A,i})(x_{B,i} - x_{C,i}) \\ & + (y_{B,i} - y_{A,i})(y_{B,i} - y_{C,i})) + \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot ((x_{B,i} - x_{A,i})^2 + (y_{B,i} - y_{A,i})^2)) \\ & / ((x_{B,i} - x_{A,i})(y_{B,i} - y_{C,i}) - (x_{B,i} - x_{C,i})(y_{B,i} - y_{A,i}))\end{aligned} \qquad \text{(Eq. B.26)}$$

A continuació es planteja la relació cinemàtica entre les juntes actives A_i i els centres de masses de les primeres baules D_i a fi de de conèixer l'acceleració d'aquests.

$$\ddot{x}_{D,i} = -\ddot{\theta}_i \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \sin(\theta_i)\right) - \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \cos(\theta_i)\right) \qquad \text{(Eq. B.27)}$$

$$\ddot{y}_{D,i} = \ddot{\theta}_i \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \cos(\theta_i)\right) - \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \sin(\theta_i)\right) \qquad \text{(Eq. B.28)}$$

Tot seguit es desenvolupa la relació cinemàtica entre els punts A_i i B_i presentada a l'equació B.23 per tal d'obtenir l'acceleració lineal de les juntes intermèdies ($\ddot{x}_{B,i}$, $\ddot{y}_{B,i}$).

$$\ddot{x}_{B,i} = -\ddot{\theta}_i \cdot (y_{B,i} - y_{A,i}) - \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot (x_{B,i} - x_{A,i}) \qquad \text{(Eq. B.29)}$$

$$\ddot{y}_{B,i} = \ddot{\theta}_i \cdot (x_{B,i} - x_{A,i}) - \dot{\theta}_i^{\,2} \cdot (y_{B,i} - y_{A,i}) \qquad \text{(Eq. B.30)}$$

Finalment, les acceleracions que resten per poder resoldre la dinàmica del mecanisme es corresponen a les dels centres de masses de les segones baules. Es parteix de les acceleracions lineals dels punts B_i calculades anteriorment i es relacionen amb els punts E_i, obtenint així les acceleracions $\ddot{x}_{E,i}$ i $\ddot{y}_{E,i}$.

$$\ddot{x}_{E,i} = \ddot{x}_{B,i} - \ddot{\alpha}_i \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \sin(\alpha_i)\right) - \dot{\alpha}_i^{\,2} \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \cos(\alpha_i)\right) \qquad \text{(Eq. B.31)}$$

$$\ddot{y}_{E,i} = \ddot{y}_{B,i} + \ddot{\alpha}_i \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \cos(\alpha_i)\right) - \dot{\alpha}_i^{\,2} \cdot \left(\frac{a}{2} \cdot \sin(\alpha_i)\right) \qquad \text{(Eq. B.32)}$$

- **Equilibri dinàmic de forces**

A continuació a fi de finalitzar la resolució de la dinàmica es representen els diagrames de cos lliure dels diferents elements i es plantegen les equacions de l'equilibri de forces.

El diagrama de cos lliure per la plataforma es troba representat a la *Figura B.8*. Les forces $C_{x,i}$ i $C_{y,i}$ són les reaccions a les juntes, les forces $m_{art}\cdot\ddot{x}_{C,i}$ i $m_{art}\cdot\ddot{y}_{C,i}$ són les forces d'inèrcia que actuen sobre les articulacions essent m_{art} la massa d'aquestes, les forces $m_{plat}\cdot\ddot{x}_G$ i $m_{plat}\cdot\ddot{y}_G$ i el moment $I_{plat}\cdot\ddot{\varphi}$ són els efectes inercials sobre la plataforma on m_{plat} i I_{plat} són la massa i el moment d'inèrcia centroidal de la plataforma respectivament. Finalment, la força F_r és la força d'oposició que resulta del tall i es considera com una força de fregament que actua sempre en la direcció del vector de la velocitat de l'element terminal però en sentit contrari.

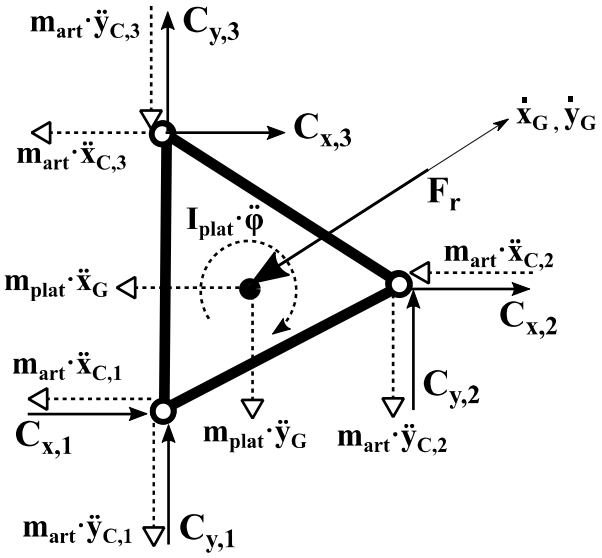


Figura B.8. Diagrama de cos lliure de la plataforma

Per calcular el moment d'inèrcia de la plataforma I_{plat} es parteix dels moments d'inèrcia de superfície respecte els eixos x' i y' que passen pel centroide essent x' paral·lel a la base del triangle i y' perpendicular a aquest. Aquests s'obtenen fàcilment de la literatura i s'expressen segons les equacions B.33 i B.34 on b i h són la base i l'altura del triangle respectivament.

$$J_{x_G} = \frac{1}{36} bh^3 \qquad \text{(Eq. B.33)}$$

$$J_{y_G} = \frac{1}{48} hb^3 \qquad \text{(Eq. B.34)}$$

Si es considera la plataforma com una placa triangular de gruix i densitat constant, la inèrcia I i el moment d'inèrcia de superfície J es poden relacionar amb l'equació B.35 on ρ és la densitat i *e* el gruix.

$$I = \rho\, e\, J \qquad \text{(Eq. B.35)}$$

Per tant, combinant les equacions B.33 i B.34 amb la darrera equació s'obtenen els moments d'inèrcia respecte els eixos que passen pel centroide.

$$I_{x_G} = \frac{1}{36}\rho\, e\, b\, h^3 \qquad \text{(Eq. B.36)}$$

$$I_{y_G} = \frac{1}{48}\rho\, e\, h\, b^3 \qquad \text{(Eq. B.37)}$$

En les darreres equacions es substitueix el terme que inclou el producte de l'àrea del triangle, el gruix i la densitat per la massa de la plataforma m_{plat} i sumant I_{x_G} i I_{Y_G} s'obté el moment d'inèrcia polar I_{plat} que s'utilitza als càlculs que precedeixen. Aquest moment d'inèrcia s'expressa amb l'equació B.38.

$$I_{plat} = m_{plat}\left(\frac{h^2}{18} + \frac{b^2}{24}\right) \qquad \text{(Eq. B.38)}$$

Considerant les dimensions generals anteriorment fixades i una massa de la plataforma de 0.725 kg que inclou la massa del canal, del suport, del conjunt per al moviment en z i de l'eina, s'obté un moment d'inèrcia de 0.0004365 kg·m^2.

A continuació es planteja l'equilibri de forces en les direccions x i y i també l'equilibri de moments respecte el punt de l'element terminal G.

$$\sum F_x) \quad C_{x,1} + C_{x,2} + C_{x,3} = F_r \frac{\dot{x}_G}{\sqrt{\dot{x}_G^{\,2} + \dot{y}_G^{\,2}}} + m_{art} \cdot \left(\ddot{x}_{C,1} + \ddot{x}_{C,2} + \ddot{x}_{C,3}\right) + m_{plat} \cdot \ddot{x}_G \qquad \text{(Eq. B.39)}$$

$$\sum F_y) \quad C_{y,1} + C_{y,2} + C_{y,3} = F_r \frac{\dot{y}_G}{\sqrt{\dot{x}_G^{\,2} + \dot{y}_G^{\,2}}} + m_{art} \cdot \left(\ddot{y}_{C,1} + \ddot{y}_{C,2} + \ddot{y}_{C,3}\right) + m_{plat} \cdot \ddot{y}_G \qquad \text{(Eq. B.40)}$$

$$\begin{aligned}\sum M_G) \quad & C_{x,1}(y_G - y_{C,1}) - C_{y,1}(x_G - x_{C,1}) + C_{x,2}\left(y_G - y_{C,2}\right) + C_{y,2}\left(x_{C,2} - x_G\right) \\ & - C_{x,3}\left(y_{C,3} - y_G\right) - C_{y,3}\left(x_G - x_{C,3}\right) = I_{plat} \cdot \ddot{\varphi} + m_{art} \cdot \ddot{x}_{C,1} \cdot \left(y_G - y_{C,1}\right) - \\ & m_{art} \cdot \ddot{y}_{C,1} \cdot (x_G - x_{C,1}) + m_{art} \cdot \ddot{x}_{C,2} \cdot \left(y_G - y_{C,2}\right) + m_{art} \cdot \ddot{y}_{C,2} \cdot \left(x_{C,2} - x_G\right) - \\ & m_{art} \cdot \ddot{x}_{C,3} \cdot \left(y_{C,3} - y_G\right) - m_{art} \cdot \ddot{y}_{C,3} \cdot \left(x_G - x_{C,3}\right)\end{aligned} \qquad \text{(Eq. B.41)}$$

El diagrama de cos lliure per les segones baules es presenta a la *Figura B.9*. Es consideren les diferents forces i moments inercials on m_{bau} i I_{bau} són la massa i la inèrcia de les baules respectivament.

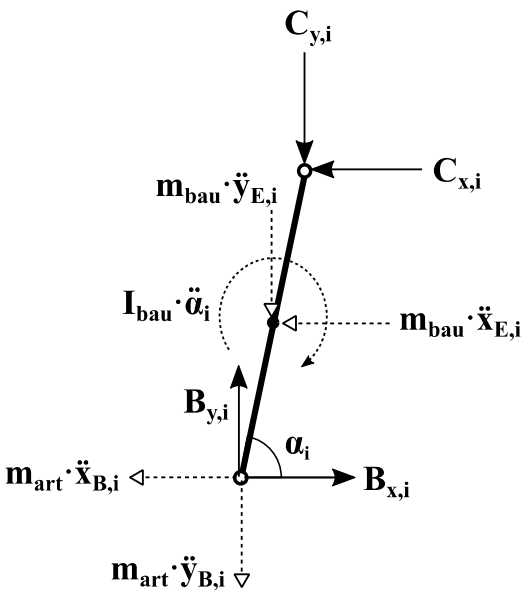


Figura B.9. Diagrama de cos lliure de les segones baules

El moment d'inèrcia d'una barra homogènia de massa m i longitud L que gira per un eix perpendicular a ella i que passa pel seu centre s'obté amb l'equació B.42 segons la literatura.

$$I = \frac{1}{12} m L^2 \qquad \text{(Eq. B.42)}$$

De la documentació tècnica s'extreu que la massa de les baules pel perfil seleccionat m_{bau} és de 0.583 kg i prenent una longitud de 340 mm es té que el moment d'inèrcia centroidal de les baules I_{bau} és de 0.00561 kg·m^2.

Seguidament es plantegen les equacions de l'equilibri de forces en x i y i també l'equilibri de moments respecte els centres de masses de les baules E_i.

$$\sum F_x) \quad B_{x,i} - C_{x,i} = m_{bau} \cdot \ddot{x}_{E,i} + m_{art} \cdot \ddot{x}_{B,i} \qquad \text{(Eq. B.43)}$$

$$\sum F_y) \quad B_{y,i} - C_{y,i} = m_{bau} \cdot \ddot{y}_{E,i} + m_{art} \cdot \ddot{y}_{B,i} \qquad \text{(Eq. B.44)}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{E,i}) \quad & B_{x,i}\left(\frac{a}{2}\sin(\alpha_i)\right) - B_{y,i}\left(\frac{a}{2}\cos(\alpha_i)\right) + C_{x,i}\left(\frac{a}{2}\sin(\alpha_i)\right) \\ & - C_{y,i}\left(\frac{a}{2}\cos(\alpha_i)\right) = I_{bau} \cdot \ddot{\alpha}_i + m_{art} \cdot \ddot{x}_{B,i} \cdot \left(\frac{a}{2}\sin(\alpha_i)\right) \\ & - m_{art} \cdot \ddot{y}_{B,i} \cdot \left(\frac{a}{2}\cos(\alpha_i)\right) \end{aligned} \qquad \text{(Eq. B.45)}$$

Finalment només resta representar el diagrama de cos lliure per les primeres baules. Aquest es presenta a la *Figura B.10*.

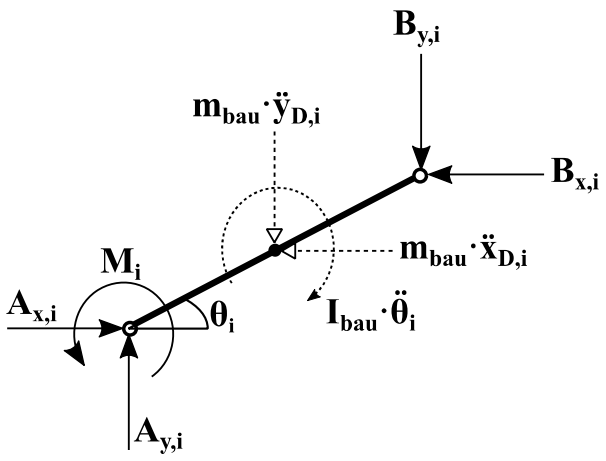


Figura B.10. Diagrama de cos lliure de les primeres baules

De forma anàloga a les segones baules es planteja l'equilibri de forces en x i y i l'equilibri de moments respecte el centre de masses D_i.

$$\sum F_x) \quad A_{x,i} - B_{x,i} = m_{bau} \cdot \ddot{x}_{D,i} \qquad \text{(Eq. B.46)}$$

$$\sum F_y) \quad A_{y,i} - B_{y,i} = m_{bau} \cdot \ddot{y}_{D,i} \qquad \text{(Eq. B.47)}$$

$$\sum M_{D,i}) \quad A_{x,i}\left(\frac{a}{2} \cdot \sin(\theta_i)\right) - A_{y,i}\left(\frac{a}{2} \cdot \cos(\theta_i)\right) + B_{x,i}\left(\frac{a}{2} \cdot \sin(\theta_i)\right) - B_{y,i}\left(\frac{a}{2} \cdot \cos(\theta_i)\right) + M_i = I_{bau} \cdot \ddot{\theta}_i \qquad \text{(Eq. B.48)}$$

Es tenen un total de 21 incògnites i 21 equacions. S'ordenen les incògnites i els termes independents i es construeix una matriu de dimensió 21x21 amb els coeficients de les incògnites (M_{coef}) i una matriu de 21x1 amb les constants dels termes independents (M_{tindep}). Finalment només caldrà resoldre l'equació matricial B.49 on $M_{incòg}$ és el vector columna on hi consten les incògnites.

$$\{M_{tindep}\} = \{M_{coef}\} \cdot \{M_{incòg}\} \qquad \text{(Eq. B.49)}$$

- **Programa per la resolució de la cinemàtica i la dinàmica**

Per resoldre numèricament la cinemàtica i la dinàmica s'elabora una funció en Matlab que donada una entrada de la posició, velocitat i acceleració de l'element terminal i l'orientació, velocitat angular i acceleració angular de la plataforma, retorna la velocitat de rotació de les juntes actives i els parells requerits en els actuadors.

La cinemàtica i la dinàmica és computada sistemàticament de la mateixa forma en que s'ha presentat en els darrers apartats. En la *Figura B.11* es mostra el codi de Matlab elaborat.

```
function [W1,W2,W3,M1,M2,M3] =
cinematica_dinamica_3RRR(x_G,y_G,phi,vx_G,vy_G,v_phi,ax_G,ay_G,a_phi)

%DIMENSIONS PRINCIPALS

    H=850/1000;         %Distància entre actuadors [m]
    h=85/1000;          %Dimensió costat plataforma [m]
    a=340/1000;         %Dimensió baules [m]
    ex=42.5/1000;       %Posició x de l'element terminal a la plataforma [m]
    ey=30/1000;         %Posició y de l'element terminal a la plataforma [m]
    gamma=atand(ey/ex);%Angle element terminal des de costat plataforma [º]

    x_A(1) = 0;           %Situació junta activa A1
    y_A(1) = 0;
    x_A(2) = H;           %Situació junta activa A2
    y_A(2) = 0;
    x_A(3) = H/2;         %Situació junta activa A3
    y_A(3) = sqrt(3/4)*H;

%CINEMÀTICA INVERSA
%(Únicament es considera una possible configuració dels braços)

    %Posició de les articulacions de la plataforma: Punts C(i)
    x_C(1) = x_G + ex*(sind(phi)*tand(gamma)-cosd(phi));
    y_C(1) = y_G - ex*(cosd(phi)*tand(gamma)+sind(phi));

    x_C(2) = x_G + ex*(sind(phi)*tand(gamma)+cosd(phi));
    y_C(2) = y_G - ex*(cosd(phi)*tand(gamma)-sind(phi));

    x_C(3) = x_G - (sqrt(3/4)*h-ey)*sind(phi);
    y_C(3) = y_G + (sqrt(3/4)*h-ey)*cosd(phi);

    %Angles auxiliars i angles absoluts de les primeres baules: Theta(i)
    for i=1:3
        beta(i) = atan2d( y_C(i)-y_A(i), x_C(i)-x_A(i));
        psi(i) = acosd( ((x_C(i)-x_A(i))^2+(y_C(i)-y_A(i))^2) /
        (2*a*sqrt((x_C(i)-x_A(i))^2+(y_C(i)-y_A(i))^2)));
        theta(i) = beta(i) - psi(i);
    end

    %Posicions de les juntes intermèdies: Punts B(i)
    for i=1:3
        x_B(i)=x_A(i)+a*cosd(theta(i));
        y_B(i)=y_A(i)+a*sind(theta(i));
    end

    %Angles absoluts de les segones baules: Alfa(i)
    for i=1:3
        alfa(i) = atan2d( y_C(i) - y_B(i) , x_C(i) - x_B(i) );
    end

%ANIMACIÓ

    %Característiques gràfic
    axis equal;
    axis([-25/1000 1000/1000 -300/1000 800/1000]);
    xlabel('x [m]','FontSize',12);
    ylabel('y [m]','FontSize',12);
```

```
    %Dibuixa les juntes actives
    hold on;
    plot(x_A,y_A,'k.','MarkerSize',20)
    %Dibuix de la plataforma
    hold on;
    plot([x_C,x_C(1)],[y_C,y_C(1)],'Color','r','LineWidth',2)
    %Dibuixa les cadenes
    for i=1:3
        hold on;
        plot([x_A(i),x_B(i),x_C(i)],[y_A(i),y_B(i),y_C(i)],'Color','b',
        'LineWidth',1)
    end
    %Dibuixa l'element terminal
    hold on;
    plot(x_G,y_G,'k.','MarkerSize',20)
    %Representació del material DIN A3
    hold on;
    rectangle('Position',[((H/2)-(0.297/2)) 0.031 0.297 0.42])

%VELOCITATS I ACCELERACIONS

    %Velocitat de les juntes passives de la plataforma: Velocitats v_C(i)
    for i=1:3
        vx_C(i) = vx_G + v_phi*(y_G - y_C(i));
        vy_C(i) = vy_G + v_phi*(x_C(i) - x_G);
    end

    %Velocitats angulars absolutes de les baules: v_theta(i) i v_alfa(i)
    for i=1:3
        v_theta(i)=(vx_C(i)*(x_B(i)-x_C(i))+vy_C(i)*(y_B(i)-y_C(i))) /
        ((x_B(i)-x_A(i))*(y_B(i)-y_C(i))-(x_B(i)-x_C(i))*(y_B(i)-y_A(i)));
        v_alfa(i)=(vx_C(i)*(x_B(i)-x_A(i))+vy_C(i)*(y_B(i)-y_A(i))) /
        ((x_B(i)-x_A(i))*(y_B(i)-y_C(i))-(x_B(i)-x_C(i))*(y_B(i)-y_A(i)));
    end

    %Obtenció de les velocitats angulars de les juntes actives en rpm
    W1=v_theta(1)*30/pi;
    W2=v_theta(2)*30/pi;
    W3=v_theta(3)*30/pi;

    %Acceleracions de les juntes passives de la plataforma: a_C(i)
    for i=1:3
        ax_C(i) = ax_G - a_phi*(y_C(i) - y_G) - (v_phi^2)*(x_C(i) - x_G);
        ay_C(i) = ay_G + a_phi*(x_C(i) - x_G) - (v_phi^2)*(y_C(i) - y_G);
    end

    %Acceleracions angulars absolutes de les baules: a_theta(i) i a_alfa(i)
    for i=1:3
        a_theta(i)=(ax_C(i)*(x_B(i)-x_C(i))+ay_C(i)*(y_B(i)-y_C(i))+
        (v_theta(i)^2)*( (x_B(i)-x_A(i))*(x_B(i)-x_C(i)) + (y_B(i)-
        y_A(i))*(y_B(i)-y_C(i))) + (v_alfa(i)^2)*(-(x_B(i)-x_C(i))^2 -
        (y_B(i)-y_C(i))^2)) / ((x_C(i)-x_B(i))*(y_B(i)-y_A(i))+(x_B(i)-
        x_A(i))*(y_B(i)-y_C(i)));
        a_alfa(i)=( ax_C(i)*(x_B(i)-x_A(i)) + ay_C(i)*(y_B(i)-y_A(i)) -
        (v_alfa(i)^2)*( (x_B(i)-x_A(i))*(x_B(i)-x_C(i)) + (y_B(i)-
        y_A(i))*(y_B(i)-y_C(i)) ) + (v_theta(i)^2)*((x_B(i)-x_A(i))^2 +
        (y_B(i)-y_A(i))^2) ) / ((x_B(i)-x_A(i))*(y_B(i)-y_C(i))-(x_B(i)-
        x_C(i))*(y_B(i)-y_A(i)));
    end
```

```
    %Acceleracions centres de masses de les primeres baules: a_D(i)
    for i=1:3
        ax_D(i) = -a_theta(i)*((a/2)*sind(theta(i)))-
        (v_theta(i)^2)*((a/2)*cosd(theta(i)));
        ay_D(i) = a_theta(i)*((a/2)*cosd(theta(i))) -
        (v_theta(i)^2)*((a/2)*sind(theta(i)));
    end

    %Acceleracions de les juntes intermèdies: a_B(i)
    for i=1:3
        ax_B(i)=-a_theta(i)*(y_B(i)-y_A(i))-(v_theta(i)^2)*(x_B(i)-x_A(i));
        ay_B(i)=a_theta(i)*(x_B(i)-x_A(i))-(v_theta(i)^2)*(y_B(i)-y_A(i));
    end

    %Acceleracions centres de masses de les segones baules: a_E(i)
    for i=1:3
        ax_E(i) = ax_B(i) - a_alfa(i)*((a/2)*sind(alfa(i))) -
        (v_alfa(i)^2)*((a/2)*cosd(alfa(i)));
        ay_E(i) = ay_B(i) + a_alfa(i)*((a/2)*cosd(alfa(i))) -
        (v_alfa(i)^2)*((a/2)*sind(alfa(i)));
    end

%DINÀMICA

    %Dades per la dinàmica
    m_plat=0.725;       %Massa del conjunt plataforma [kg]
    I_plat=0.0004365;   %Moment inèrcia centroidal de la plataforma [kg·m^2]
    m_art=0.447;        %Massa de l'articulació [kg]
    m_bau=0.583;        %Massa de les baules [kg]
    I_bau=0.00561;      %Moment d'inèrcia centroidal de les baules [kg·m^2]
    Fr=5;               %Força de tall [N]

    %Matriu de coeficients: Inicialització
     M_coef=zeros(21,21);
    %Matriu de coeficients: Elements no nuls
     M_coef(1,5)=1; M_coef(1,11)=1; M_coef(1,17)=1;
     M_coef(2,6)=1; M_coef(2,12)=1; M_coef(2,18)=1;
     M_coef(3,5)=y_G-y_C(1); M_coef(3,6)=-(x_G-x_C(1));
     M_coef(3,11)=y_G-y_C(2); M_coef(3,12)=x_C(2)-x_G;
     M_coef(3,17)=-(y_C(3)-y_G); M_coef(3,18)=-(x_G-x_C(3));
     M_coef(4,3)=1; M_coef(4,5)=-1;
     M_coef(5,4)=1; M_coef(5,6)=-1;
     M_coef(6,3)=(a/2)*sind(alfa(1)); M_coef(6,4)=-(a/2)*cosd(alfa(1));
     M_coef(6,5)=(a/2)*sind(alfa(1)); M_coef(6,6)=-(a/2)*cosd(alfa(1));
     M_coef(7,1)=1; M_coef(7,3)=-1;
     M_coef(8,2)=1; M_coef(8,4)=-1;
     M_coef(9,1)=(a/2)*sind(theta(1)); M_coef(9,2)=-(a/2)*cosd(theta(1));
     M_coef(9,3)=(a/2)*sind(theta(1)); M_coef(9,4)=-(a/2)*cosd(theta(1));
     M_coef(9,19)=1;
     M_coef(10,9)=1; M_coef(10,11)=-1;
     M_coef(11,10)=1; M_coef(11,12)=-1;
     M_coef(12,9)=(a/2)*sind(alfa(2)); M_coef(12,10)=-(a/2)*cosd(alfa(2));
     M_coef(12,11)=(a/2)*sind(alfa(2)); M_coef(12,12)=-(a/2)*cosd(alfa(2));
     M_coef(13,7)=1; M_coef(13,9)=-1;
     M_coef(14,8)=1; M_coef(14,10)=-1;
     M_coef(15,7)=(a/2)*sind(theta(2)); M_coef(15,8)=-(a/2)*cosd(theta(2));
     M_coef(15,9)=(a/2)*sind(theta(2));M_coef(15,10)=-(a/2)*cosd(theta(2));
     M_coef(15,20)=1;
     M_coef(16,15)=1; M_coef(16,17)=-1;
```

```
     M_coef(17,16)=1; M_coef(17,18)=-1;
     M_coef(18,15)=(a/2)*sind(alfa(3)); M_coef(18,16)=-(a/2)*cosd(alfa(3));
     M_coef(18,17)=(a/2)*sind(alfa(3)); M_coef(18,18)=-(a/2)*cosd(alfa(3));
     M_coef(19,13)=1; M_coef(19,15)=-1;
     M_coef(20,14)=1; M_coef(20,16)=-1;
     M_coef(21,13)=(a/2)*sind(theta(3));
     M_coef(21,14)=-(a/2)*cosd(theta(3));
     M_coef(21,15)=(a/2)*sind(theta(3));
     M_coef(21,16)=-(a/2)*cosd(theta(3)); M_coef(21,21)=1;

    %Vector columna de termes independents: Inicialització
    M_tindep=zeros(21,1);
    %Vector columna de termes independents: Constants
     M_tindep(1)= Fr*(vx_G/sqrt((vx_G)^2+(vy_G)^2)) +
     m_art*(ax_C(1)+ax_C(2)+ax_C(3)) + m_plat*ax_G;
     M_tindep(2)= Fr*(vy_G/sqrt((vx_G)^2+(vy_G)^2)) +
     m_art*(ay_C(1)+ay_C(2)+ay_C(3)) + m_plat*ay_G;
     M_tindep(3)= I_plat*a_phi + m_art*ax_C(1)*(y_G-y_C(1)) -
     m_art*ay_C(1)*(x_G-x_C(1)) + m_art*ax_C(2)*(y_G-y_C(2)) +
     m_art*ay_C(2)*(x_C(2)-x_G) - m_art*ax_C(3)*(y_C(3)-y_G) -
     m_art*ay_C(3)*(x_G-x_C(3));
    for i=1:3
        M_tindep(6*i-2)= m_bau*ax_E(i) + m_art*ax_B(i);
        M_tindep(6*i-1)= m_bau*ay_E(i) + m_art*ay_B(i);
        M_tindep(6*i)= I_bau*a_alfa(i)+m_art*ax_B(i)*((a/2)*sind(alfa(i)))
        - m_art*ay_B(i)*((a/2)*cosd(alfa(i)));
        M_tindep(6*i+1)= m_bau*ax_D(i);
        M_tindep(6*i+2)= m_bau*ay_D(i);
        M_tindep(6*i+3)= I_bau*a_theta(i);
    end

    %Resolució equació matricial
    M_incog=zeros(21,1);
    M_incog=(inv(M_coef))*M_tindep;

    %Obtenció dels parells
    M1=M_incog(19);
    M2=M_incog(20);
    M3=M_incog(21);
end
```

Figura B.11. Funció de Matlab per la resolució de la cinemàtica i dinàmica del mecanisme

B.3.2 Simulació: Trajectòria circular

Per escollir uns actuadors adequats es simularà el tall d'una trajectòria circular dins l'espai de treball. S'escull aquest tipus de trajectòria per poder quantificar l'acceleració ja que en aquesta simulació es limitarà a ser l'acceleració centrípeta.

S'elabora un codi en Matlab en el qual es defineix la trajectòria a seguir, la velocitat i l'acceleració de l'element terminal així com l'orientació, velocitat i acceleració angular de la plataforma. Aquestes seran les variables d'entrada a la funció presentada a l'anterior apartat que s'executarà per cada punt de la trajectòria. La funció retorna les velocitats angulars de les juntes actives i els parells.

Per definir la trajectòria i les velocitats i acceleracions implicades es parteix de l'esquema de la *Figura B.12*.

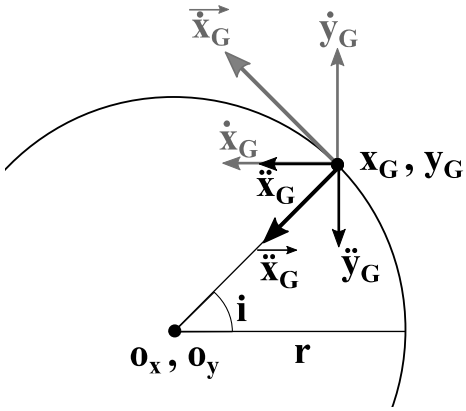


Figura B.12. Esquema de la trajectòria circular simulada

De forma immediata es pot obtenir la posició de l'element terminal aplicant relacions trigonomètriques bàsiques.

$$x_G = o_x + r \cdot \cos(i) \qquad \text{(Eq. B.50)}$$

$$y_G = o_y + r \cdot \sin(i) \qquad \text{(Eq. B.51)}$$

Considerant que es tracta d'un moviment circular es té que el vector velocitat serà tangent al cercle descrit. Així doncs, es poden obtenir fàcilment les components del vector velocitat.

$$\dot{x}_G = -\left|\vec{\dot{x}}_G\right| \cdot \sin(i) \qquad \text{(Eq. B.52)}$$

$$\dot{y}_G = \left|\vec{\dot{x}}_G\right| \cdot \cos(i) \qquad \text{(Eq. B.53)}$$

Finalment es té que l'acceleració es limitarà a ser l'acceleració centrípeta. En el moviment circular aquesta acceleració actua sempre en direcció al centre del cercle. Podem doncs obtenir les components de l'acceleració de l'element terminal.

$$\ddot{x}_G = -\frac{\left|\vec{\dot{x}}_G\right|^2}{r} \cdot \cos(i) \qquad \text{(Eq. B.54)}$$

$$\ddot{y}_G = -\frac{\left|\vec{\dot{x}}_G\right|^2}{r} \cdot \sin(i) \qquad \text{(Eq. B.55)}$$

S'elabora un codi en Matlab que recull les darreres expressions i servirà com a entrada de la funció presentada a l'anterior apartat. Així doncs, en aquest codi es defineix la trajectòria, la velocitat i acceleració de l'element terminal i també l'orientació, velocitat i acceleració angulars de la plataforma. Es cridarà a la funció i es guardaran els valors de les velocitats angulars de les juntes actives i els parells. El codi en qüestió es mostra a la *Figura B.13*.

```
%ENTRADA A LA FUNCIÓ: PROVA DE TRAJECTÒRIA CIRCULAR

clear; clc; close all; j=1;

for i=0:10:360

    %Posició del centre del cercle
    ox = 0.34;
    oy = 0.09;

    %Radi de la trajectòria circular
    r = 40/1000;

    %Posició de l'element terminal
    x_G = ox + r*cosd(i);
    y_G = oy + r*sind(i);

    %Velocitat de l'element terminal
    v_G = 0.4;  %Mòdul de la velocitat de l'element terminal [m/s]
    vx_G = -v_G*sind(i);
    vy_G = v_G*cosd(i);

    %Acceleració de l'element terminal
    a_G=((v_G)^2)/r;  %Mòdul de l'acceleració de l'element terminal [m/s^2]
    ax_G=-a_G*cosd(i);
    ay_G=-a_G*sind(i);

    %Orientació, velocitat i acceleració angulars de la plataforma
    phi = 0;
    v_phi = 0;
    a_phi = 0;

    %Crida a la funció
     [a,b,c,d,e,f]=cinematica_dinamica_3RRR(x_G,y_G,phi,vx_G,vy_G,v_phi,
     ax_G,ay_G,a_phi);

    %Obtenim les velocitats angulars de les juntes actives
    velang(j,1)=a;
    velang(j,2)=b;
    velang(j,3)=c;

    %Obtenim els moments de les juntes actives
    moms(j,1)=d;
    moms(j,2)=e;
    moms(j,3)=f;

    j=j+1;

end

%Guarda dades en arxiu .dat per la posterior anàlisi
disp(velang)
save velocitatsangulars.dat velang -ascii
disp(moms)
save moments.dat moms -ascii
```

Figura B.13. Codi Matlab per la simulació d'una trajectòria circular

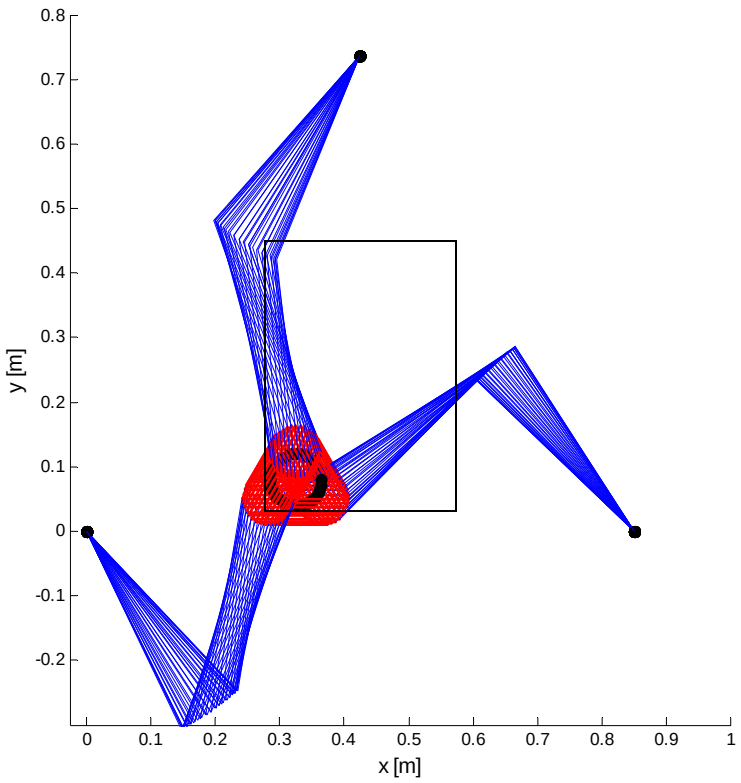
Per les proves es mantindrà un mòdul de la velocitat de l'element terminal de 400 mm/s per tal de competir amb les màquines de tall de gamma estàndard presents al mercat. Pel mateix motiu es fixa la força de tall en 5 N aplicada en la direcció del vector velocitat i sentit oposat. També cal a dir que es prescindirà de la rotació de la plataforma tal com s'ha acordat en anteriors apartats. Així doncs, únicament es variarà la posició del centre de la trajectòria i el radi d'aquesta i s'avaluaran les velocitats de rotació i els parells a les juntes actives.

- **Simulació 1: Trajectòries circulars de radi 40 mm**

Pel primer cas d'estudi es modifica lleugerament l'anterior codi per tal de repetir la trajectòria circular diverses vegades dins del material DIN A3. Això ens permetrà analitzar els resultats per diferents zones del material ja que, encara que es repeteixi la mateixa trajectòria, l'evolució de les velocitats i els parells variarà segons la zona del material on es realitzi el tall.

Es simula el tall de 12 trajectòries circulars de 40 mm de radi repartides dins l'espai del material DIN A3 i s'analitzen els resultats de la trajectòria que dóna valors més alts per les velocitats i els parells.

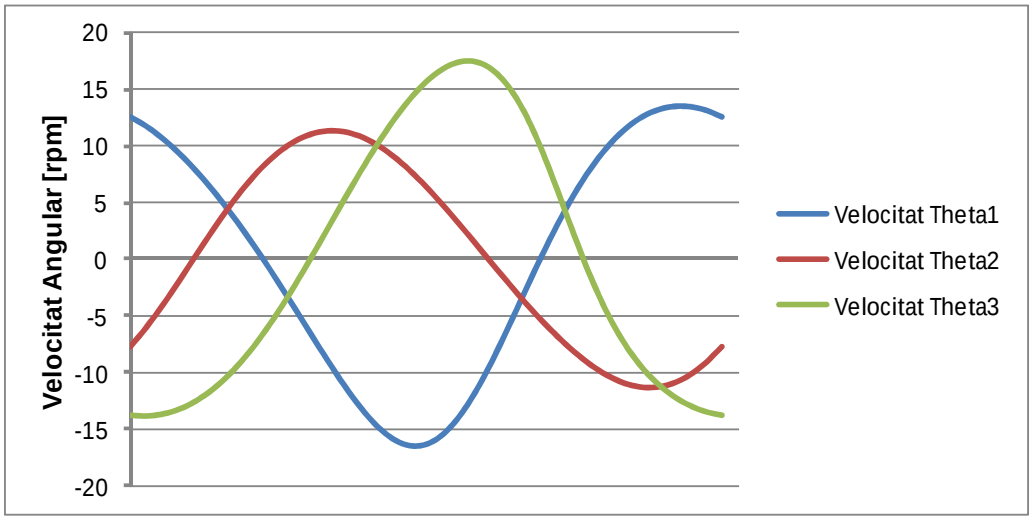
En aquesta simulació, la trajectòria que dóna pics majors per les velocitats i els parells es mostra a l'animació del *Gràfic B.1*.



Gràfic B.1. Animació de la trajectòria més desfavorable de la simulació 1

Seguidament s'exporten les dades de les velocitats angulars i dels parells a Excel per tal de representar-les gràficament i analitzar-les.

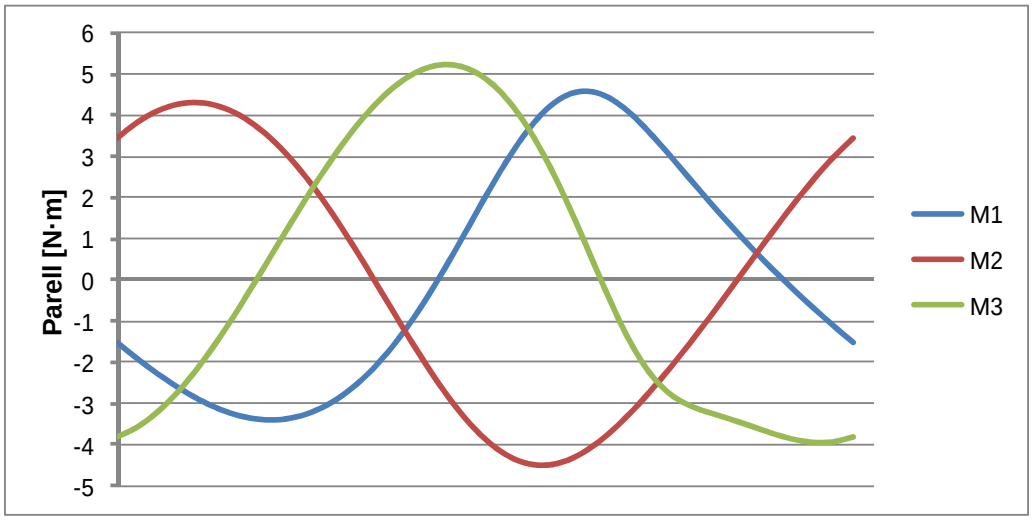
Els resultats per les velocitats angulars es presenten al *Gràfic B.2*.



Gràfic B.2. Evolució de les velocitats angulars a les juntes actives per la trajectòria més desfavorable per la simulació 1

Del darrer gràfic s'observa que en cap instant la velocitat angular a la que hauran de girar les juntes actives supera les 20 revolucions per minut.

A continuació s'analitza de la mateixa forma el parell requerit en els actuadors mitjançant el *Gràfic B.3*.



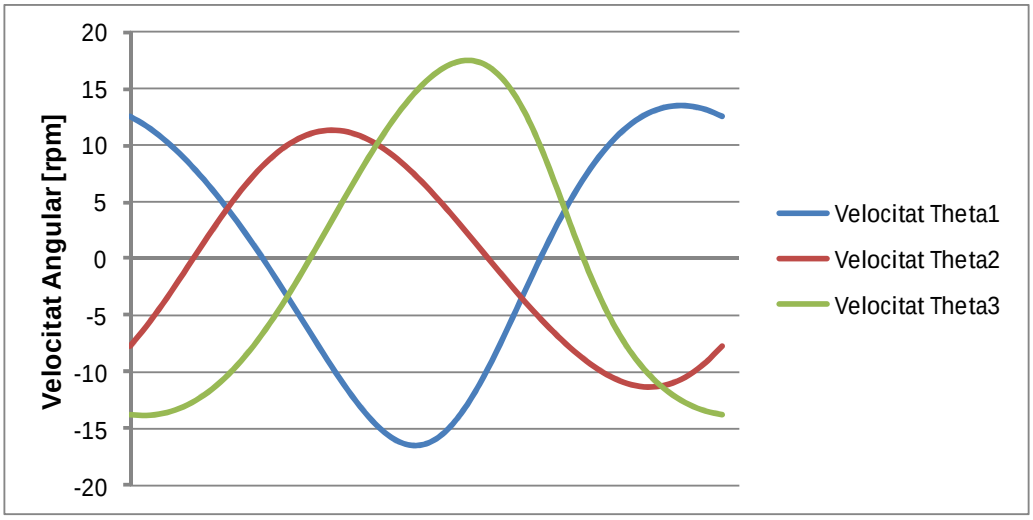
Gràfic B.3. Evolució del parell a les juntes actives per la trajectòria més desfavorable per la simulació 1

Observem a l'anterior gràfic que durant el traçat de la trajectòria no es requereix en cap instant un parell superior a 5 N·m en els actuadors 1 i 2, a diferència de la tercera junta activa que durant un petit període el parell excedeix lleugerament aquest valor.

- **Simulació 2: Trajectòries circulars de radi 35 mm**

Es repeteix l'anterior simulació però establint un radi per les trajectòries menor. Concretament es fixa un radi de 35 mm. Lògicament la trajectòria més desfavorable és la mateixa que per la simulació anterior.

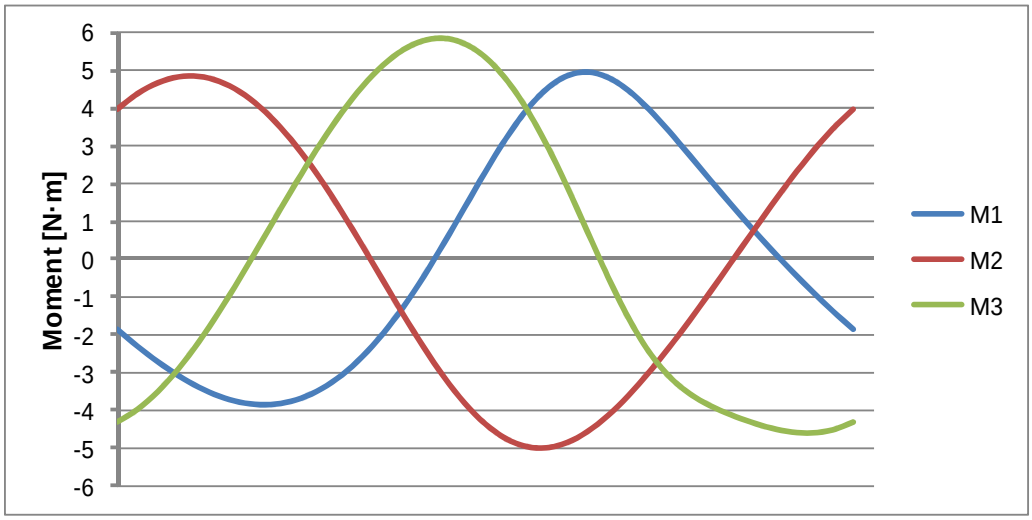
Els resultats per les velocitats angulars en aquesta simulació es presenten al *Gràfic B.4*.



Gràfic B.4. Evolució de les velocitats angulars a les juntes actives per la trajectòria més desfavorable de la simulació 2

S'observa a l'anterior gràfic que els canvis respecte a la primera simulació pel que fa a les velocitats angulars són menyspreables.

S'analitzen de forma anàloga els parells mitjançant el *Gràfic B.5*.



Gràfic B.5. Evolució del parell a les juntes actives per la trajectòria més desfavorable de la simulació 2

Pel que fa als parells es té que són més sensibles als canvis en el radi de les trajectòries. En aquest cas, el parell a la tercera junta activa pren valors molt propers als 6 N·m durant un curt període.

B.3.3 Valoració dels actuadors i condicions de treball

Els actuadors escollits de la sèrie Dynamixel model MX-64T compleixen pel que fa a màxima velocitat de rotació i parell donant lloc a unes forces i velocitats a l'element terminal que permeten competir amb les màquines convencionals presents al mercat.

El model en qüestió ofereix un parell màxim de 6 N·m i la velocitat màxima de rotació és de 117 rpm. Així doncs, considerant els resultats de les simulacions, els actuadors permetran a la màquina treballar sota les condicions descrites. Aquestes condicions suposen una velocitat de tall de 400 mm/s i una pressió de tall de 5 N.

No obstant, cal limitar els radis de curvatura de les trajectòries a 40 mm amb la finalitat de no treballar excessivament a prop del parell límit ja que, tal com s'observa en els resultats de la segona simulació, amb radis de 35 mm s'obtenen valors molt propers a 6 N·m. Així doncs, per trajectòries amb radis menors a 40 mm o altres trajectòries complexes que suposin un augment important de l'acceleració caldrà reduir la velocitat de treball.

Annex C Càlculs justificatius de l'electrònica

En aquest annex es presenten tots els càlculs realitzats per l'elecció dels diferents components de l'electrònica així com l'esquema electrònic global de la màquina.

C.1 Font d'alimentació dels servomotors

Pel dimensionament de la font d'alimentació dels servomotors cal considerar dos aspectes clau: la tensió de funcionament d'aquests i la intensitat quan el parell és màxim. De la documentació tècnica presentada a l'Annex E s'obté que aquests valors són de 12 V i 4.1 A respectivament.

Considerant que els motors treballen simultàniament i que en un instant determinat tots tres podrien estar subministrant el parell màxim, es té que la intensitat a tenir en compte pel dimensionament és de 12.3 A.

A partir de l'equació C.1 es pot trobar de forma immediata la potència que haurà de subministrar la font.

$$P = V \cdot I \qquad \text{(Eq. C.1)}$$

Per una tensió d'alimentació de 12 V i una intensitat de 12.3 A, corresponent als tres motors treballant simultàniament i donant el parell màxim, s'obté un potència de 147.6 W. Es pren un valor immediatament següent entre els més comuns i estàndards de manera que s'escollirà una font de 150 W.

Així doncs, les característiques bàsiques de la font a escollir són una potència nominal de 150 W i una tensió de sortida de 12 V.

C.2 Font d'alimentació del solenoide

S'escull la font d'alimentació de la mateixa manera que en l'apartat anterior. De la documentació tècnica de l'Annex E es té que la tensió de funcionament és de 24 V de corrent continua i que la intensitat és de 1.27 A.

Utilitzant l'equació C.1 i els valors darrerament esmentats es té una potència de 30.48 W. De forma anàloga a l'anterior apartat s'escull un valor per la potència nominal immediatament següent entre els estàndards i més comuns. Així doncs, s'escollirà una font de 35 W de potència.

Les característiques bàsiques de la font per alimentar el solenoide són una potència nominal de 35 W i una tensió de sortida de 24 V.

C.3 Resistència limitadora de corrent per l'optoacoblador

Es requereix d'una resistència que limiti el corrent que travessarà el LED de l'optoacoblador. Amb aquesta finalitat es disposarà una resistència entre el pin de la placa Arduino que emet la senyal de control i l'ànode del LED.

Segons la fitxa tècnica del TLP250, un valor recomanat per aquest corrent és de 10 mA i el màxim és 20 mA. Tenim que la placa microcontroladora té una amplitud pel senyal de 5 V i que la tensió llindar del LED és de 1.8 V. Aplicant la llei d'Ohm (Eq. C.2) es troba de forma immediata el valor de la resistència per tal de no malmetre el LED.

$$R = \frac{V - V_{LED}}{I} \qquad \text{(Eq. C.2)}$$

Considerant que V és l'amplitud del senyal de 5 V, V_{LED} és la tensió llindar del LED amb un valor de 1.8 V i que la intensitat I serà la recomanada pel fabricant amb un valor de 10 mA es té que la resistència hauria de ser de 320 ohms. Es pren un valor immediatament següent entre els estandarditzats de manera que s'escull una resistència de 330 ohms.

C.4 Fusible de protecció

Per la selecció del fusible cal tenir en consideració les potències de les fonts d'alimentació i la tensió de la xarxa. La font per l'alimentació dels servomotors és de 150 W mentre que la font per alimentar el solenoide és de 35 W. Tenim doncs que la potència que caldrà considerar pel dimensionament del fusible és la suma d'aquestes dues amb un valor de 185 W.

A partir de l'equació C.3 es pot trobar de forma immediata el valor de la intensitat que ens permetrà seleccionar el fusible.

$$I_{fusible} = \frac{P}{V} \qquad \text{(Eq. C.3)}$$

En aquest cas V serà la tensió de la xarxa de 230 V i P la suma de potències de les dues fonts. Es troba un valor per la intensitat de 0.8 A. S'escollirà un fusible amb un valor de corrent nominal de 1 A seleccionat entre els valors estandarditzats.

Annex D Programació de la màquina

En aquest annex es presenta el codi complet per controlar la màquina de tall. Aquest es mostra a la *Figura D.1*.

```
//_________________________CARREGAR LLIBRERIES_________________________
#include <Dynamixel_Serial.h> //Llibreria per controlar els servomotors

//_______________DECLARACIÓ I INICIALITZACIÓ DE VARIABLES_______________
int PinSolenoide = 3;   //Fixem el pin digital 3 pel control del solenoide
int n; int m; int i; int j=0; int k=0;  //Variables auxiliars
int NumTrajectories=6;  //Especificar manualment el núm de trajectòries
int NumPuntsTrajectories=16;  //Especificar manualment el núm de punts
int TrajectoriesRealitzades = 0; //Contador de trajectòries realitzades a 0
float PuntsTrajectories[12][16];  //Matriu amb les coordenades x i y de
cada punt de la trajectòria NOTA: Cal definir les dimensions manualment
float VelocitatsTrajectories[12][16]; //Matriu de velocitat de tall en x i
y per cada punt NOTA: Cal definir les dimensions manualment

//_____________________________DIMENSIONS_____________________________
float x_A1=0;     float y_A1 = 0;     float a1 = 0.340; float b1 = 0.340;
float x_A2=0.850; float y_A2 = 0;     float a2 = 0.340; float b2 = 0.340;
float x_A3=0.425; float y_A3 = 0.736; float a3 = 0.340; float b3 = 0.340;
float ex=42.5/1000; float ey=30/1000;   float h=85/1000;
float gamma=atan(ey/ex);
float phi=0; float v_phi=0; //Orientació i velocitat angular plataforma

//_____________________BUCLE DE CONFIGURACIÓ_____________________
void setup() {
Dynamixel.setBaudRate(1000000, 2);  //Comunicació serial per comunicar-nos
amb els servos (baudRate: 10000000 bps) (Pin per al control: 2)
delay(1000);         //Espera per a que s'estableixi la comunicació
pinMode(PinSolenoide, OUTPUT);
}

void loop() {
  /*_____________________PLANIFICACIÓ TRAJECTÒRIES_____________________
 (6 trajectòries circulars de radi 50 mm repartides en l'espai DIN A3)*/
for (n=0; n < 3; n++)
{
  for (m=0; m < 2; m++)
  {
      for (i=0; i<360; i=i+24)
      {
        float ox = 0.355 + 0.150*m;
        float oy = 0.370 - 0.125*n;
        float r = 50/1000;

        PuntsTrajectories[j][k] = ox + r*cos(i*71/4068);
        PuntsTrajectories[j+1][k] = oy + r*sin(i*71/4068);
        VelocitatsTrajectories[j][k] = -0.4*sin(i*71/4068);
        VelocitatsTrajectories[j+1][k] = 0.4*cos(i*71/4068);

        k=k+1;
      }
      j = j+2;
  }
}
```

```
//_____________________PROGRAMA PRINCIPAL MÀQUINA DE TALL_____________________
j=0;
digitalWrite(PinSolenoide, HIGH); //Quan s'engega la màquina l'eina puja
abans de desplaçar-se cap al primer punt

while(TrajectoriesRealitzades < NumTrajectories){

    for (i=0;i<NumPuntsTrajectories;i++) {


//Executa la cinemàtica inversa per obtenir l'angle theta en radiants
float theta1rad=cinematicaInversa1(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i]);
float theta2rad=cinematicaInversa2(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i]);
float theta3rad=cinematicaInversa3(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i]);

//Executa la cinemàtica per obtenir les velocitats angulars vtheta en
radiants/segon i en valor absolut
float vtheta1rads = abs(cinematicaVelocitat1(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i],VelocitatsTrajectories[j][i],
VelocitatsTrajectories[j+1][i]));
float vtheta2rads = abs(cinematicaVelocitat2(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i],VelocitatsTrajectories[j][i],
VelocitatsTrajectories[j+1][i]));
float vtheta3rads = abs(cinematicaVelocitat3(PuntsTrajectories[j][i],
PuntsTrajectories[j+1][i],VelocitatsTrajectories[j][i],
VelocitatsTrajectories[j+1][i]));

//Adequem l'angle theta (1,2 i 3) al rang de valors del servomotor (0 a
4095) i arrodonim el valor obtingut
int theta1dec=round(mapPosition(theta1rad));
int theta2dec=round(mapPosition(theta2rad));
int theta3dec=round(mapPosition(theta3rad));

//Adequem la velocitat angular vtheta (1,2 i 3) al rang de valors del
servomotor (0 a 1023) i arrodonim el valor obtingut
int vtheta1dec=round(mapVelocity(vtheta1rads));
int vtheta2dec=round(mapVelocity(vtheta2rads));
int vtheta3dec=round(mapVelocity(vtheta3rads));

//Passem el valor decimal a hexadecimal per escriure'l al servomotor
String theta1hex=decToHex(theta1dec);
String theta2hex=decToHex(theta2dec);
String theta3hex=decToHex(theta3dec);
String vtheta1hex=decToHex(vtheta1dec);
String vtheta2hex=decToHex(vtheta2dec);
String vtheta3hex=decToHex(vtheta3dec);

//Llegim la posició actual dels servomotors
    int posicio1 = Dynamixel.readPosition(1);
    int posicio2 = Dynamixel.readPosition(2);
    int posicio3 = Dynamixel.readPosition(3);

while((posicio1!=theta1hex.toInt())&&(posicio2!=theta2hex.toInt())&&
(posicio3!=theta3hex.toInt()))
      {
      Dynamixel.servo(0x01,theta1hex.toInt(),vtheta1hex.toInt());
      Dynamixel.servo(0x02,theta1hex.toInt(),vtheta1hex.toInt());
      Dynamixel.servo(0x03,theta1hex.toInt(),vtheta1hex.toInt());
```

```
      int posicio1 = Dynamixel.readPosition(1);
      int posicio2 = Dynamixel.readPosition(2);
      int posicio3 = Dynamixel.readPosition(3);
      }

    if (i=0) { digitalWrite(PinSolenoide, LOW); delay(1000);}
    //Si estem al primer punt de la trajectòria l'eina en posició de tall
  }
    j=j+2;
    TrajectoriesRealitzades=TrajectoriesRealitzades+1;
    digitalWrite(PinSolenoide, HIGH); //Fi trajectòria, aixequem l'eina
    delay(1000); //Espera per a que l'eina estigui a dalt de tot
}
}

//FUNCIÓ PER RESOLDRE LA CINEMÀTICA INVERSA PER LA CADENA 1
float cinematicaInversa1(float x, float y){
    float x_C1 = x + ex*(sin(phi)*tan(gamma)-cos(phi));
    float y_C1 = y - ex*(cos(phi)*tan(gamma)+sin(phi));
    float beta1 = atan2( y_C1-y_A1, x_C1-x_A1);
    float psi1 = ( sq(a1) - sq(b1) + sq(x_C1-x_A1) + sq(y_C1-y_A1) ) /
        (2*a1*sqrt(sq(x_C1-x_A1) + sq(y_C1-y_A1)));
    float theta1rad = beta1 - psi1;
    return theta1rad;
}

//FUNCIÓ PER RESOLDRE LA CINEMÀTICA INVERSA PER LA CADENA 2
float cinematicaInversa2(float x, float y){
    float x_C2 = x + ex*(sin(phi)*tan(gamma)+cos(phi));
    float y_C2 = y - ex*(cos(phi)*tan(gamma)-sin(phi));
    float beta2 = atan2( y_C2-y_A2, x_C2-x_A2);
    float psi2 = ( sq(a2) - sq(b2) + sq(x_C2-x_A2) + sq(y_C2-y_A2) ) /
        (2*a2*sqrt(sq(x_C2-x_A2) + sq(y_C2-y_A2)));
    float theta2rad = beta2 - psi2;
    return theta2rad;
}

//FUNCIÓ PER RESOLDRE LA CINEMÀTICA INVERSA PER LA CADENA 3
float cinematicaInversa3(float x, float y){
    float x_C3 = x - ((sqrt(3/4))*h - ey)*sin(phi);
    float y_C3 = y + ((sqrt(3/4))*h - ey)*cos(phi);
    float beta3 = atan2( y_C3-y_A3, x_C3-x_A3);
    float psi3 = ( sq(a3) - sq(b3) + sq(x_C3-x_A3) + sq(y_C3-y_A3) ) /
        (2*a3*sqrt(sq(x_C3-x_A3) + sq(y_C3-y_A3)));
    float theta3rad = beta3 - psi3;
    return theta3rad;
}

//FUNCIÓ PER LA CINEMÀTICA I OBTENIR LA VELOCITAT ANGULAR DE LA CADENA 1
float cinematicaVelocitat1(float x, float y, float vx, float vy){
    float x_C1 = x + ex*(sin(phi)*tan(gamma)-cos(phi));
    float y_C1 = y - ex*(cos(phi)*tan(gamma)+sin(phi));
    float beta1 = atan2( y_C1-y_A1, x_C1-x_A1);
    float psi1 = ( sq(a1) - sq(b1) + sq(x_C1-x_A1) + sq(y_C1-y_A1) ) /
        (2*a1*sqrt(sq(x_C1-x_A1) + sq(y_C1-y_A1)));
    float theta1rad = beta1 - psi1;
    float x_B1 = x_A1 + a1*cos(theta1rad);
    float y_B1 = y_A1 + a1*sin(theta1rad);
    float vx_C1 = vx + v_phi*(y-y_C1);
```

```
    float vy_C1 = vy + v_phi*(x_C1-x);
    float vtheta1rads = (vx_C1 * (x_B1-x_C1) + vy_C1*(y_B1-y_C1)) / ((x_B1-
        x_A1)*(y_B1-y_C1) - (x_B1-x_C1)*(y_B1-y_A1));
    return vtheta1rads;
}

// FUNCIÓ PER LA CINEMÀTICA I OBTENIR LA VELOCITAT ANGULAR DE LA CADENA 2
float cinematicaVelocitat2(float x, float y, float vx, float vy){
    float x_C2 = x + ex*(sin(phi)*tan(gamma)+cos(phi));
    float y_C2 = y - ex*(cos(phi)*tan(gamma)-sin(phi));
    float beta2 = atan2( y_C2-y_A2, x_C2-x_A2);
    float psi2 = ( sq(a2) - sq(b2) + sq(x_C2-x_A2) + sq(y_C2-y_A2) ) /
        (2*a2*sqrt(sq(x_C2-x_A2) + sq(y_C2-y_A2)));
    float theta2rad = beta2 - psi2;
    float x_B2 = x_A2 + a2*cos(theta2rad);
    float y_B2 = y_A2 + a2*sin(theta2rad);
    float vx_C2 = vx + v_phi*(y-y_C2);
    float vy_C2 = vy + v_phi*(x_C2-x);
    float vtheta2rads = (vx_C2 * (x_B2-x_C2) + vy_C2*(y_B2-y_C2)) / ((x_B2-
        x_A2)*(y_B2-y_C2) - (x_B2-x_C2)*(y_B2-y_A2));
    return vtheta2rads;
}

// FUNCIÓ PER LA CINEMÀTICA I OBTENIR LA VELOCITAT ANGULAR DE LA CADENA 3
float cinematicaVelocitat3(float x, float y, float vx, float vy){
    float x_C3 = x - ((sqrt(3/4))*h - ey)*sin(phi);
    float y_C3 = y + ((sqrt(3/4))*h - ey)*cos(phi);
    float beta3 = atan2( y_C3-y_A3, x_C3-x_A3);
    float psi3 = ( sq(a3) - sq(b3) + sq(x_C3-x_A3) + sq(y_C3-y_A3) ) /
        (2*a3*sqrt(sq(x_C3-x_A3) + sq(y_C3-y_A3)));
    float theta3rad = beta3 - psi3;
    float x_B3 = x_A3 + a3*cos(theta3rad);
    float y_B3 = y_A3 + a3*sin(theta3rad);
    float vx_C3 = vx + v_phi*(y-y_C3);
    float vy_C3 = vy + v_phi*(x_C3-x);
    float vtheta3rads = (vx_C3 * (x_B3-x_C3) + vy_C3*(y_B3-y_C3)) / ((x_B3-
        x_A3)*(y_B3-y_C3) - (x_B3-x_C3)*(y_B3-y_A3));
    return vtheta3rads;
}

//FUNCIÓ PER ADAPTAR VALOR DE L'ANGLE REAL AL RANG DE SERVOMOTOR (0-4095)
float mapPosition(float AngleReal) {
  int AngleMinReal=-90*(71/4068);
  int AngleMaxReal=270*(71/4068);
  int AngleMinServo=0;
  int AngleMaxServo=4095;
  return (float) (AngleReal-AngleMinReal)*(AngleMaxServo-AngleMinServo) /
(float) (AngleMaxReal-AngleMinReal) + AngleMinServo;
}

//FUNCIÓ PER ADAPTAR VALOR VELOCITAT REAL AL RANG DEL SERVOMOTOR (0 a 1023)
float mapVelocity(float VelocitatReal) {
  int VelocitatMinReal=0*PI/30;
  int VelocitatMaxReal=117.07*PI/30;
  int VelocitatMinServo=0;
  int VelocitatMaxServo=1023;
  return (float) (VelocitatReal-VelocitatMinReal)*(VelocitatMaxServo-
VelocitatMinServo) / (float) (VelocitatMaxReal-VelocitatMinReal) +
VelocitatMinServo;
}
```

```
//FUNCIÓ PER LA CONVERSIÓ DE DECIMAL A HEXADECIMAL
String decToHex(byte decValue) {
  String hexString = String(decValue, HEX);
  return hexString;
}
```

Figura D.1. Codi complet pel control de la màquina de tall

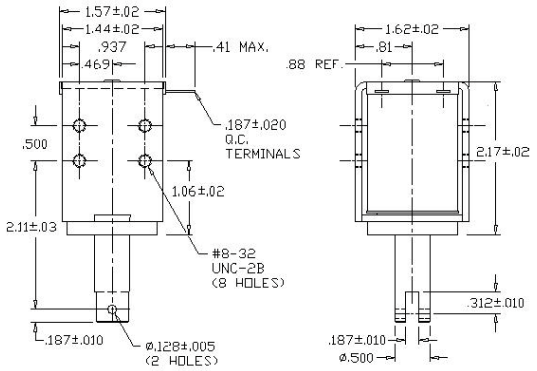
Annex E Documentació tècnica

E.1 Documents tècnics del conjunt per al moviment en z

GUARDIAN
Electric Manufacturing

ISO 9001 / AS9100 Certified Company
Woodstock, IL 60098 Ph. (815)334-3600 Fax (815)337-0377
Or visit us at our website www.guardian-electric.com

Model 4HD
DC Frame Solenoid



Solenoid shown energized and fully seated.
Spring kits are available (consult factory).

Total Weight: 14.1 oz.
Plunger Weight: 2.4 oz.

Model No.	Part No.	Duty Cycle	Voltage	Resistance (Ω)	Power (W)	Current
4HD-I-12D	A420-065433-00	Intermittent	12VDC	4.68	32.3	2.6 A
4HD-C-12D	A420-065432-00	Continuous	12VDC	14.8	10.2	811 mA
4HD-I-24D	A420-065435-00	Intermittent	24VDC	18.9	32	1.27 A
4HD-C-24D	A420-065434-00	Continuous	24VDC	57.5	10.5	417 mA

When ordering, please refer to Part No., as listed above.
Consult factory for custom configurations.

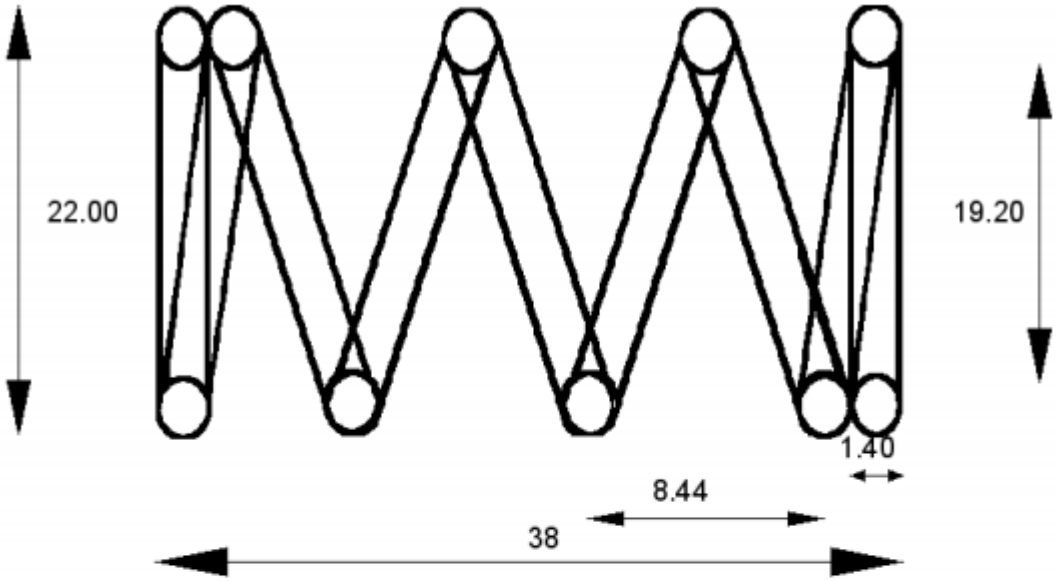
	Pull Force (oz.)								Holding Force (oz.)
Stroke (in.)	0.050	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.750	1.000	-
Continuous Duty	125	92	50	33	20	10	8	5	204
Intermittent Duty	165	130	85	60	40	30	22	20	235

UL Recognition
Recognized under the
Component Recognition Program of
Underwriters Laboratories, Inc.

Continuous Duty
100% 'On' Time

Intermittent Duty
25% 'On' Time, (100 Seconds 'On' Max.
Followed By 300 Seconds 'Off' Min.)

RoHS
These parts comply with ***RoHS*** Directive 2002/95/EC



Código de muelle: 205179	
Material: cp: ALAMBRE DE ACERO EN 10270-1 SH-PH (DIN 17223/84-C)	
Largo total:	38
Hilo:	1.40
Espiras útiles:	4.50
Diámetro exterior:	22.00
Diámetro interior:	19.20
Paso:	8.44
K (DaN/mm):	0.1038

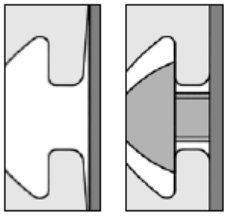
***medidas en mm**

E.2 Documents tècnics del conjunt per al moviment en x i y

item

DATOS TÉCNICOS

Datos técnicos – Perfiles



Perfiles extruídos
Designación: Al Mg Si 0.5 F 25
Referencia del material: 3.3206.72
Tratamiento: envejecido artificialmente

Características mecánicas
(valores válidos en el sentido de extrusión)

Resistencia a la tracción Rm	mín. 245 N/mm²
Límite de elasticidad Rp0.2	mín. 195 N/mm²
Densidad	2,7 kg/dm³
Alargamiento hasta rotura A_5	mín.10 %
Alargamiento hasta rotura A_{10}	mín. 8 %
Coeficiente de dilatación lineal	$23{,}6 \times 10^{-6}$ 1/K
Módulo de elasticidad E	aprox. 70 000 N/mm²
Módulo de compresión G	aprox. 25 000 N/mm²
Dureza	aprox. 75 HB - 2,5/187,5

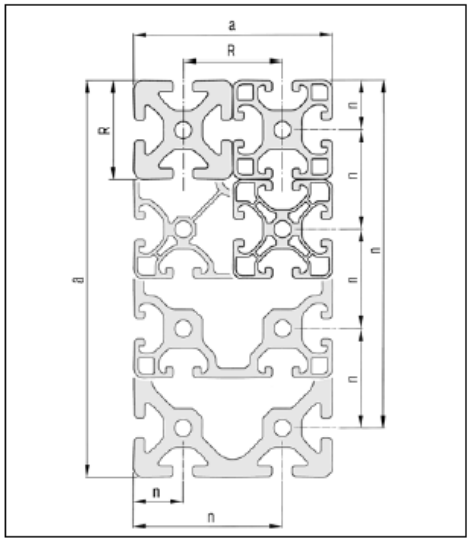
Tolerancias
Las deformaciones tales como tolerancia de alineación y planitud cumplen con la norma DIN EN 12020 parte 2.

Los perfiles no cortados a medida pueden ser hasta 100 mm más largos que lo indicado, debido a los métodos de fabricación.

Superficie
Los perfiles de aluminio son anodizados en color natural (CO) o negro (C35) y por ello resisten permanentemente la corrosión y el rayado. La superficie tiene un acabado mate (E6), y está anodizada y comprimida. El grosor mínimo de la capa es de 10µm y su dureza es de 250~350 HV. Esta superficie con anodizado duro permite hacer los cortes prácticamente sin rebabas, de forma que no es necesario desbarbar.

Todos los perfiles H (pesados), perfiles L (Light) y perfiles E (Economy) de todas las series presentan aristas de apoyo en el exterior de las caras del perfil y ranuras con aletas inclinadas. Las aristas de apoyo definidas en el exterior de las caras del perfil aseguran una unión firme y robusta con todos los demás componentes. La pre-tensión de las aletas de la ranura en la zona elástica del material se transmite a los tornillos, protegiendo la unión ante vibraciones.

Tolerancia de las dimensiones externas y posición de la ranura



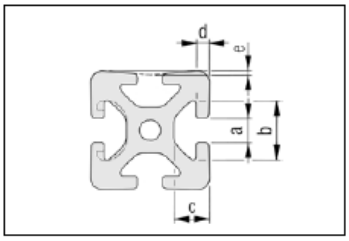
Dimensión modular R [mm]				
5	6	8	10	12
20	30	40	50	60

Longitud del canto del perfil a [mm]		Tolerancias de la dimensión a y la posición de la ranura n ± [mm]
desde	hasta	
0	10	0,10
10	20	0,15
20	40	0,20
40	60	0,30
60	80	0,40
80	100	0,45
100	120	0,50
120	160	0,60
160	240	0,80
240	320	1,50

item

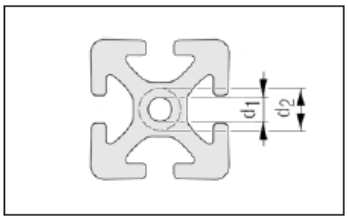
DATOS TÉCNICOS

Dimensiones de la ranura

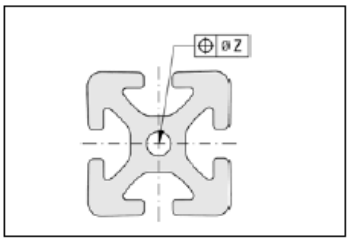


	5	6	8	10	12
a	5,0 $^{+0,3}$	6,2 $^{+0,3}$	8,0 $^{+0,4}$	10,0 $^{+0,4}$	12,0 $^{+0,4}$
b	11,5 $^{+0,3}$	16,3 $^{+0,3}$	20,0 $^{+0,4}$	25,0 $^{+0,4}$	30,0 $^{+0,3}$
c	6,35 $^{\pm 0,15}$	9,75 $^{+0,2}$	12,25 $^{+0,3}$	15,5 $^{+0,3}$	18,3 $^{+0,3}$
d	1,8 $^{\pm 0,1}$	3,0 $_{-0,25}$	4,5 $^{+0,3}$	5,3 $^{+0,3}$	6,6 $^{+0,3}$
e	0,15 $^{\pm 0,1}$	0,15 $^{\pm 0,1}$	0,2 $^{\pm 0,1}$	0,25 $^{\pm 0,1}$	0,3 $^{\pm 0,1}$

Núcleo



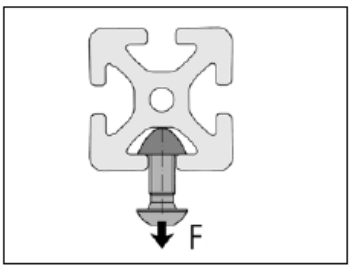
	5	6	8	10	12
Taladro d_1	Ø 4,3$^{\pm 0,1}$ mm para M5	Ø 5$^{+0,2}$ mm para M6	Ø 6,8$_{-0,2}$ mm para M8	Ø 8,5$^{+0,1}_{-0,2}$ mm para M10	Ø 10,2$_{-0,2}$ mm para M12
Retaladrable hasta máx. d_2	Ø 6 mm o M6	Ø 8 mm o M8	Ø 13 mm o M12 (no perfiles E)	Ø 16 mm o M16 (no perfiles E)	Ø 20 mm o M20



Perfiles con ranuras abiertas		Ranuras cerradas	
Número de agujeros	z [mm]	Número de agujeros	z [mm]
1	0,4	1	0,6
2 a 4	0,6	> 1	0,8
> 4	0,8		

La tolerancia de la posición del taladro depende del número de agujeros y del contorno del perfil.

Carga de tracción



Forma de la ranura	5	6	8	10	12
normal	500 N	1.750 N	5.000 N	7.000 N	10.000 N
ligero		500 N	2.500 N		5.000 N
E			1.750 N	3.500 N	

Fuerzas de tracción F admisibles en las aletas de la ranura. Estas cargas nominales incluyen factores de seguridad (S > 2) a la deformación plástica.

MX-64T / MX-64R

Parts Photo

[MX-64T] [MX-64R]

※ Control Table's Compliance replaced by PID.
※ The control table's order for PID has changed to DIP from this version onwards. Please make reference of this change.
※ Although the MX-64T (TTL) and MX-64R (RS-485) differ in communications protocols both have the same features and perform equally. (TTL uses 3-pin connectors while RS-485 uses 4)

H/W Specification

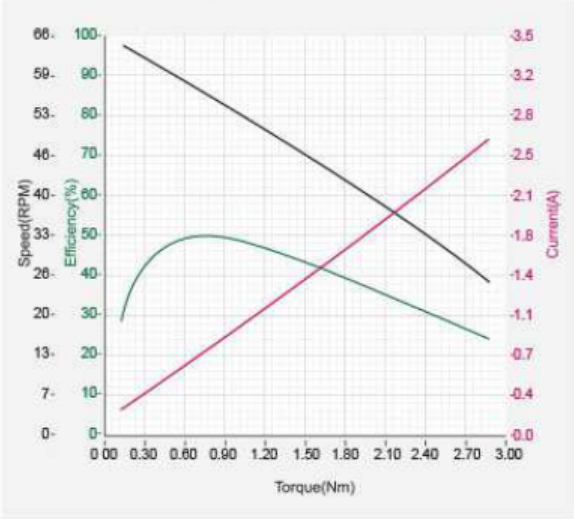
- MCU : ST CORTEX-M3 (STM32F103C8 @ 72MHZ,32BIT)
- POSITION SENSOR : Contactless absolute encoder (12BIT,360 DEGREE)
- MOTOR : Maxon
- BAUD RATE : 8000 bps ~ 4.5 Mbps
- CONTROL ALGORITHM : PID CONTROL
- Resolution : 0.088°
- Running Degree
  - 0° ~ 360°
  - Endless Turn
- Weight : 126g
- Dimension : 40.2mm x 61.1mm x 41mm
- Gear Reduction Ratio : 200 : 1
- Stall Torque
  - 5.5N.m (at 11.1V, 3.9A),
  - 6.0N.m (at 12V, 4.1A)
  - 7.3N.m (at 14.8V, 5.2A)
- No load speed
  - 58rpm (at 11.1V)
  - 63rpm (at 12V)
  - 78rpm (at 14.8V)
- Running Temperature : -5℃ ~ +80℃
- Voltage : 10 ~ 14.8V (Recommended Voltage 12V)
- Command Signal : Digital Packet
- Protocol Type
  - MX-64T (Half duplex Asynchronous Serial Communication (8bit,1stop, No Parity))
  - MX-64R (RS485 Asynchronous Serial Communication (8bit,1stop, No Parity))

- Link (Physical)
  - MX-64T (TTL Level Multi Drop Bus)
  - MX-64R (RS485 Multi Drop Bus)
- ID : 254 ID (0~253)
- Feedback : Position, Temperature, Load, Input Voltage, etc.
- Material : Full Metal Gear, Engineering Plastic Body
- Standby current : 100 mA

Data

	Unit	Data
Weight	g	135
Dimension	mm	40.2 x 61.1 x 41
Gear Ratio	type/material	200:1 (Spur/Metal)
Network	-	TTL / RS-485
Position Sensor (resolution)	-	Contactless Absolute Encoder (360˚/ 4096)
Motor	-	Maxon Motor
Operation Voltage	V	10~14.8
Stall Torque	N.m	6.0 at 12V
Stall Current	A	4.1 at 12V
No Load Speed	RPM	63 at 12V

Performance Graph



E.3 Documents tècnics de l'electrònica

Arduino Uno SMD Rev3

The Arduino Uno SMD R3 is a microcontroller board based on the ATmega328 (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip.

Additional features coming with the R3 version are:

- ATmega16U2 instead 8U2 as USB-to-Serial converter.
- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins for TWI communication placed near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board and the second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- stronger RESET circuit.

"Uno" means "One" in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see theindex of Arduino boards.

Technical Specifications

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Supply Voltage (recommended)	7-12V
Maximum supply voltage (not recommended)	20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

If you want to give a closer look to this board we advice you to visit the official Arduino UNO page in the Hardware Section.

150W Single Output Switching Power Supply

RS-150 series

■ Features :

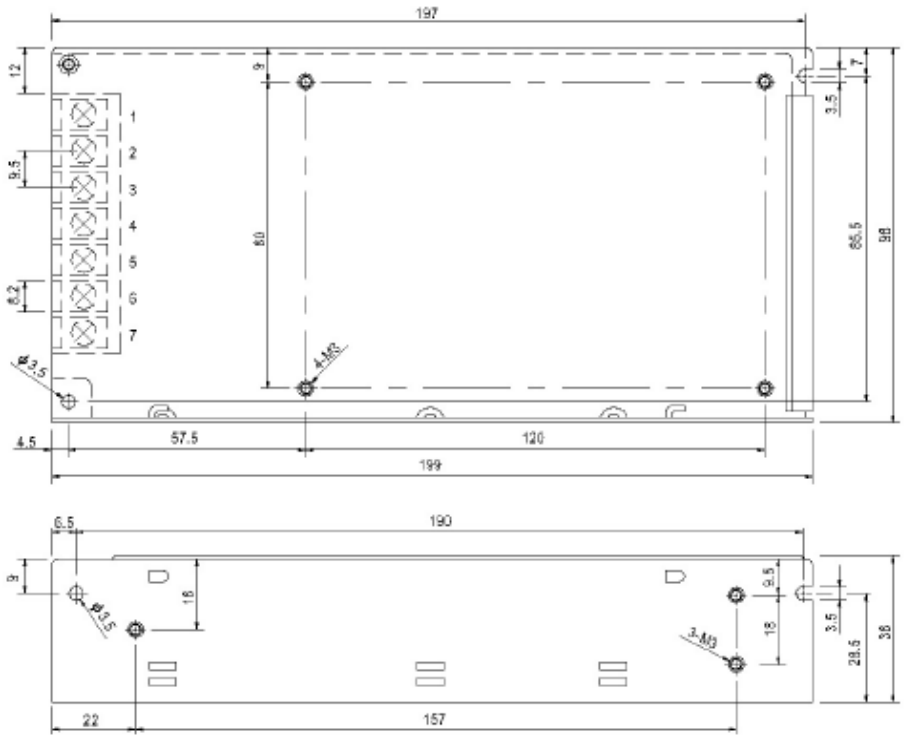
- Protections:Short circuit/Over load/Over voltage
- Cooling by free air convection
- LED indicator for power on
- 100% full load burn-in test
- All using 105℃ long life electrolytic capacitors
- Withstand 300VAC surge input for 5 second
- High operating temperature up to 70℃
- Withstand 5G vibration test
- High efficiency, long life and high reliability
- 3 years warranty

SPECIFICATION

MODEL		644-7045	644-7023	621-0663		621-0685	644-7051
OUTPUT	DC VOLTAGE	3.3V	5V	12V	15V	24V	48V
	RATED CURRENT	30A	26A	12.5A	10A	6.5A	3.3A
	CURRENT RANGE	0 ~ 30A	0 ~ 26A	0 ~ 12.5A	0 ~ 10A	0 ~ 6.5A	0 ~ 3.3A
	RATED POWER	99W	130W	150W	150W	156W	158.4W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	80mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	3.2V ~ 3.5V	4.75 ~ 5.5V	11.4 ~ 13.2V	14.25 ~ 16.5V	22.8 ~ 26.4V	45.6 ~ 52.8V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±3.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION Note.4	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION Note.5	±2.0%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	800ms, 20ms/230VAC 1200ms, 30ms/115VAC at full load					
	HOLD TIME (Typ.)	28ms/230VAC 20ms/115VAC at full load					
INPUT	VOLTAGE RANGE	88 ~ 132VAC / 176 ~ 264VAC selected by switch 248 ~ 373VDC(Withstand 300VAC surge for 5sec. Without damage)					
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	EFFICIENCY(Typ.)	74%	78%	83%	84%	86%	87%
	AC CURRENT (Typ.)	3A/115VAC 2A/230VAC					
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 40A/230VAC					
	LEAKAGE CURRENT	<2mA / 240VAC					
PROTECTION	OVER LOAD	110 ~ 150% rated output power					
		Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed					
	OVER VOLTAGE	3.8 ~ 4.45V	5.75 ~ 6.75V	13.8 ~ 16.2V	17.25 ~ 20.25V	27.6 ~ 32.4V	55.2 ~ 64.8V
		Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed					
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-25 ~ +70℃ (Refer to output load derating curve)					
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85℃, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/℃ (0 ~ 50℃)					
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 5G 10min./1cycle, period for 60min. each along X, Y, Z axes					
SAFETY & EMC (Note 6)	SAFETY STANDARDS	UL60950-1, TUV EN60950-1 Approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms/500VDC					
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B					
	HARMONIC CURRENT	Compliance to EN61000-3-2,-3					
	EMS IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11; ENV50204, EN61000-6-2 (EN50082-2) heavy industry level, criteria A					
OTHERS	MTBF	244KHrs min. MIL-HDBK-217F (25℃)					
	DIMENSION	199*98*38mm (L*W*H)					
	PACKING	0.7Kg; 20pcs/15Kg/0.8CUFT					
NOTE	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25℃ of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. Line regulation is measured from low line to high line at rated load. 5. Load regulation is measured from 0% to 100% rated load. 6. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. 7. Length of set up time is measured at cold first start. Turning ON/OFF the power supply very quickly may lead to increase of the set up time.						

■ Mechanical Specification

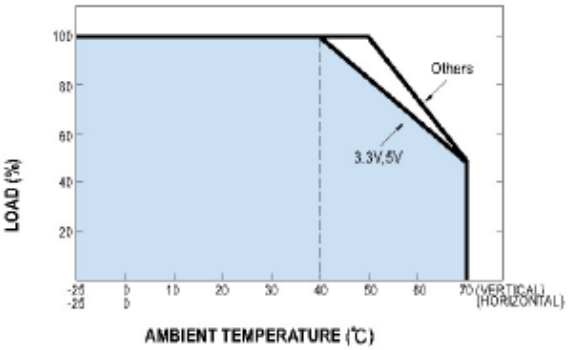
Case No. 902A Unit:mm



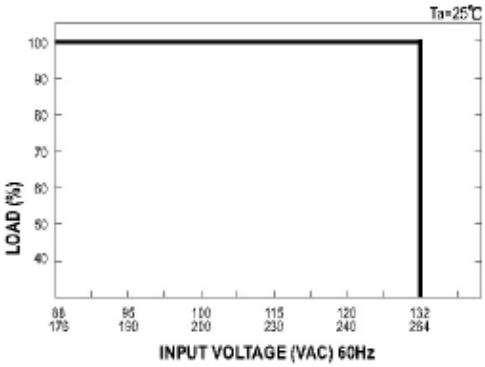
Terminal Pin. No Assignment

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	AC/L	4,5	DC OUTPUT -V
2	AC/N	6,7	DC OUTPUT +V
3	FG ⏚		

■ Output Derating



■ Static Characteristics



MOTOROLA

SN54/74LS240
SN54/74LS241
SN54/74LS244

OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS

The SN54/74LS240, 241 and 244 are Octal Buffers and Line Drivers designed to be employed as memory address drivers, clock drivers and bus-oriented transmitters/receivers which provide improved PC board density.

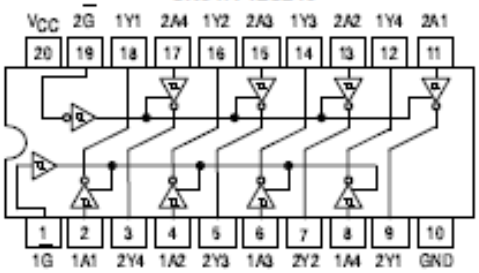
- Hysteresis at Inputs to Improve Noise Margins
- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- Input Clamp Diodes Limit High-Speed Termination Effects

OCTAL BUFFER/LINE DRIVER WITH 3-STATE OUTPUTS

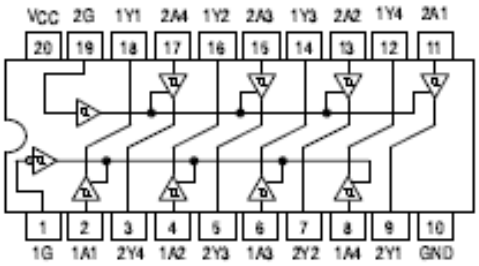
LOW POWER SCHOTTKY

LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)

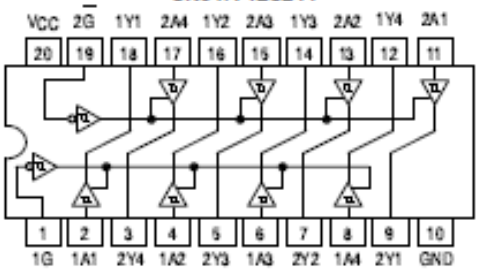
SN54/74LS240

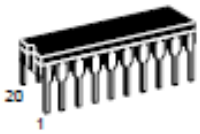


SN54/74LS241

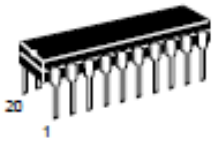


SN54/74LS244





J SUFFIX
CERAMIC
CASE 732-03



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 738-03

DW SUFFIX
SOIC
CASE 751D-03

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXXJ	Ceramic
SN74LSXXXN	Plastic
SN74LSXXXDW	SOIC

SN54/74LS240 • SN54/74LS241 • SN54/74LS244

TRUTH TABLES

SN54/74LS240

INPUTS		OUTPUT
$\overline{1G}$, $\overline{2G}$	D	
L	L	H
L	H	L
H	X	(Z)

SN54/74LS244

INPUTS		OUTPUT
$\overline{1G}$, $\overline{2G}$	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

SN54/74LS241

INPUTS		OUTPUT	INPUTS		OUTPUT
1G	D		2G	D	
L	L	L	H	L	L
L	H	H	H	H	H
H	X	(Z)	L	X	(Z)

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Immaterial
Z = HIGH Impedance

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T_A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	−55 0	25 25	125 70	°C
I_{OH}	Output Current — High	54, 74			−3.0	mA
		54 74			−12 −15	mA
I_{OL}	Output Current — Low	54 74			12 24	mA

SN54/74LS240 • SN54/74LS241 • SN54/74LS244

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits Min	Limits Typ	Limits Max	Unit	Test Conditions	
V_{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V_{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
$V_{T+}-V_{T-}$	Hysteresis		0.2	0.4		V	V_{CC} = MIN	
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage			−0.65	−1.5	V	V_{CC} = MIN, I_{IN} = −18 mA	
V_{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.4	3.4		V	V_{CC} = MIN, I_{OH} = −3.0 mA	
		54, 74	2.0			V	V_{CC} = MIN, I_{OH} = MAX	
V_{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I_{OL} = 12 mA	V_{CC} = V_{CC} MIN, V_{IN} = V_{IL} or V_{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I_{OL} = 24 mA	
I_{OZH}	Output Off Current HIGH				20	μA	V_{CC} = MAX, V_{OUT} = 2.7 V	
I_{OZL}	Output Off Current LOW				−20	μA	V_{CC} = MAX, V_{OUT} = 0.4 V	
I_{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 2.7 V	
					0.1	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 7.0 V	
I_{IL}	Input LOW Current				−0.2	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 0.4 V	
I_{OS}	Output Short Circuit Current (Note 1)		−40		−225	mA	V_{CC} = MAX	
I_{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH				27	mA	V_{CC} = MAX	
	Total, Output LOW	LS240			44			
		LS241/244			46			
	Total at HIGH Z	LS240			50			
		LS241/244			54			

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C, V_{CC} = 5.0 V)

Symbol	Parameter	Limits Min	Limits Typ	Limits Max	Unit	Test Conditions
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay, Data to Output LS240		9.0 12	14 18	ns	C_L = 45 pF, R_L = 667 Ω
t_{PLH} t_{PHL}	Propagation Delay, Data to Output LS241/244		12 12	18 18	ns	
t_{PZH}	Output Enable Time to HIGH Level		15	23	ns	
t_{PZL}	Output Enable Time to LOW Level		20	30	ns	
t_{PLZ}	Output Disable Time from LOW Level		15	25	ns	C_L = 5.0 pF, R_L = 667 Ω
t_{PHZ}	Output Disable Time from HIGH Level		10	18	ns	

TRACO POWER

Enclosed Power Supplies

TXM Series, 15–150 Watt

Features

- Very compact metal cased power supplies
- High operating temperature up to 70°C
- Low no load power consumption <0.5W up to 75 W units
- Screw terminal block
- No internal fan up to 150 W models
- Universal input AC input, full range
- Withstand 300 VAC surge input for 5 sec.
- Adjustable output voltage
- 3-year product warranty

The TRACOPOWER TXM series is a family of encased power supplies designed for a wide range of cost critical applications. With a low profile metal case and screw terminal block connection, they are easy to install in any equipment.
There are 40 models with single output voltages from 3.3 VDC to 48 VDC in 9 power ranges from 15 W to 150 W. These power supplies have universal input and comply with European EMC standards and the Low Voltage Directive (LVD).

Models with Single Output

Order Code	Output Power max.	Output Voltage		Output Current max.	Efficiency	
		nominal	adjustable		115 VAC	230 VAC
TXM 015-103	15 Watt	3.3 VDC	3.1-3.6 VDC	4.0 A	70 %	71 %
TXM 015-105		5 VDC	4.7-5.5 VDC	3.0 A	76 %	78 %
TXM 015-112		12 VDC	11.4-13.2 VDC	1.3 A	80 %	82 %
TXM 015-115		15 VDC	14.2-16.5 VDC	1.0 A	82 %	83 %
TXM 015-124		24 VDC	22.8-26.4 VDC	0.7 A	84 %	85 %
TXM 025-103	25 Watt	3.3 VDC	3.1-3.6 VDC	5.0 A	70 %	71 %
TXM 025-105		5 VDC	4.7-5.5 VDC	5.0 A	76 %	78 %
TXM 025-112		12 VDC	11.4-13.2 VDC	2.1 A	80 %	82 %
TXM 025-115		15 VDC	14.2-16.5 VDC	1.6 A	82 %	83 %
TXM 025-124		24 VDC	22.8-26.4 VDC	1.1 A	84 %	85 %
TXM 035-105	35 Watt	5 VDC	4.7-5.5 VDC	6.0 A	79 %	80 %
TXM 035-112		12 VDC	11.4-13.2 VDC	3.0 A	83 %	84 %
TXM 035-115		15 VDC	14.2-16.5 VDC	2.4 A	85 %	86 %
TXM 035-124		24 VDC	22.8-26.4 VDC	1.5 A	86 %	87 %
TXM 035-148		48 VDC	45.6-52.8 VDC	0.75 A	87 %	88 %
TXM 050-105	50 / 60 Watt	5 VDC	4.7-5.5 VDC	8.0 A	79 %	80 %
TXM 050-112		12 VDC	11.4-13.2 VDC	4.2 A	84 %	85 %
TXM 050-115		15 VDC	14.2-16.5 VDC	3.4 A	85 %	86 %
TXM 050-124		24 VDC	22.8-26.4 VDC	2.2 A	87 %	88 %
TXM 050-148		48 VDC	45.6-52.8 VDC	1.1 A	88 %	89 %

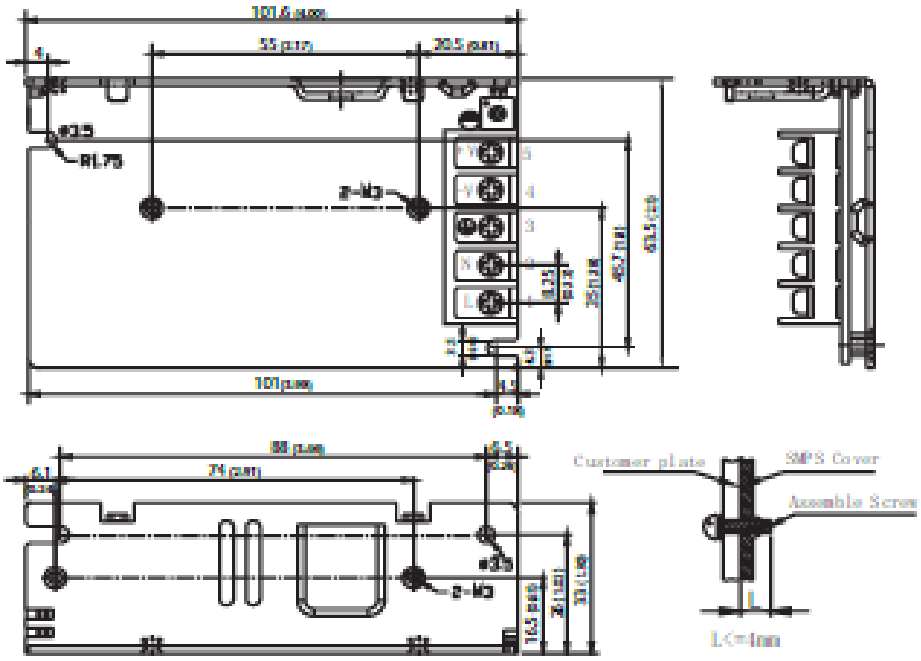
Input Specifications			
Input voltage range	– nominal – AC range (universal input) – DC range		100 – 240 VAC 90 – 264 VAC 127 – 370 VDC
Input voltage frequency			47 – 63 Hz
Input current at full load		TXM 015/025 models: TXM 035 models: TXM 050 models: TXM 075 models: TXM 100 models: TXM 150 models:	0.70 A max. 1.00 A max. 1.50 A max. 2.50 A max. 1.70 A max. 2.00 A max.
Recommended circuit breaker (characteristic C) or slow blow fuse		up to 75 Watt models: up to 320 Watt models:	5 A 10 A

Output Specifications			
Regulation	– Input variation – Load variation (10–100%) – Minimum load:	 TXM 015, 025, 075: all other models:	0.5 % max. 2 % max. 1 % max. no minimum load required
Ripple and noise (20 MHz bandwidth)			< 1.0 % of Vout nom. typ.
Output current limitation		TXM 015: all other models:	110 % – 180 % of Iout max. 105 % – 150 % of Iout max.
Overload protection mode			Hiccup / constant power, automatic recovery
Over voltage protection (only output 1)			105 % – 150 % of Vout nom. (depending on model)

General Specifications			
Temperature ranges	– Operating – Load derating above 40°C – Load derating above 40°C – Load derating above 50°C – Storage (non operating)	TXM 100/150 TXM 015/025/035/050/075 TXM 100 or 3.3/5V TXM 150 or 3.3/5V all other models	–20°C to +60°C –25°C to +70°C 2.5%/°K (1.3 %/°K for 3.3/5V) 1.67%/°K (1.3 %/°K for 3.3/5V) 2 %/°K (4 %/°K for TXM 200; 3.3%/K for TXM 320) –30°C to +85°C
Temperature coefficient			all models 0.03%/°C
Humidity (non condensing)			90 % rel. H max. (non condensing)
Hold-up time			10 ms min. (115 VAC) 10 ms min. (230 VAC)
Isolation voltage (60 sec.)	– Input/Output – Input/Case – Output/Case		3'000 VAC 1'500 VAC 500 VAC
Reliability /calculated MTBF (MIL-HDBK-217F, at +25°C typ., ground benign)			>200'000 h
Altitude during operation		TXM 015 & 025 models: all other models:	2'000 m max. (6'667 ft) approved 5'000 m max. (16'400 ft) approved
Electromagnetic compatibility (EMC), Emissions	– Conducted input RI suppression – Harmonic current emissions – Flicker		EN 55022, class B IEC/EN 61000-3-2, IEC/EN 61000-3-3
Electromagnetic compatibility (EMC), Immunity	– Electrostatic discharge ESD – RF field immunity – Electrical fast transients/burst immunity – Surge – Conducted RF – Magnetic field		IEC/EN 61000-4-2 4 kV / 8 kV criteria B IEC/EN 61000-4-3 10 V/m criteria A IEC/EN 61000-4-4 2 kV criteria B IEC/EN 61000-4-5 1 kV / 2 kV criteria B IEC/EN 61000-4-6 10 V/m criteria A IEC/EN 61000-4-8 3 A/m criteria A
Safety standards	– UL/cUL – CB report – Certification documents	 TXM 100 & TXM 150 models: all other models:	UL 60950-1 (entry for 100-320W models is pending) EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/A2:2013 IEC 60950-1(ed.2) IEC 60950-1(ed.2)Am1, IEC 60950-1(ed.2)Am2 IEC 60950-1/A1:2009 www.tracopower.com/overview/txm
Environmental compliance	– Reach declaration – RoHS		www.tracopower.com/overview/txm directive 2011/65/EU

Case for TXM 035

Pin-Out	
Pin	Function
1	AC L
2	AC N
3	GND
4	-Vout
5	+Vout



Weight: 200 g

Max mounting screw penetration: 2.0 mm (0.08)

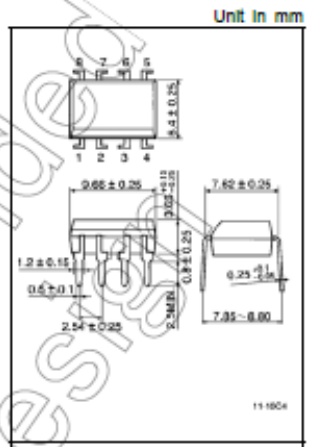
TLP250

Transistor Inverter
Inverter For Air Conditioner
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

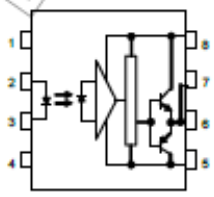
- Input threshold current: I_F=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10~35V
- Output current (I_O): ±1.5A (max.)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 0.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(min.)
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option(D4)
  VDE Approved : DIN EN60747-5-2
  Maximum Operating Insulation Voltage : 890V_{PK}
  Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}
  (Note):When a EN60747-5-2 approved type is needed, Please designate "Option(D4)"

Unit in mm



TOSHIBA 11-10C4
Weight: 0.54 g (typ.)

Pin Configuration (top view)

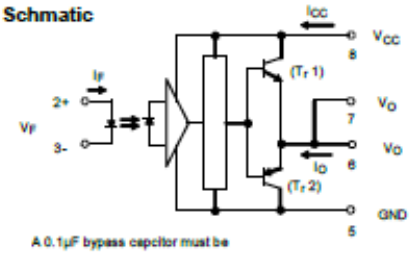


1 : N.C. 5 : GND
2 : Anode 6 : V_O (Output)
3 : Cathode 7 : V_O
4 : N.C. 8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Not Recommended for New Designs

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

	Characteristic		Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	−0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent	(Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V_R	5	V
	Junction temperature		Tj	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPH}	−1.5	A
	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
	Junction temperature		Tj	125	°C
Operating frequency		(Note 3)	f	25	kHz
Operating temperature range			T_{opr}	−20~85	°C
Storage temperature range			T_{stg}	−55~125	°C
Lead soldering temperature (10 s)			T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%)		(Note 4)	BV_S	2500	Vrms

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.
Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions"/"Derating Concept and Methods") and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc).

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exporenential waveform

Note 3: Exporenential waveform, I_{OPH} ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)

Note 4: Device considerd a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 5: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching proparty. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic		Symbol	Min	Typ.	Max		Unit
Input current, on	(Note6)	$I_{F(ON)}$	7	8	10		mA
Input voltage, off		$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8		V
Supply voltage		V_{CC}	15	—	30	20	V
Peak output current		I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5		A
Operating temperature		T_{opr}	−20	25	70	85	°C

Note: Recommended operating conditions are given as a design guideline to obtain expected performance of the device. Additionally, each item is an independent guideline respectively. In developing designs using this product, please confirm specified characteristics shown in this document.

Note 6: Input signal rise time(fall time)<0.5μs.

Not Recommended for New Design

Electrical Characteristics (Ta = –20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition		Min	Typ.*	Max	Unit
Input forward voltage		V_F	—	I_F = 10 mA , Ta = 25°C		—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	I_F = 10 mA		—	−2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I_R	—	V_R = 5V, Ta = 25°C		—	—	10	μA
Input capacitance		C_T	—	V = 0 , f = 1MHz , Ta = 25°C		—	45	250	pF
Output current	"H" level	I_{OPH}	1	V_{CC} = 30V (*1)	I_F = 10 mA V_{8-6} = 4V	−0.5	−1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2		I_F = 0 V_{6-5} = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V_{OH}	3	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, I_F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_F = 0.8V		—	−14.2	−12.5	
Supply current	"H" level	I_{CCH}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 10mA Ta = 25°C		—	7	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 10mA		—	—	11	
	"L" level	I_{CCL}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 0mA Ta = 25°C		—	7.5	—	
				V_{CC} = 30V, I_F = 0mA		—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I_{FLH}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	V_{FHL}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, V_O < 0V		0.8	—	—	V
Supply voltage		V_{CC}	—			10	—	35	V
Capacitance (input−output)		C_S	—	V_S = 0 , f = 1MHz Ta = 25°C		—	1.0	2.0	pF
Resistance(input−output)		R_S	—	V_S = 500V , Ta = 25°C R.H.≤ 60%		$1X10^{12}$	10^{14}	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

Commercial Design

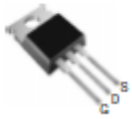
VISHAY.

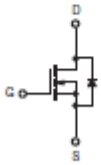
IRF540, SiHF540
Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V_{DS} (V)	100	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	V_{GS} = 10 V	0.077
Q_g (Max.) (nC)	72	
Q_{gs} (nC)	11	
Q_{gd} (nC)	32	
Configuration	Single	

TO-220AB





N-Channel MOSFET

FEATURES
- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC

Pb Available
RoHS* COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.
The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF540PbF
	SIHF540-E3
SnPb	IRF540
	SIHF540

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_C = 25 °C, unless otherwise noted)

PARAMETER			SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage			V_{DS}	100	V
Gate-Source Voltage			V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	T_C = 25 °C	I_D	28	A
		T_C = 100 °C		20	
Pulsed Drain Current[a]			I_{DM}	110	
Linear Derating Factor				1.0	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy[b]			E_{AS}	230	mJ
Repetitive Avalanche Current[a]			I_{AR}	28	A
Repetitive Avalanche Energy[a]			E_{AR}	15	mJ
Maximum Power Dissipation	T_C = 25 °C		P_D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt[c]			dV/dt	5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range			T_J, T_{stg}	- 55 to + 175	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s			300[d]	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw			10	lbf · in
				1.1	N · m

Notes
a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. V_{DD} = 25 V, starting T_J = 25 °C, L = 440 μH, R_G = 25 Ω, I_{AS} = 28 A (see fig. 12).
c. $I_{SD} \leq 28$ A, dI/dt ≤ 170 A/μs, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 175$ °C.
d. 1.6 mm from case.

IRF540, SiHF540

Vishay Siliconix

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.0	

SPECIFICATIONS (T_J = 25 °C, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	V_{GS} = 0 V, I_D = 250 µA	100	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to 25 °C, I_D = 1 mA	-	0.13	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250 µA	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	V_{GS} = ± 20 V	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	V_{DS} = 100 V, V_{GS} = 0 V	-	-	25	µA
		V_{DS} = 80 V, V_{GS} = 0 V, T_J = 150 °C	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	V_{GS} = 10 V; I_D = 17 A[b]	-	-	0.077	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	V_{DS} = 50 V, I_D = 17 A[b]	8.7	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	V_{GS} = 0 V, V_{DS} = 25 V, f = 1.0 MHz, see fig. 5	-	1700	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	560	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	120	-	
Total Gate Charge	Q_g	V_{GS} = 10 V; I_D = 17 A, V_{DS} = 80 V, see fig. 6 and 13[b]	-	-	72	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	11	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	32	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	V_{DD} = 50 V, I_D = 17 A, R_g = 9.1 Ω, R_D = 2.9 Ω, see fig. 10[b]	-	11	-	ns
Rise Time	t_r		-	44	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	53	-	
Fall Time	t_f		-	43	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode	-	-	28	A
Pulsed Diode Forward Current[a]	I_{SM}		-	-	110	
Body Diode Voltage	V_{SD}	T_J = 25 °C, I_S = 28 A, V_{GS} = 0 V[b]	-	-	2.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	T_J = 25 °C, I_F = 17 A, di/dt = 100 A/µs[b]	-	180	360	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	1.3	2.8	µC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width ≤ 300 µs; duty cycle ≤ 2 %.

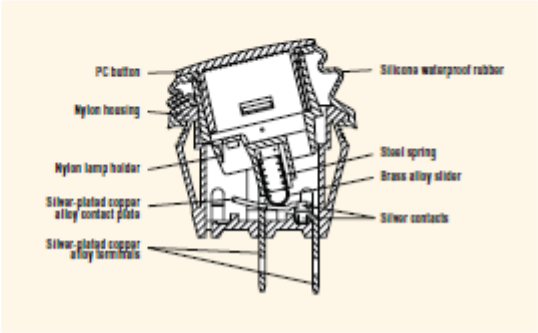
CHERRY

WATERPROOF SINGLE-POLE ROCKER SWITCH

KC Series

Features

- Enclosed switch complying to IP56
- Lighted and non-lighted versions
- Multiple terminal options
- Mechanical life: 100,000 cycles
- DC electrical life: 6,000 cycles



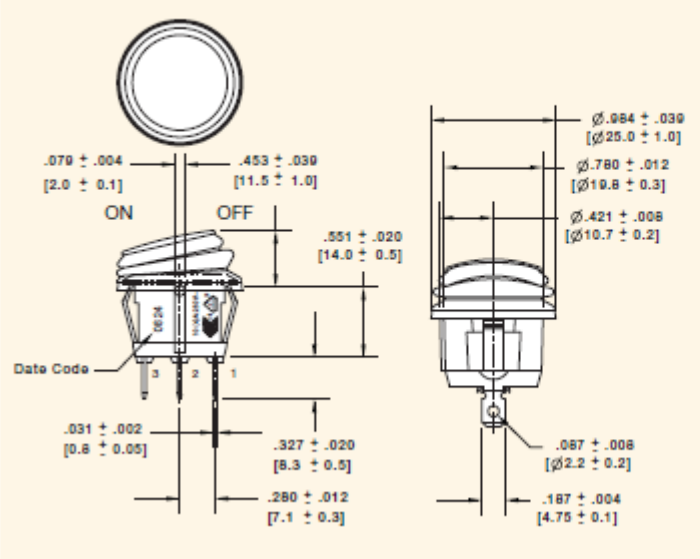
Electrical Ratings

Switch Series	VDC	EN61058 Rating	UL1054 Rating	Electrical Life at Rated Load According to VDE (Min. Operations)	Electrical Life at Rated Load According to UL (Min. Operations)
KC	20A 14VDC; 10A 28VDC	10(4)A 250V	16A 125VAC; 10A 250VAC	10,000	6,000

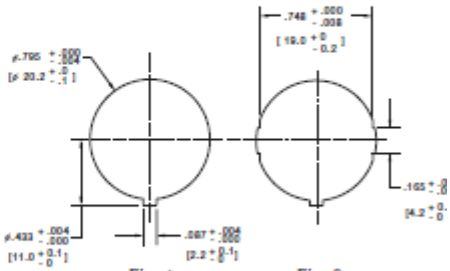
Specifications

Electrical	
Dielectric Strength:	1500VAC for 1 minute
Insulation Resistance:	10^8 ohms min at 500VDC
Initial Contact Resistance:	0.050 ohms max
Temperature Rating:	-25°C to +85°C
Materials	
Actuator:	Polycarbonate 94V-2
Housing:	Nylon 66 94V-2
Spring:	Stainless Wire
Contacts:	Silver Alloy
Movable Arm:	Silver-plated Copper Alloy
Terminals:	Silver-plated Copper Alloy
Waterproof Rubber:	Silicone

Dimensions inches (mm)



Panel Cut-Out Dimensions for Panel Thickness inches (mm)



Mounting Holes	
Fig.	Panel Thickness
1	.059 to .098 (1.5 to 2.5)
2	.028 to .098 (0.7 to 2.5)

Examples of Common Part Numbers and Descriptions inches (mm)

Part Number	Circuitry	Switch Function	Terminal Type	Actuator/ Housing Color	Legend Marking
KCA2ANA1BBB		On – Off	0.187 (4.75) Quick Connect	Black/Black	
KCA2ALA2RBB		On – Off (Illuminated)	0.187 (4.75) Quick Connect	Red/Black (Red Lens)	

Ordering Information

KC A 2 A N A 1 B B B

Series: KC

Code	Contact Rating
A	16A 125VAC (UL) 10A 250VAC (UL) 10(4)A 250V (VDE) 20A 14VDC 10A 28VDC

Code	Circuitry
2	Single-Pole

Code	Switch Function
A	On – Off

Code	Non-Lighted/Lighted
N	Non-Lighted
L	110V Neon Bulb
E	220V Neon Bulb

Code	Terminal Type
A	0.187 (4.75) Quick Connect
P	PC Through Hole Straight
R	Solder (Round) 0.173 (4.4) Dia

Code	Actuator Type
1	Non-Lighted
2	Lighted

Code	Actuator Color
A	Amber
B	Black
G	Green
L	Blue
R	Red

Code	Housing Color
B	Black

Code	Actuator Marking
B	Blank
C	•
D	O –
E	O I
F	I II
G	– =
J	ON OFF

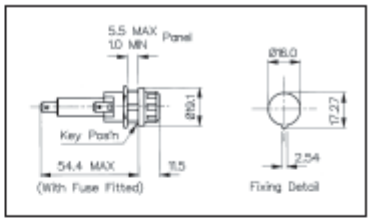
FUSEHOLDERS

BULGIN

Panel Mounting Touchproof, PC2

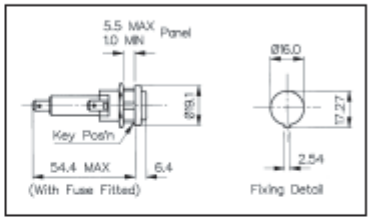
PANEL MOUNT

- Protection Category PC2
- Fuse Sizes:
  6.3 x 32mm (FX0415)
  6.3 x 25mm (FX0416)
- Screw Cap/Hand Release
- 13A, 250V (16A, 250V UL)



PANEL MOUNT

- Protection Category PC2
- Fuse Sizes:
  6.3 x 32mm (FX0415/S)
  6.3 x 25mm (FX0416/S)
- Screw Cap/Screwdriver Release
- 13A, 250V (16A, 250V UL)



Specification	FX0415, FX0416	FX0415/S, FX0416/S
Fuse Size:	FX0415 - 6.3 x 32mm FX0416 - 6.3 x 25mm	FX0415/S - 6.3 x 32mm FX0416/S - 6.3 x 25mm
Fuse Carrier:	Screw cap/Hand release	Screw cap/Screwdriver release
Terminations:	4.8 series tabs	4.8 series tabs
Max. Rating:	13A, 250V (16A, 250V UL)	13A, 250V (16A, 250V UL)
Max. Power Dissipation:	4W (@ 23°C)	4W (@ 23°C)
Insulation Resistance:	>10^6MΩ @ 500V d.c.	>10^6MΩ @ 500V d.c.
A.C. Breakdown:	4kV @ 50Hz	4kV @ 50Hz
Contact Resistance:	<5mΩ	<5mΩ
Operating Temp:	-20°C to +85°C (ambient air temp + fuse temp rise)	-20°C to +85°C (ambient air temp + fuse temp rise)
Mouldings: Body: Cap: Sleeve:	 Glass Filled Nylon UL94V-0 rated Nylon UL94V-0 rated Polyester UL94V-0 rated	 Glass Filled Nylon UL94V-0 rated Nylon UL94V-0 rated Polyester UL94V-0 rated
Contacts:	Brass, Silver Plated	Brass, Silver Plated
Approvals:	UL	UL
Accessories:	PNo. 12932 (See page 163)	PNo. 12932 (See page 163)
RoHS	Compliant	Compliant

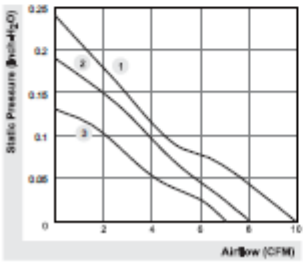
SUNON

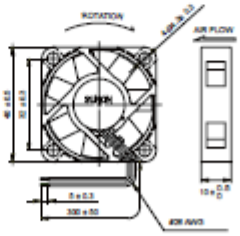
40x40x10 mm

7.0~9.9 CFM

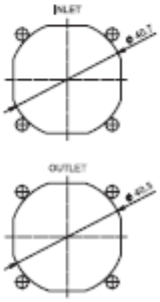
	Bearing ● VAPO	Rating Voltage (VDC)	Power Current (mA)	Power Consumption (WATTS)	Speed (RPM)	Air Flow (CFM)	Static Pressure (inch-H2O)	Noise (dBA)	Weight (g)	Curve
ME40100V1-0000-A99	●	5	215	1.08	7000	8.0	0.19	32.0	13.5	2
MB40100V2-0000-A99	●	5	180	0.90	5800	7.0	0.11	27.0	17.0	3
ME40101VX-0000-A99	●	12	130	1.60	8500	9.9	0.24	36.1	15.0	1
ME40101V1-0000-A99	●	12	90	1.08	7000	8.0	0.19	32.0	13.5	2
MB40101V2-0000-A99	●	12	80	0.96	5800	7.0	0.11	27.0	17.0	3

Model	○ 2BALL ○ Sleeve	(VDC)	(mA)	(WATTS)	(RPM)	(CFM)	(inch-H2O)	(dBA)	(g)	Curve
EE40100S1-0000-999	○	5	215	1.18	7000	8.0	0.19	32.0	13.5	2
EB40100S2-0000-999	○	5	205	1.03	5800	7.0	0.11	27.0	17.0	3
EE40101S1-0000-999	○	12	100	1.20	7000	8.0	0.19	32.0	13.5	2
EB40101S2-0000-999	○	12	90	1.08	5800	7.0	0.11	27.0	17.0	3





(Units : mm)



*All model could be customized. Please contact with Sunon Sales.
*Specifications are subject to change without notice. Please Visit SUNON web site at http://www.sunon.com for update information.

Girona, 5 de setembre de 2016

Maximilià Castro Molina