

# **Escola Universitària Politécnica de Mataró**

Centre adscrit a:



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA**

**Grau en enginyeria mecànica**

## **DISSENY D'UN TRANSPORTADOR AERI PER CÀRREGUES LLEUGERES AMB MOTORS LINEALS**

**Memòria**

**NIL LLOPART AGUADO**

**PONENT: PABLO GENOVESE**

**TARDOR 2016**



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**



## **Dedicatòria**

Dedicat a la meva família, per el seu esforç i motivació donada al llarg d'aquests anys.



## **Agraïments**

A Ramon Serra, pare i fill que m'han fet sentir ben rebut en les reunions,

Al meu tutor Pablo Genovese per la seva dedicació.



## **Resum**

Objectiu d'aquest projecte és el disseny teòric d'un transportador aeri industrial propulsat amb motors lineals utilitzats en la maqueta del tren Telmag. El procés de disseny tracte sobre la adaptació i redimensionat d'aquest motor al transportador aeri, i la creació del concepte del disseny de la via i l'estructura de subjecció, que és radicalment diferent a la de seu predecessor. Es tracte d'un model modular i adaptable a qualsevol espai dins un pla i consta de diferents mòduls que s'acoblen l'un darrera l'altre definint un circuit concret.

## **Resumen**

El objetivo de este proyecto es el diseño de un transportador aéreo industrial propulsado por motores lineales utilizados en la maqueta del tren Telmag. El proceso de diseño trata sobre la adaptación y redimensionado de este motor aplicándolo al transportador aéreo, y la creación del concepto del diseño de las vías i la estructura de sujeción, que es radicalmente diferente a la de su predecesor. Se trata de un modelo modular y adaptable a cualquier espacio dentro de un plano y consta de diferentes módulos ensamblados un tras el otro, definiendo un circuito concreto.

## **Abstract**

The objective of this project is the design of an industrial air conveyor powered by linear motors used in the model of Telmag train. The design process is done by adapting and resizing the engine applied to the air conveyor and the creation of concept in the design of the tracks and the holding structure, which is radically different from its predecessor. It is modular and adaptable to any space model within a plane and consists of different modules assembled one after the other, defining a particular circuit.





# Índex.

1 Objectius. ....	1
1.1 Propòsit. ....	1
1.2 Finalitat. ....	1
1.3 Objecte. ....	1
1.4 Abast. ....	1
2 Antecedents i necessitats d'informació. ....	3
2.1 Motors lineals. ....	3
2.1.1 Història. ....	3
2.1.2 Perquè utilitzar motors lineals a la indústria?.....	4
2.1.3 Principis de funcionament motor lineal.....	5
2.1.4 Classificació dels motors lineals. ....	6
2.1.5 Motor TELMAG: Motor lineal de reluctància commutada.....	8
2.1.6 Avantatges i inconvenients dels motors lineals. ....	9
2.1.7 Aplicacions dels motors lineals. ....	9
2.2 Transportadors aeris. ....	10
2.3 Avantatges de la utilització de transportadors aeris en processos productius.....	12
2.4 Exemples de transportadors aeris. ....	15
2.4.1 Transportador de corda CMAT.....	16
2.4.2 Transportador de cable CMAT. ....	16

2.4.3 Transportador aeri per a càrregues lleugeres intel·ligent MECALUX Esmena.	17
2.5 Normativa aplicable.	20
3 Disseny de la màquina.	21
3.1 Objectius.	21
3.2 Metodologia.	22
3.2.1 Metodologia de disseny.	22
3.2.2 Metodologia de càlcul i nomenclatura.	22
3.3 Estructura porta – matèria.	23
3.3.1 Caixa.	23
3.4 Unió caixa motor.	24
3.4.1 Capacitat de càrrega del conjunt del ramal.	26
3.4.2 Dimensionat dels elements del ramal.	28
3.5 Dimensionat de la orella de subjecció del pop.	31
3.6 Dimensionat del cargol.	31
3.6.1 Cotes crítiques de l'orella.	33
3.7 Dimensionat de la biga central de subjecció.	36
3.7.1 Elecció del perfil.	38
3.8 Estudi de les soldadures.	39
3.8.1 Soldadura A.	41
3.8.2 Soldadura B.	45
3.9 Unió biga – motor.	46

3.9.1 Comprovació d'esforços en la placa. ....	48
3.10 Motor. ....	50
3.10.1 Principi de funcionament. ....	50
3.10.2 Comparativa amb altres solucions. ....	52
3.10.3 Caracterització del motor. ....	53
3.10.4 Posicionament de les fases del motor i els nuclis de la via. ....	56
3.11 Dimensionat dels components del motor. ....	56
3.11.1 Dimensionat de l'eix superior de la roda. ....	58
3.11.2 Dimensionat del cargol de subjecció del eix (1). ....	62
3.11.3 Dimensionat cargols de subjecció eix (2). ....	63
3.11.4 Dimensionat eix lateral. ....	63
3.11.5 Rodes del motor. ....	69
3.11.6 Càlcul de la força de fricció de les rodes. ....	71
3.11.7 Estructura posicionament d'electroimants i components electrònics. ....	75
3.12 Via del transportador. ....	77
3.13 Dimensionat de la via. ....	78
3.13.1 Determinació de la classe de secció de la via. ....	79
3.13.2 Esforços a la via. ....	80
3.13.3 Distància mínima entre columnes. ....	84
3.14 Elements de la via. ....	84
3.14.1 Columnes i estructura de fixació del transportador aeri. ....	86

3.14.2 Dimensionat de la columna de subjecció al sostre. ....	89
3.14.3 Dimensionat la estructura de subjecció al terra. ....	91
3.14.4 Acoblament via – columna. ....	92
3.14.5 Disposició dels nuclis a la via ....	95
3.15 Unió entre mòduls. ....	98
<b>4 4. Exemple d’implantació. ....</b>	<b>101</b>
4.1 Justificació de l’elecció. ....	101
4.2 Entorn de la planta. ....	101
4.3 Necessitats de material de la planta. ....	104
4.3.1 Descarrega i emmagatzematge de reactius. ....	104
4.3.2 Transport de reactius. ....	104
4.3.3 Canvi de components. ....	105
4.3.4 Presa de mostres. ....	105
4.4 Circuit solució. ....	106
4.4.1 Consideracions. ....	106
4.4.2 Circuit seleccionat. ....	107
<b>5 Estudi mediambiental. ....</b>	<b>111</b>
5.1 Fase de construcció: ....	111
5.2 Fase de utilització: ....	111
5.3 Fase de desballestament: ....	112
<b>6 Execució de la planificació. ....</b>	<b>115</b>

7 Conclusions.....	125
8 Referències.....	127



## Índex de figures.

Fig 2.1 Motor lineal d'inducció i motor lineal de flux transversal. [2] .....	6
Fig 2.2 Motor lineal U-Channel (dreta) i motor lineal [5],[7].....	10
Fig 2.3Exemple de transportador aeri per al transport de productes alimentaris. [10] .....	11
Fig 2.4 Estructura de caixa per al transport de matèria [15]. .....	12
Fig 2.5 Comparativa model amb transportador aeri (esquerra) i model amb cinta transportadora convencional (dreta). [12].....	13
Fig 2.6 Sistema transportador aeri Mecalux. Imatge superior i inferior dreta corresponen al detall del sistema d'acoblament. Imatge inferior esquerra sistema al complert (disseny virtual). [15].....	18
Fig 3.1 Pop amb 4 ramals de cadenes i components que el conformen, Annex IV .....	25
Fig 3.2 Cotes rellevants del pop (esquerra) i gruixos de les cadenes en funció de la càrrega (dreta). [17], Annex IV .....	27
Fig 3.3 Aproximació a les dimensions del ramal de la cadena. ....	27
Fig 3.4 Dimensions de la cadena emprada. Annex IV.....	28
Fig 3.5 Dimensions de les cotes de les anelles seleccionades. Annex IV.....	29
Fig 3.6 Dimensions dels eslavons de connexió. Annex VI.....	30
Fig 3.7 Dimensions del ganxo. Annex VI.....	30
Fig 3.8 Esforços presents a l'orella. ....	31
Fig 3.9 Diagrama del sòlid lliure orella i anelles mestre. ....	32
Fig 3.10 Cotes de la peça orella.....	33

Fig 3.11 Gràfica del valor del factor geomètric $K_t$ per una peça laminar amb un forat al centre. [19].	34
Fig 3.12 Condicions d'esforç de la biga de subjecció de càrrega.	36
Fig 3.13 Diagrames d'esforços en la biga de subjecció de càrrega.	38
Fig 3.14 Soldadures aplicades al eix central de càrrega.	39
Fig 3.15 Eix central amb els esforços i soldadures presents.	42
Fig 3.16 Factor $K_c$ per al càlcul de la fatiga. [19].	44
Fig 3.17 $S_e'$ en funció del valor $S_{ut}$ . [19]	44
Fig 3.18 Eix central assembletat	47
Fig 3.19 Distribució d'esforços en el forat unió eix –motor.	48
Fig 3.20 Factor geomètric $K_f$ per una xapa foradada sotmesa a tracció.[19]	49
Fig 3. 21 Posicionament de les fases en un motor lineal respecte un motor rotatiu.[2]	51
Fig 3.22 Vista frontal del motor lineal del prototip del TELMAG dimensionat.	54
Fig 3. 23 Modificació preliminar necessària per a adaptar el motor.	54
Fig 3.24 Components del motor transportador aeri.	55
Fig 3.25 una possible configuració de les fases del motor lineal.	56
Fig 3.26 Dimensions del motor.	57
Fig 3.27 acoblament motor- via.	57
Fig 3.28 D.S.LL del eix de les rodes superior.	59
Fig 3.29 Distància del moment generat per la roda.	60
Fig 3.30 Factor geomètric $K_f$ del eix superior de les rodes.[19].	60



Fig 3.31 Posicionament dels cargols a l'eix superior. ....	62
Fig 3.32 vectors acceleració presents a la corba. ....	64
Fig 3.33 D.S.LL del eix lateral. ....	65
Fig 3.34 Factors de concentració d'esforç presents en l'eix. [19]. ....	66
Fig 3.35 Seccions de la peça de tancament inferior del motor. ....	67
Fig 3.36 Factor de concentració per a una lamina foradada. [19]. ....	68
Fig 3.37 Diferents tipus de corrons a utilitzar. Annex I. ....	70
Fig 3.38 Roda lateral amb els seus elements. ....	71
Fig 3.39 Distància z d'una roda deformable. ....	72
Fig 3.40 Gràfic de la força de fregament en funció de la càrrega. ....	74
Fig 3.41 Motor pop i caixa acoblats. ....	76
Fig 3.42 Vistes dels diferents mòduls que conformen el transportador. ....	78
Fig 3.43 Relacions geomètriques pera establir la classe de la secció. ....	79
Fig 3.44 Motor posicionat en el punt d'esforç màxim, cas 1. ....	80
Fig 3.45 Diagrama d'esforços cas 1. ....	81
Fig 3.46 Motor posicionat en el punt d'esforç màxim, cas 2. ....	81
Fig 3.47 Diagrama d'esforços cas 2. ....	82
Fig 3.48 Via i el seus components. ....	85
Fig 3.49 Vista del motor i el carro inserits entre dos columnes. ....	87
Fig 3.50 Esforços presents en un tram de 5m amb dues columnes al sostre. ....	88
Fig 3.51 Diagrames d'esforços en la via. ....	89

Fig 3.52 Diagrama del sòlid lliure de la biga de suport al sostre. ....	90
Fig 3.53 Disposició dels cargols del travesser estructural. ....	92
Fig 3.54 Vista de tall de la secció amb els cargols del travesser. ....	93
Fig 3.55 Diferents acoblaments dels conjunts de nuclis fèrrics. ....	96
Fig 3.56 posicionament dels esforços en la peça de subjecció. ....	97
Fig 3.57 Forats disposats al lateral de la via. ....	98
Fig 3.58 Soldadura entre els diferents mòduls del transportador. ....	99
Fig 3.59 Vista del transportador acoblat dins del sistema modular de vies. ....	100
Fig 4.1 Emplaçament geogràfic de la planta. ....	102
Fig 4.2 Layout a escala del interior de la planta amb les zones més importants. ....	103
Fig 4.3 Fluxos de materials de la planta. ....	106
Fig 4.4 Circuit del transportador aeri proposat a escala amb el layout de la planta. ....	107
Fig 4.5 Mòduls utilitzats per al circuit proposat. ....	108
Fig 6.1 Diagrama de GANTT execució de la planificació amb MS- Project. ....	124

## Índex de taules.

Taula 2.1 Exemples de transportadors aeris.[8] .....	15
Taula 2.2 Característiques i especificacions transportador de corda CMAT. [14].....	16
Taula 2. 3 Característiques i especificacions transportador de cable CMAT. [15] .....	17
Taula 2.4 Característiques i especificacions transportador aeri per a càrregues lleugeres Mecalux.[15] .....	19
Taula 3. 1 Dimensions mínimes de les anelles mestre segons normativa UNE-EN 1677-4.[17] .....	29
Taula 3.2 Dimensions mínimes de les anelles mestre aplicat a la C.M.U del transportador. ....	29
Taula 3.3 Taula resum pes dels components. ....	30
Taula 3.4 Límit de tracció i límit de fluència de les diferents qualitats de cargols.[18].....	32
Taula 3.5 Esforços permissibles en funció de tipus de carrega. [19].....	40
Taula 3. 6 Força unitària permissible de les diferents soldadures en funció de la mida del cordó i del elèctrode aplicat. [19] .....	40
Taula 3.7 Resistències dels diferents elèctrodes. [19] .....	40
Taula 3.8 Concentració d'esforç en funció del tipus de soldadura. [19] .....	43
Taula 3.9 Dades per al càlcul del factor Kfs. [19] .....	43
Taula 3.10 Area i moment d'inèrcia per a diferents geometries de soldadura. [19] .....	45
Taula 3. 11Avantatges i inconvenients de l'ús de diferents motors.[2].....	53
Taula 3.12 Característiques de la rodes superiors. ....	69
Taula 3.13 Força de fregament en funció de diferents valors de càrrega neta. ....	73

Taula 3.14 Taula de pes dels components en 5m de via.....	87
Taula 4.1 Quantitat de mòduls i de columnes en el circuit proposat.....	109
Taula 5.1 Taula resum accions impactants. Annex II.....	112
Taula 5.2 Factors ambientals impactants. Annex II.....	114
Taula 6.1 Tasques realitzades en el P.D.....	121
Taula 6.2 Taula execució de la planificació.....	123

## Glossari de termes.

CTE	Comitès tècnics de la edificació.
C.M.U	Càrrega màxima útil.
CiD	Càrrega i descàrrega.
DSLL	Diagrama del sòlid lliure.
E.I	Electroimants.
EUPMT	Escola Universitària Politècnica de Mataró.
n	Coeficient de seguretat.
ML	Motor lineal.
M x.x	Cargol mètric (diàmetre de la tija del cargol)
PFC	Projecte Final de Carrera.
PD	Projecte de detall.
TELMAG	Prototip de tren impulsat amb motors lineals .
UNE	Una Norma Española.



# **1 Objectius.**

## **1.1 Propòsit.**

El propòsit d'aquest projecte es demostrar la viabilitat d'un nou concepte de transportador aeri radicalment diferent a tots els que existeixen en l'actualitat, impulsat amb motors lineals iguals que els que utilitza el prototip del tren TELMAG. El transportador es desplaçarà dins d'un circuit establert, compost de una sèrie de mòduls que seran objecte d'estudi, situat a una certa alçada.

## **1.2 Finalitat.**

Aconseguir crear un sistema altament adaptable que respecti l'estructura i el concepte del motor del seu predecessor, aportant una nova aplicació per als motors lineals i creant un transportador aeri amb menys requeriments i per tant més eficient, estudiant l'impacte de la seva implementació.

## **1.3 Objecte.**

L'objecte del projecte es dissenyar un transportador aeri per a càrregues lleugeres impulsat per un motor lineal, concretament amb el mateix tipus de motor lineal que utilitza el tren TELEMAG, trencant així amb la dinàmica actual de construir-los amb motors rotatius que apliquen el parell a unes rodes. El transportador ha de ser capaç de moure càrregues lleugeres a una velocitat òptima dins un circuit de vies establert, que al seu torn a de poder adaptar-se a qualsevol espai.

## **1.4 Abast.**

El projecte engloba la part mecànica i estructural del motor i la via. Es realitzarà un estudi dels components i les parts del motor calculant aquelles més rellevants pel que fa esforços, i es definiran les característiques de tots els components amb el suport d'un disseny virtual. Es definirà un concepte de producte, així com una solució concreta per tal de poder adaptar el sistema a tots els espais. El projecte no inclourà part elèctrica ni electrònica ni el desenvolupament d'un prototip.





## **2 Antecedents i necessitats d'informació.**

Abans de decidir les característiques i funcionalitats que ha de tenir el transportador aeri accionat per motor lineal, es farà un estudi de les solucions que ofereix el mercat actualment per al disseny d'un transportador aeri; quines són les seves funcionalitats i especificacions tècniques, quins avantatges suposen respecte altres mètodes de transport, els costos d'adquisició i l'estalvi operatiu que suposa la seva implementació en una planta, etc.

Amb les especificacions tècniques dels principals transportadors actuals es tindrà aproximació de les característiques i limitacions de cada solució emprada per cada fabricant, com per exemple la velocitat de desplaçament, el pes que pot suportar el sistema (tant per carro com amb el conjunt), el nombre de carros que pot haver-hi, la distància entre carros, el consum elèctric que generen, etc.

S'han realitzat cerques sobre motors lineals ja que aquest serà inequívocament el motor que propulsarà el transportador per requeriment del client. S'ha estudiat els diferents tipus de motors que ofereix el mercat; així com el principi de funcionament d'aquests, que es requereix per a fer-los funcionar, quines són les seves aplicacions en l'actualitat. També s'ha demanat informació a la empresa INNOVEM en referència al motor lineal que utilitza el seu prototip, ja que aquest serà el que portarà el transportador. En les fases posteriors del projecte hi haurà diverses reunions amb aquesta entitat.

### **2.1 Motors lineals.**

#### **2.1.1 Història.**

El primer model teòric d'un motor lineal va ser descrit en una patent nord-americana (US 782312) l'any 1905 per *Alfred Zehden* amb l'objectiu de desplaçar trens o elevadors de càrrega. L'any 1935 l'enginyer alemany *Hermann Kemper* va construir el primer model a escala, obtenint la patent l'any 1939. *Eric Laithwaite*, un enginyer elèctric d'origen anglès va desenvolupar el primer model complet i a escala real d'un tren de levitació propulsat per motors lineals al final de la dècada de 1940.

El tren TELMAG també va ser un dels pioners en el transport electromagnètic sense rodes. Va ser desenvolupat l'any 1967 (i en constant desenvolupament des d'aleshores) per *Máximo Garía Sucre, Albert Serra Valls i Calos Gago Bousquet*. El principal avantatge d'aquest tren respecte models anteriors és la seva gran capacitat de resposta amb plans inclinats. Aquest tren és capaç de pujar 800m de desnivell en un tram de 10km, respecte que un tren convencional té un règim d'ascensió de 2,4m per cada 100m.

En els anys posteriors el desenvolupament levitació magnètica va estar estretament lligat amb els motors lineals. El gran avantatge de la unió d'aquests dos conceptes és que es manté el carro tractor levitant sobre la via gràcies a les forces i la disposició d'uns imants sobre la via i el carro tractor (via de levitació magnètica). D'aquesta forma s'elimina tant el desgast mecànic que produeix la fricció entre elements, com la càrrega deguda a la força de fregament. En els anys posteriors a la construcció de *Laithwaite* es van construir diversos trens de levitació impulsats per aquest sistema, com el *Limino japonés*, tot i que també han estat utilitzats amb èxit en trens convencionals com el model canadenc *Advanced Rapid transit* de *Bombardier*, que consisteix en una tercera via entre les dos vies convencionals d'un tren, on va ubicat un motor lineal d'inducció.

Els motors lineals són una indústria en constant desenvolupament des de la seva aparició. Amb el descobriment i perfeccionament dels motors lineal d'alta acceleració va aparèixer un nou ventall d'aplicacions, des de canons electromagnètics, fins a sistemes de catapultes electromagnètiques per el llançament d'avions i naus espacials, tot i que aquests últims encara estan en desenvolupament. [1],[2]

### **2.1.2 Perquè utilitzar motors lineals a la indústria?**

En l'actualitat un elevat percentatge dels moviments produïts per les màquines de qualsevol indústria consisteix en desplaçaments rectilinis (com en el cas dels transportadors aeris). Un dels problemes clàssics a l'hora de dissenyar una màquina consisteix en que el moviment tal i com es desitja en el nostre procés no sol coincidir amb el moviment que es produeix en el motor. Els motors convencionals generen una cinemàtica rotativa, de desenes de voltes per segon i un parell moderat. En canvi aquesta màquina necessita una cinemàtica lineal de poca velocitat i amb un parell alt.

Per a convertir el moviment rotatiu en lineal s'ha optat tradicionalment per sistemes mecànics de transmissió com corretges o cremalleres, més els components requerits per a guiar lateralment el desplaçament (com per exemple rails o guies). Per a disminuir la velocitat de gir i augmentar el parell disponible en l'eix de sortida la solució universal adoptada ha sigut el reductor (ja sigui una caixa d'engranatges, vis sense fi/corona, planetari, etc) [3].

### **2.1.3 Principis de funcionament motor lineal.**

Un motor lineal és un tipus de motor elèctric que té el seu estator obert i distribuïts al llarg d'una via de tal forma que envers de produir una força de torsió, produeix una força lineal en el sentit de la longitud.

D'una forma més precisa, un motor lineal està compost per un element primari, on es troben els debanats, i un element secundari que s'estén al llarg de la distància que es vol recórrer, aportant la possibilitat de disposar diversos primaris sobre un mateix secundari. L'element secundari està destinat a romandre estàtic a la via (aquest element s'anomenarà estator), mentre que l'element primari tindrà la capacitat de realitzar moviments de forma lineal i paral·lela a l'estator (aquest element s'anomenarà lliscador).

Un cop aconseguida la disposició lineal dels elements del motor, en un d'ells s'ubicarà el debanat que produeix un camp magnètic que es desplaça en un sentit determinat (aquesta peça es denomina armadura). En l'altra peça, s'ubicarà una làmina conductora (en el cas dels motors lineals d'inducció) o els imants permanents que reaccionen davant la presència del camp magnètic variable de l'armadura (en el cas dels MLSIP). La peça que conté aquest element s'anomena rail de reacció o excitació. S'ha de tenir en compte que l'armadura o el sistema d'excitació pot situar a l'estator o al lliscador indistintament.

En la figura 2.1 s'il·lustra l'esquema d'un motor lineal d'inducció i un motor lineal sincrònic de flux transversal, indicant els elements primaris i secundaris, com estan ubicades les bobines i la part imantada i mostrant també la trajectòria del flux magnètic. [2]  
[3]

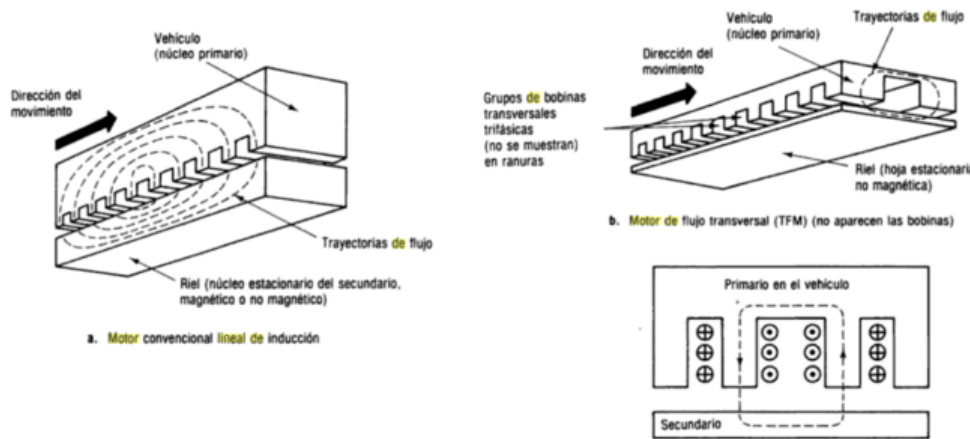


Fig 2.1 Motor lineal d'inducció i motor lineal de flux transversal. [2]

### 2.1.4 Classificació dels motors lineals.

Formen part del conjunt dels motors elèctrics, però dins dels motors lineals podem distingir diversos tipus en funció de la forma que es propulsen:

- **Electrostàtics:** Basen el seu moviment en les forces d'atracció i repulsió de les càrregues elèctriques.
- **Piezoelèctrics:** El seu moviment es produeix per les vibracions produïdes en un material piezoelèctric que és excitat per una font elèctrica. Es sol utilitzar freqüentment per a moure motors lineals petits.
- **Magnetostricció:** Produeixen el moviment degut a les vibracions que es creen en un material degut als canvis del flux magnètic.
- **Electromagnètics:** Produeixen moviment per mitjà de l'atracció dels camps magnètics generats a les bobines.

De tots els tipus mencionats, els més comuns i els que més s'ajusten a les necessitats del projecte són els electromagnètics, degut a la seva facilitat de fabricació, la seva disponibilitat al mercat i les característiques mecàniques. Es pot establir una classificació addicional dins aquest grup de motors lineals electromagnètics:

- **Motors lineals d'inducció o asincrònic:** En un motor d'inducció o asincrònic, el **rotor** (lliscador en el cas dels ML) mai arriba a girar (o desplaçar-se

longitudinalment en el cas del ML) a la mateixa freqüència que el camp magnètic de l'estator (d'aquí el nom asincrònic). Aquesta diferència de fase és directament proporcional si augmentem el parell del motor. Es poden classificar per nombre de fases, el nombre de pols o pel tipus de rotor (bobina o gàbia d'esquirol). Els motors lineals d'inducció són utilitzats per normalment aplicacions d'alta acceleració, posteriorment es parlarà d'aquesta distinció. [4]

- **Motor lineal sincrònic:** A diferència dels motors anteriors, en els motors lineals sincrònics el lliscador es desplaça a la mateixa velocitat que el camp magnètic de l'estator. S'estableixen dos camps magnètics, un creat per l'inductor del motor (armadura) i un creat per el rail d'excitació. Els dos camps tendeixen a alinear-se buscant l'estat de mínima energia (anomenarem aquesta velocitat "Velocitat de sincronisme"), proporcionant així una força axial en la direcció del moviment. Són els més freqüents per a aplicacions que requereixin una baixa acceleració i una alta potència. Requereixen de la presència d'imants permanents o electroimants al llarg de tota la ruta de desplaçament del lliscador, essent aquests primers els més utilitzats per el seu cost. [4],[5]
- **Motor lineal de reluctància:** El moviment s'obté a partir de la transició del camp magnètic als punts que presenten la mínima reluctància magnètica (els punts amb menor resistència al flux magnètic). Són els menys desenvolupats degut a les seves dificultats de fabricació, però per altra banda són els més interessants degut a que no és necessari disposar d'imants permanents a la via per al seu funcionament.[6]
- **Corrent directe:** Es poc utilitzat degut a la seva baixa eficiència i el seu alt cost d'adquisició, s'utilitzen per aplicacions d'alta acceleració (railgun, canó electromagnètic, etc).

Es molt comú trobar els diferents tipus de motors lineals agrupats en dos grans grups, en funció del seu nivell d'acceleració:

**Motors lineals d'alta acceleració:** Motor lineal d'inducció, Corrent directe, Electroestàtics.

**Motors lineals de baixa acceleració:** MLSIP, piezoelèctrics.

### **2.1.5 Motor TELMAG: Motor lineal de reluctància commutada.**

El motor lineal que portarà el transportador aeri serà un model amb el mateix funcionament que el que porta el tren TELMAG desenvolupat per l'empresa INNOVEM. S'han realitzat dues reunions amb Albert Serra, un dels enginyers que va desenvolupar el primer model del TELMAG i que ha treballat amb motors lineals durant molts anys.

Segons Albert, el motor lineal de reluctància és inequívocament el més adient per a aplicar al transportador per diversos motius:

- Es tracta d'un motor on les forces electromagnètiques serveixen tant de mitjà de propulsió com de mitjà de sustentació a la via sense que hi hagi fricció ni desgast mecànic entre aquests dos elements. El sistema magnètic de subjecció a la via.[6]
- No té cap tipus de limitació en pujar pendents (degut a la desaparició de la força de fregament, aquest motor podria pujar teòricament una paret vertical de 90°).
- Ús de bateries DC recarregables a cada estació (ja que el motor pot funcionar també com a generador i així carregar-les), per tant no és necessària cap tipus de catenària o de cable per a alimentar la locomotora.
- Pressió uniforme: No exerceix forces puntuals sobre la via sinó que la força es reparteix uniformement.
- Via passiva sense bobinat ni electrificació. Un dels principals problemes dels motors lineals és l'alt cost d'acondicionat de la via. Amb el motor de reluctància solucionem aquest problema ja que la via no ha de tenir cap element, abaratint així els costos de construcció i manteniment.

### **2.1.6 Avantatges i inconvenients dels motors lineals.**

[3]Proporcionen una sèrie d'avantatges respecte als sistemes de transmissió mecànica convencionals:

- Reducció dels nivells de vibració sense comprometre el grau de prestacions.
- Baix nivell de soroll fins i tot en altes tensions (causat per l'absència de fricció).
- Cap tipus de folgança entre components ni presència de molles que desgastin els components en posicions de repòs.
- Elevats valors de velocitat màxima.
- Sistema molt més precís a altes velocitats.
- Millor acceleració.
- Millor eficiència en els passos de frenada, pas per plans amb inclinació i fins i tot verticals (degut a la desaparició de la força de fregament).
- Cost de manteniment més baix, millora la vida útil de servei i la fiabilitat del sistema.

Per altra banda aquest tipus de motors presenten alguns inconvenients:

- Necessitat de disposar sistemes de refrigeració i/o aïllament tèrmic per a dissipar el calor (las altes temperatures poden ocasionar pèrdues del rendiment).
- Increment del cost respecte a les solucions basades amb motors rotatius.
- Aparició d'esforços a l'estructura de major o menor consideració. Aparició de soroll electromagnètic degut a les forces d'atracció normals al moviment.

### **2.1.7 Aplicacions dels motors lineals.**

Sens dubte l'aplicació més famosa dels motors lineals és el sistema de propulsió dels trens MAGLEV, però també és utilitzat en molts altres àmbits com per exemple el cas d'aquest projecte, un transportador aeri industrial.

- Ús en sistemes de control de moviment i sistemes de desplaçament lineal.
- Sistemes de transport i manipulació, dispositius d'alimentació, equips de tracció.
- Sistemes d'embalatge.
- Sistemes d'assemblatge i manipulació.
- Sistemes de processat de fusta.

- Sistemes de perforació i tall .
- Sistemes de premses petites.
- Mecanitzat l'alta velocitat.
- Impressores 3D i escàners.

Altres aplicacions no incloses anteriorment són:

- Ús en l'acceleració de muntanyes russes.
- Trens convencionals.
- Disseny armamentístic.
- Sistema d'enlairament electromagnètic per a portaavions.
- Propulsió de naus espacials.

La majoria de models que trobem que poden ser altament aplicables al nostre cas són del tipus sincrònic amb imants permanents:



Fig 2.2 Motor lineal U-Channel (dreta) i motor lineal [5],[7]

## 2.2 Transportadors aeris.

Un transportador aeri és un conjunt mecànic que permet el desplaçament de peces entre els diferents espais d'una línia de producció. El principal avantatge dels transportadors és la seva flexibilitat ja que s'adapten a les necessitats i condicions de les línies de producció. Són un mecanisme amb un alt nivell d'automatització i sincronització amb la línia de producció allà on s'instal·lin, permetent la continuïtat de les operacions sense la necessitat del tractament manual per al transport de la peça i/o producte en procés d'un punt a un altre.[8]

Els transportadors aeris consisteixen en una estructura amb perfilaria d'alumini o acer que suporta diferents elements de transport com poden ser: sistemes de rails, rodets, cadenes i



cintes mogudes per **autoreductors**, ascensors i canvis de direcció, o cilindres pneumàtics, entre d'altres. Tots els transportadors han de portar incorporats **sistemes de protecció** (metacrilats, senyals de perill, pantalles protectores, etc) per evitar tant danys a l'espai de treball com als operaris que treballen prop dels transportadors. [9]



Fig 2.3 Exemple de transportador aeri per al transport de productes alimentaris. [10]

L'estructura de suport dels carros es troba situada a una certa alçada (d'aquí el nom de transportador "aeri"), i formarà el circuit corresponent al flux de materials desitjat. El rail de transport conté els carros tractors que tindran acoblats una sèrie d'estructures suport per al transport del material. Aquesta estructura pot variar substancialment depenent de la naturalesa del producte a transportar (per exemple la figura 2.1 correspon a un transportador per a pollastres). Aquesta estructura de subjecció de materials és fàcilment intercanviable en la majoria de casos, per tant la flexibilitat del sistema és molt gran, ja que canviant aquesta estructura de suport del material es pot canviar de forma molt fàcil el material a transportar. En alguns casos on s'han de transportar materials molt diferents en la mateixa línia, aquesta estructura té forma de caixa per tal de no haver d'utilitzar un suport en concret per a cada material. [10]



Fig 2.4 Estructura de caixa per al transport de matèria [15].

### **2.3 Avantatges de la utilització de transportadors aeris en processos productius.**

La majoria d'ofertes de fabricants coincideixen en que l' implementació d'un transportador aeri en una planta suposa un 40% d'estalvi en els costos operatius de transport interior de la planta, ja que s'automatitza el procés de transport i aquest es realitza de forma molt més ràpida i eficient, accelerant d'aquesta molts processos tant de producció, com de distribució interior de la planta, que d'altra manera s'haurien de realitzar o bé amb transport humà (ja sigui amb carretons manuals de baixa capacitat o bé amb carretons elevadors) o amb altres sistemes de transport que no resulten tan eficients (cinta transportadora, corrons d'acer...).

Un altra gran avantatge dels transportadores aeris es l'estalvi d'espai que suposen. Al estar disposats a una certa alçada no ocupen una superfície estàtica al terra de la planta a diferència d'altres sistemes de transport industrials. Per exemple si s'utilitza una cinta transportadora envers d'un transportador aeri, aquesta ocuparà un espai igual en les dimensions d'aquesta cinta més la superfície de gravitació i seguretat, d'altra forma si s'utilitza transportador aeri es podria circular per sota d'aquest (sense tallar la planta com en el cas de la cinta) i tan sols hi haurà les columnes de subjecció a terra de la estructura de

transport. En la següent figura s'il·lustra de forma gràfica l'aprofitament d'espai que suposa un transportador aeri. [11]



Fig 2.5 Comparativa model amb transportador aeri (esquerra) i model amb cinta transportadora convencional (dreta). [12]

A la figura anterior s'observen dos exemples de plantes de producció. A l'esquerra es pot veure una planta de fabricació de caixes de plàstic que utilitza un transportador aeri per a la seva logística interna, i a la dreta una planta dedicada a la fabricació de peces d'automòbils que utilitza una cinta transportadora. Es pot veure que la planta de la dreta queda clarament condicionada per la disposició de la cinta, desaprofitant així espai de la planta i ocasionant problemes per al desplaçament dels operaris. Per altra banda el transportador aeri aprofita molt més l'espai, sense crear talls o enmig de la planta facilitant el moviment d'operaris sense interrompre en cap moment el flux de material. Podem veure que fins i tot és possible aprofitar l'espai sota el transportador com a zona d'estacionament de material, fet que resultaria impossible amb una cinta transportadora.

Els sistemes de transportador aeri no només suposen un avantatge per alliberar espai del terra, sinó que també són una eina ergonòmica per als operaris ja que es pot configurar l'alçada del material segons les necessitats, pot tenir un compensador de càrrega reduint així el pes mort, i es pot configurar de forma molt flexible l'arribada de material a les diferents estacions de treball. Els beneficis en conjunt de la utilització de transportadors aeris s'exposen a continuació.[12]

## **1. Rapida amortització:**

La simplicitat de l'estructura dels transportadors aeris suposa una Inversió inicial baixa i una amortització d'aquesta en un període inferior a un any.

## **2. Eficàcia:**

Els transportadors moderns estan dotats amb sistemes de navegació i comunicació continua amb les estacions de treball, escollint sempre la ruta més ràpida per suplir les necessitats materials.

## **3. Increment de la productivitat:**

La automatització del procés d'aprovisionament de les estacions de treball implica una optimització molt gran del procés que farà augmentar la productivitat de forma directe.

## **4. Flexibilitat del sistema:**

La facilitat de muntatge dels transportadors aeris fa possible augmentar o canviar la seva estructura de forma que pugui ampliar-se o modificar-se sense alterar el ritme de treball.

## **5. Adaptabilitat:**

Aplicable a qualsevol espai i alçada i a qualsevol tipus de carga no superior als 80-100 kg (modificant el sistema de subjecció de càrrega per cada carro en funció del material a transportar, o be cercant un sistema que permeti transportar materials de naturaleses diferents, com una caixa).

## **6. Flux constant de matèria:**

Els transportadors moderns garanteixen un flux constant d'aprovisionament. Es poden crear bifurcacions o diverses vies a un punt per tal d'evitar qualsevol tipus d'embús entre carros que pogués ocasionar demores.

## **7. Facilitat d'ús:**

Es pot sol·licitar un material simplement donant una ordre al ordinador central per mitjà d'una pantalla tàctil que permet la comunicació.

## 2.4 Exemples de transportadors aeris.

Al mercat es poden trobar molts tipus de transportadors aeris accionats per sistemes molt diferents. Aquest estudi inclourà els principals tipus de transportadors en funció del mètode emprat per a moure els carros, i també exemples reals d'empreses que fabriquin models concrets de transportadors. Amb aquest estudi es trobarà informació sobre quins requeriments tenen els sistemes actuals i així tenir una idea de sobre quins paràmetres haurà de treballar el nou transportador.

Una empresa especialitzada en el disseny de transportadors de diferents sistemes i aplicacions es CMAT. Aquesta companyia realitza un estudi personalitzat per a cada client amb la finalitat de respondre de forma òptima a les necessitats de l'edifici (dimensions) i sistema productiu (necessitats i flux de materials). Dins la gamma de productes CMAT es poden diferenciar 3 grans tipus de transportadors. A la següent taula s'il·lustra els diferents transportadors de CMAT amb algunes característiques.[8]

Tipus de transportador	Material	Capacitat màxima de càrrega
De corda o cable.	Acer galvanitzat o inoxidable.	40 kg.
Gravitacional, de classificació o emmagatzematge.	Acer galvanitzat o inoxidable.	70 kg.
Manual.	Acer galvanitzat (pot introduir-se en un forn a 220°C).	1000 kg.
Emmagatzematge de roba.	En barres d'acer o carros.	50 pcs. De roba per carro.

Taula 2.1 Exemples de transportadors aeris.[8]

S'analitzaran els transportadors de cable o corda ja que aquests són els que s'assemblen més al transportador que es desenvoluparà al llarg projecte. Es destacaran les especificacions tècniques d'aquests dos tipus de transportadors, ja que el nou model amb motors lineals hauria de ser capaç de mantenir o superar aquestes requeriment.

### 2.4.1 Transportador de corda CMAT.

Circuit continu sobre un guia tancada que permet alimentar les estacions de treball. Les cargues o productes es transporten a través de ganxos, pines o balancins. Els sistemes per a penjar les carregues s'adapten al producte i a les restriccions de producció: mono-penjamment o multi-penjamment, conformat amb la mesura que requereixi el client. Es possible adaptar aquest transportador a sistemes de càrrega i descàrrega automàtica, el que fa del transportador un circuit complet: transportar de la caixa de cartró a la zona de preparació de comandes. És un sistema modulable i evolutiu. [14]

Característiques	Seguretat	Prevenició
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Guia tancada d'acer galvanitzat o inoxidable.</li> <li>2. Transportador per carro simple o doble .</li> <li>3. Circuit continu.</li> <li>4. Transport de càrregues per ganxo , pinça o balancí.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carcassa de protecció.</li> <li>2. Protecció de filat o de cable.</li> <li>3. Sistema anti-incendis.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema ergonòmic: sistema de fixació d'altura.</li> <li>2. Disminució del material emmagatzemat a terra: circulació facilitada.</li> </ol>
<b>Càrrega màxima carro doble</b>	40 kg	
<b>Velocitat mínima del carro doble</b>	0,5 m/min	
<b>Velocitat màxima del carro doble</b>	18m/min	
<b>Material de la guia</b>	Acer galvanitzat o inoxidable.	
<b>Material del carro</b>	Acer galvanitzat o inoxidable.	
<b>Material de la corda</b>	Polipropilè o corda trenada / drissa.	

Taula 2.2 Característiques i especificacions transportador de corda CMAT. [14]

### 2.4.2 Transportador de cable CMAT.

Es tracta d'un sistema mol semblat a l'anterior amb unes característiques molt similars, però en aquest cas aplicat a la indústria agroalimentària. Tots els materials són d'acer

inoxidable (per normativa la maquinària de manipulació agroalimentària ha de ser-ho), fàcil de rentar amb aigua a pressió (sistema incorporat al transportador) i també es possible el pas del transportador per una rentadora. De la mateixa forma que el sistema accionat per corda, és possible acoblar-lo al moll de càrrega i descàrrega.

Característiques	Seguretat	Prevenió
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Guia oberta d'acer inoxidable .</li> <li>2. Carro inoxidable amb dos rodets .</li> <li>3. Cable de corretja rodona.</li> <li>4. Transport de càrregues per ganxo , pinça o balancí.</li> <li>5. Sistema resistent a detergents.</li> <li>6. Es pot rentar amb aigua a pressió o introduir-se a una rentadora.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carcassa de protecció.</li> <li>2. Protecció per cable o de filat sota els punts alts.</li> <li>3. Sistema anti-incendis.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema ergonòmic: sistema de fixació d'altura.</li> <li>2. Disminució del material emmagatzemat a terra: circulació facilitada.</li> </ol>
<b>Càrrega màxima carro doble</b>	30 kg	
<b>Velocitat mínima del carro doble</b>	0,5 m/min	
<b>Velocitat màxima del carro doble</b>	18m/min	
<b>Material de la guia</b>	Acer inoxidable.	
<b>Material del carro</b>	Acer inoxidable.	
<b>Material de la corda</b>	Polipropilè o corda trenada / drissa.	
<b>Tipus de guia</b>	Oberta.	

Taula 2. 3 Característiques i especificacions transportador de cable CMAT. [15]

### 2.4.3 Transportador aeri per a càrregues lleugeres intel·ligent

#### MECALUX Esmena.

Aquest és un innovador sistema per al transport de caixes o qualsevol tipus de càrrega lleugera. Es tracta d'un sistema Super intel·ligent on cada carro conté una centraleta que funciona com a un GPS. Des de les diferents estacions de treball es sol·licita el material al ordinador central que controla el sistema i aquest respon la sol·licitud enviant un carro amb el material de forma ràpida i completament automatitzada, ja que és possible sincronitzar el software de control amb un magatzem que també estigui automatitzat. Els carros d'aquest sistema funcionen de forma independent i autònoma, respectant un estricte sistema de

seguretat per tal d'evitar accidents i col·lisions entre els diferents carros que estan circulant simultàniament. es tracta segons el fabricant del sistema del futur pensat i dissenyat per aplicar-lo a la indústria 4.0. El concepte d'aquest transportador combina un alt grau d'automatització amb un estalvi de costos pel que fa al disseny de l'estructura. L'estructura està feta a partir de perfils normalitzats de bigues (IPE 100) i no és necessària la creació d'elements de tracció en la estructura feta a partir d'aquestes bigues. Per a moure els carros s'utilitza un motor rotatiu (un motor per a cada carro) que tracciona 4 rodes que estan recolzades sobre la superfície d'aquesta biga.

Per una banda el disseny d'aquesta estructura disminueix de forma substancial els costos de la instal·lació i dóna un punt extra de flexibilitat ja que és molt senzill modificar l'estructura i realitzar canvis de nivell o vies amb corba. Per altra banda un dels principals desavantatges és el fet de que cada carro tingui un motor independent, això ocasiona un alt cost del carro i ocasiona un consum elèctric molt més elevat que altres models de transportadors, però aquest fet es pot veure compensat amb l'increment productiu que suposa la seva implementació. [15]

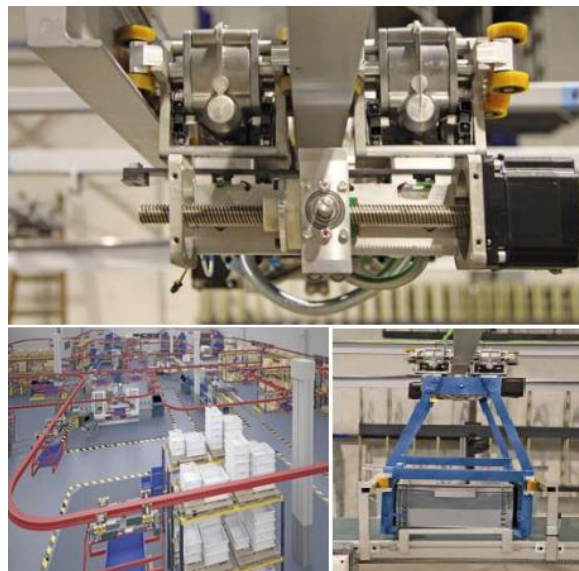


Fig 2.6 Sistema transportador aeri Mecalux. Imatge superior i inferior dreta corresponen al detall del sistema d'acoblament. Imatge inferior esquerra sistema al complet (disseny virtual). [15]



Característiques	Seguretat	Prevenció
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estructura bàsica i simple.</li> <li>2. Capacitat de transport variable en funció del nombre de carros que s'adquireixi.</li> <li>3. El sistema pot treballar amb una gran quantitat de carros.</li> <li>4. Transport de càrregues per caixa de sèrie, hi ha una gamma extensa dels sistema de suport per a la càrrega.</li> <li>5. Es adaptable amb elevadors intel·ligents.</li> <li>6. Integració del sistema amb la gestió del magatzem i el software <b>ERP</b>.</li> <li>7. Es pot desplaçar amb perfils inclinats.</li> <li>8. No es necessària una mida mínima per a la instal·lació.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de seguretat actiu de protecció de càrregues i persones. Làsers de detecció automàtica per a la detecció d'anomalies i imprevistos en el circuit.</li> <li>2. Sistema de sensors detectors de presència (funcionament per ultrasons) per tal de detectar la proximitat d'altres carros i evitar col·lisions.</li> <li>3. Es pot regular la velocitat en temps real.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema ergonòmic: sistema de fixació d'altura.</li> <li>2. Disminució del material emmagatzemat a terra: circulació facilitada.</li> <li>3. El sistema disposa de malles metàl·liques per tal de poder operar sota els carros amb seguretat.</li> </ol>
<b>Càrrega màxima per carro</b>	50 kg	
<b>Velocitat màxima del carro</b>	2 m/s	
<b>Material de la guia</b>	Acer galvanitzat.	
<b>Material del carro</b>	Acer galvanitzat.	
<b>Distància òptima entre carros</b>	entre 1 i 3m	
<b>Consum elèctric per carro</b>	350 W·h a règim normal.	

Taula 2.4 Característiques i especificacions transportador aeri per a càrregues lleugeres Mecalux.[15]

**Sistema de navegació integrat:** Una gran innovació d'aquest sistema es el software d'última generació que utilitza per al posicionament. Cada carro incorpora un sistema de navegació que li permet calcular la ruta més ràpida fins a les estacions de treball en funció de les disponibilitats i l'afluència de carros que hi ha a cada via, modificant l'elecció si detecta embussos. El concepte del sistema es *Traslladar la lògica del transport en automòbil al món dels sistemes de manteniment*.

**Canvis de via i canvis de nivell:** Quan el carro detecta que hi ha un impediment en un carril seleccionat, es trasllada de forma automàtica al carril paral·lel. Per realitzar aquests canvis de carril, el mecanisme de subjecció es desplaça 180° sobre el seu eix, subjectant-lo

perfectament al nou carril. Pel que fa els canvis d'alçada, aquests es realitzen de forma estructural. És a dir haurem de saber a quina alçada s'haurà de dispensar el material en cada estació i col·locar les bigues que formen la estructura amb plans inclinats per tal d'aconseguir l'alçada desitjada. El sistema suporta una inclinació màxima de 25 °.

## **2.5 Normativa aplicable.**

**UNE-EN:15433-6/2008:** *Cargas de transporte. Medición y evaluación de las cargas mecánicas dinámicas*

**CEN/TC 168:** *Cadenas, ganchos, cables, eslingas y accesorios. Seguridad*

**UNE 58135/1989:** *Aparatos de elevación. Características técnicas y documentos de aceptación*

**UNE-EN 62520/2012:** *Tracción eléctrica. Motores lineales asíncronos de tipo devanado primario corto, alimentados por convertidores.* FONT:AENOR

**Real Decret 751/2011:** Referent a estructures d'acer de caràcter industrial

## 3 Disseny de la màquina.

### 3.1 Objectius.

Després de diverses reunions amb el ponent del projecte i de conclusions extretes en les fases preliminars del projecte els objectius plantejats en l'avantprojecte han tingut algunes modificacions:

**Objectiu 1 aplicació d'un motor lineal com el de la maqueta del TELMAG a un transportador aeri:** El motor implementat es el mateix que el de la maqueta del TELMAG, per tant el motor plantejat haurà de tenir moltes similituds amb aquest, intentarà per tant copiar les parts i mantenir l'estructura el màxim possible, reforçant els punts allà on pertoqui.

**Objectiu 2 Seguretat del sistema:** Els components i cargols que garanteixen les unions seran dimensionats d'acord amb les normatives corresponents, sobredimensionat en els casos que es consideri necessari o no es trobi una normativa que regula un coeficient de seguretat en concret. L'estructura es calcula d'acord amb el Codi Tècnic d'Edificacions d'acer.

**Objectiu 3 Sistema de via modular:** S'ha decidit que degut a la naturalesa d'un transportador aeri, que es un estructura que pot veure's modificada per requeriments de planta, els components que formen la via han de ser modulars i adaptables, i la disposició d'elements estructural no pot ser fixa i ha de possibilitat emplaçar-los en diferents punts a poca distancia. S'ha decidit no realitzar canvis d'alçada i que el transportador treballi sempre en el mateix pla.

**Objectiu 4 Sistema de càrrega versàtil:** La solució aplicada per a transportar la càrrega ha de ser capaç d'adaptar-se a diferents tipus de recipient i no limitar-se a un sol contenidor preestablert.

## **3.2 Metodologia.**

Prèviament a definir les característiques i funcionalitats del diferents elements que donen solució als requeriments plantejats es definiran una sèrie de pautes a seguir respecte a la tipologia dels components i del sistema. El disseny de la màquina estarà purament centrat en l'anàlisi i la solució mecànica de la màquina i en la creació de concepte. No es realitzarà disseny electrònic ni elèctric de cap mena, però si es tindrà en compte el posicionament d'aquests components i per tant es deixaran els espais corresponents allà on escaigui.

### **3.2.1 Metodologia de disseny.**

El propòsit inicial es adaptar el motor del tren TELMAG a un transportador aeri, el lògic dons que l'estructura d'aquest motor sigui semblant a aquesta pel que fa la forma. S'intentarà copiar al màxim aquesta estructura redimensionant-la a les mides desitjades. Totes les unions entre components s'intentarà en la mesura del possible que siguin cargolades (ja sigui roscant els components o utilitzant unions cargol - femella) per tal de donar una facilitat en el muntatge del motor. Es limitaran las soldadures tant sols a elements estructurals o components de caràcter permanent, per ta de donar un alt grau d'adaptabilitat.

Pel que fa la metodologia de disseny de la via aquesta ha de ser inequívocament d'una naturalesa modular, ja que es tracta d'una màquina destinada a espais irregulars. S'utilitzaran també unions cargolades sempre que es pugui per tal de poder modificar la ruta sempre que sigui pertinent.

S'intentarà utilitzar components estandarditzats amb geometries simples (perfils rectangulars, tubulars, IPN, etc.) per a dissenyar els components del motor i de la via, contribuint també a que el cost i la facilitat de fabricació sigui lo més òptima possible. Es realitzarà un disseny tant de via com de motor amb una gran component de matricialitat.

### **3.2.2 Metodologia de càlcul i nomenclatura.**

S'utilitzarà el llibre de disseny de màquines *Shigley* com a referència pel que fa fórmules i nomenclatura. Es important definir aquest punt dons si es consulten diferents llibres poden haver-hi variacions pel que fa la consideració de la nomenclatura.

El càlcul dels components es realitzaran a continuació de les explicacions del mateixos i serviran per a definir les seves formes i dimensions. Es començarà per el punt de subjecció de càrrega i s'anirà avançant amb la seqüència caixa - eix material – motor – via i estructura.

Per als components del motor s'aplicaran coeficients de seguretat compresos entre 2 i 4, en funció de la criticitat que suposa la fallada de component s'aplicarà un coeficient de seguretat més elevat, segons normativa d'aparells d'elevació industrial amb unions cargolades tots els cargols han de tenir un coeficient de seguretat dins aquest rang, s'aplicarà un coeficient de 4 a tots els cargols. La comprovació de les vies i les columnes es realitzarà segons el real decret 751/2011, referent a estructures industrials d'acer, punts rellevants i emprats a Annex III.

### **3.3 Estructura porta – matèria.**

#### **3.3.1 Caixa.**

Es començarà dimensionant els elements del sistema porta material des de la part inferior. Com a solució per al transport de material es proposa una caixa - contenidor industrial fabricada de xapa metàl·lica d'acer laminat de 5mm de gruix als laterals i 2 mm de gruix el fons. Aquests contenidors estan especialment dissenyats per al transport de la indústria pesada suportant una càrrega màxima admissible de 500kg. Com s'especifica a l'apartat de especificacions tècniques en cap cas sobrepassem una càrrega de 300kg , tenint sempre 200kg de marge entre la carrega màxima permesa i la admissible. També resulta interessant aquest marge degut a que al ser un sistema dinàmic, i al tractar-se de contenidors dissenyats per carregues i aplicacions estàtiques pot ser que es veies més desgastat en el temps que amb la seva aplicació tradicional.

Aquesta cistella té unes dimensions de 800 x 600x 500 mm (llargada x ample x alçada), un volum útil 200 litres (0,20 m<sup>3</sup>). Aquestes caixes estan ja homologades i legalitzades per al seu us amb la normativa pertinent, per tant no es realitzaran càlculs de resistència d'aquesta caixa. El pes de la caixa es de 40 kg.

Aquesta caixa ames consta de dos patins a la part inferior que permeten l'emmagatzematge sobre prestatgeries industrials, a més es ampliable una sobre quatre per tal d'optimitzar al

màxim l'espai quan aquesta no estigui amb ús. Informació detallada sobre el producte al punt 1 Annex I.

### **3.4 Unió caixa motor.**

En la fase de l'avantprojecte i durant el desenvolupament inicial del projecte, es va plantejar realitzar aquesta unió per mitjà d'una biga d'acer estructural 275 J0H soldada entre la part inferior de l'estructura del motor i una de les cares laterals de la caixa. Després de realitzar alguns càlculs en les fases preliminars s'ha observat que els esforços originats tant a la biga com a l'estructura del motor per l'emplaçament de càrrega asimètrica a la caixa poden augmentar i tenir grans variacions, obligant a sobre dimensionar alguns elements de forma innecessària incurrent així amb costos i amb pes addicional que obligaria a sobre dimensionar també altres elements. Tot i que el sistema s'ha d'utilitzar sempre que sigui possible amb càrregues simètriques, s'ha de tenir en compte que a la pràctica això tan sols pesarà en contades ocasions.

Si s'emplacés, per exemple, una càrrega a l'extrem oposat de la posició de la biga (de forma totalment asimètrica) aquesta generaria dos moments a la biga apart de la tracció generada per el propi pes, essent encara més grans quant el carro estigui amb moviment junt amb la càrrega. Això obligaria a triar seccions més grans que les estrictament necessàries per tal de poder garantir la seva resistència en aquestes situacions mantenint el coeficient de seguretat. Tampoc resulta interessant el fet de tenir aquests dos elements soldats ja que es limita la adaptabilitat del sistema al no poder canviar d'element de transport.

Per evitar els inconvenients comentats, i donar un alt grau d'adaptabilitat al sistema s'ha optat per realitzar la unió motor-caixa amb un ramal de 4 cadenes. Aquest sistema esta plantejat per al transport de càrregues dinàmic (elevadors, grues..), per tant es a priori un solució molt millor que la anterior.

El gran avantatge d'utilitzar un ramal de 4 cadena es la repartició de la càrrega total entre les quatre branques de forma simètrica, eliminant així les tensions excessives en un punt. Al tractar-se d'un element de subjecció no rígid i sense emportaments ni soldadures s'eliminarà la transmissió de moments originats per càrrega a l'estructura del motor. La força originada per el pes de la caixa generarà a l'estructura del motor una força en sentit

del pes, i el moments originats per càrrega asimètrica o per els vectors de acceleració i desacceleració comportaran desplaçament dels eslavons de la cadena i dels altres elements del ramal, com poden ser les anelles o els ganxos. D'aquesta manera es suprimeix el problema de l'aparició de moments flectors i tallants ja que aquests desplaçaments equilibraran aquestes forces. Per altre banda això generarà l'inconvenient del fregament entre elements del ramal o els forats d'ancoratge de la cadena a la caixa, fet que pot originar desgast en aquestes peces i obligarà a realitzar seguiments periòdics i canvis de peces si així escau. En el Annex IV s'inclourà la informació tècnica del producte, on apareixen les operacions periòdiques de manteniment segons la normativa tant per el propi ramal de quatre branques com per els altres elements propensos al desgast: els períodes de revisió en funció de temps o nombre de cicles X, les accions a realitzar en cada revisió, els paràmetres rellevants de cada element a inspeccionar a cada revisió, i els límits per els quals es considerarà un element malmès. També s'inclou un manual d'us segons normativa UNE-EN 818 per a emprar diferents tipus de subjeccions apart del pop, aportant així un grau mes de versatilitat al sistema al poder acoblar diferents tipus de recipients. [17]

Aquests sistemes de subjecció, tot i treballar com un sol conjunt, consten de diversos elements.

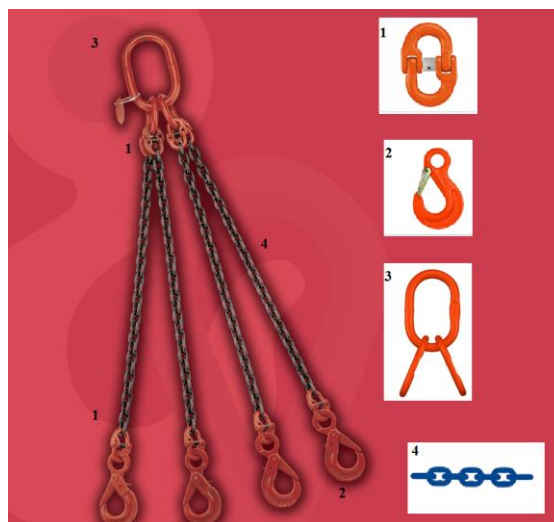


Fig 3.1 Pop amb 4 ramals de cadenes i components que el conformen, Annex IV

Hi ha diferents normatives que regulen els requisits dels elements que formen el pop, podem distingir una normativa per a cada element,

- UNE-EN 818-2 en referència als requisits de les cadenes i les toleràncies admissibles dels esclavons que la conformen.
- UNE-EN 1677-4 en referència al dimensionament de les esclavó mestre i accessoris d'extrem.
- UNE-EN 1677-2 i UNE-EN 1677-3 per als ganxos de elevació i suport (sense pestell de seguretat i amb pestell de seguretat respectivament).
- UNE-EN 13889 per als esclavons de connexió.

### **3.4.1 Capacitat de càrrega del conjunt del ramal.**

En la capacitat de càrrega total intervé la cadena i tots els accessoris que complementen el conjunt. La C.M.U de qualsevol esclavó mestre o accessori extrem ha de ser com a mínim igual a la C.M.U de l'eslinga. La C.M.U dels accessoris del extrem inferior de la eslinga ha de ser com a mínim igual a la del ramal al que està unit. Es dimensionaran aquests elements.

Un paràmetre molt important per a un funcionament òptim del conjunt es l'angle que hi ha entre la perpendicular al terra i el ramal de la cadena, que serà igual en tots el casos ja que la caixa es completament simètrica. En funció d'aquest angle  $\beta$  el sistema pot assumir una càrrega més o menys elevada. Hi ha dos rangs en funció d'aquest angle, per un costat tenim  $0^\circ < \beta < 45^\circ$  o  $45^\circ < \beta < 60^\circ$ . En el cas del transportador aeri aquest angle estarà condicionat per les dimensions de la caixa (600mmx800mm) i l'alçada L que es desitja. A continuació s'il·lustra una figura amb els paràmetres importants del ramal, i una taula del fabricant on s'observa la càrrega màxima admissible (en tones) en funció del rang de angles anteriorment comentat i el gruix dels esclavons de la cadena.



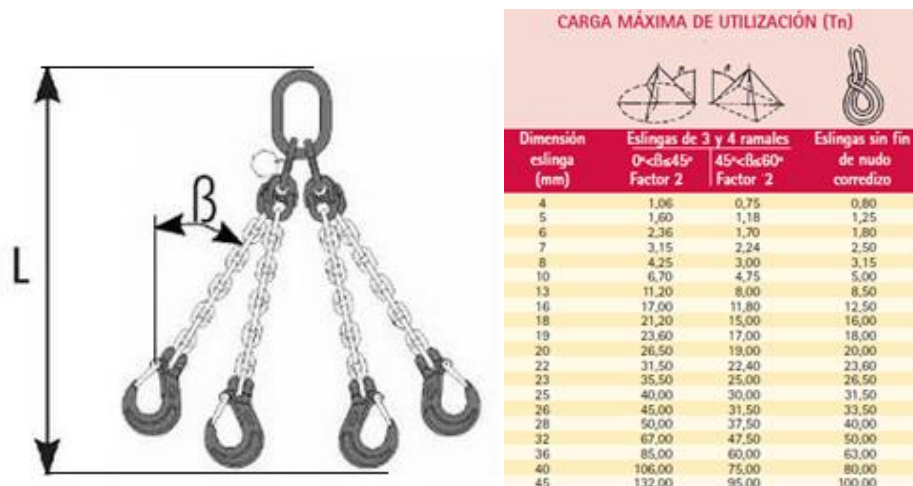


Fig 3.2 Cotes rellevants del pop (esquerra) i gruixos de les cadenes en funció de la càrrega (dreta). [17], Annex IV

El factor de seguretat aplicat a aquesta càrrega màxima és de 2, per tant s’haurà de dividir aquesta càrrega entre 2 si es vol un coeficient de seguretat de 4. Abans de procedir amb l’elecció dels components cal verificar quines son les condicions de dimensionat (L i β) per al cas del transportador. En la següent figura es mostren aquestes dimensions. Cal destacar que els valors de C.M.U que apareixen en aquesta taula corresponen a la resistència del conjunt de les 4 cadenes, aquest valor es una aproximació i pot variar en funció dels accessoris. Els criteris per a la selecció, per tal d’evitar al màxim els balancejos del conjunt i evitar també així el fregament excessiu entre components, s’ha establert una alçada L de 1m.

$\beta = 25^\circ$

L=1m

Longitud del ramal = 1,1m

Dimensions caixa=0,6 x 0,8m

Càrrega màxima Caixa + carrega =350 kg

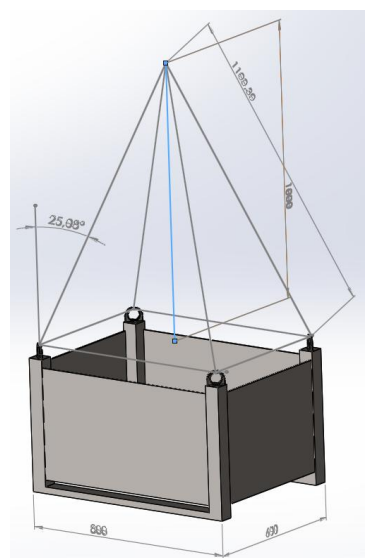


Fig 3.3 Aproximació a les dimensions del ramal de la cadena.

Càrrega màxima Caixa + carrega Coeficient seguretat 4 = 1400kg

Comparant aquest valor amb les capacitats de càrrega exposades en la taula anterior obtenim un gruix de 6mm d'eslavó; corresponent a una C.M.U de 2360kg per a 4 ramals i  $\beta < 45^\circ$ .

### 3.4.2 Dimensionat dels elements del ramal.

Els criteris per a la selecció d'aquest elements seran:

- Les càrregues límit de treball de cadascun dels elements, que venen donades per catàleg del fabricant i d'acord amb la normativa pertinent.
- Condicions dimensionals per l'assemblatge de components; és a dir que les mides entre els elements siguin similars i no entrin en conflictes dimensionals per tal de poder-les assemblar correctament sense crear tensions innecessàries entre elements.
- Normativa, pot haver-hi restriccions pel que fa les mides mínimes que ha de tenir un element.

#### 3.4.2.1 Dimensionat de la cadena.

Sabent la resistència admissible del sistema i amb les dimensions del conjunt unit a la caixa s'ha determinat una dimensió de 6mm d'eslavó gràcies a la figura 3.3. La gama de cadena corresponent a aquestes dimensions es la 6-8 (gruix lateral i frontal respectivament).

Les especificacions d'aquesta cadena de 6mm actuant com un sol element son les següents:

Grosor cadena	Carga límit trabajo kg	t mm	b <sub>1</sub> ≈ mm	Peso kg/m
6-8	1.120	18	8,0	0,8

SEGÚN NORMA  
DIN EN 818-2 O  
ISO 3076




Fig 3.4 Dimensions de la cadena empedrada. Annex IV

La càrrega límit de treball de 1.120kg correspon al pes màxim admissible per una sola cadena (sense cap dels altres elements) de un metro de longitud disposada 90° respecte al

terra, si s'uneixen 4 cadenes de la forma exposa anteriorment, la resistència conjunta arriba fins a 2360 kg amb el factor de seguretat aplicat.

### 3.4.2.2 Dimensionat de les anelles mestre.

Les anelles mestre i elements extrems han de ser dimensionats en funció de les càrregues que hauran de suportar, d'acord amb la normativa UNE-EN 1677-4.

Per a les anelles de dos costats paral·lels, la longitud y amplada mínima en funció de la C.M.U es pot veure en la següent taula:

C.M.U (Tn)	Longitud Interior Mínima (mm.)	Anchura Interior Mínima (mm.)
≤ 25	$58\sqrt{C.M.U.}$	$31,5\sqrt{C.M.U.}$
> 25	$45\sqrt{C.M.U.}$	$25\sqrt{C.M.U.}$

Taula 3. 1 Dimensions mínimes de les anelles mestre segons normativa UNE-EN 1677-4.[17]

En el cas del transportador la C.M.U serà de 2,36Tn, per tant sota el rang de 25 Tn:

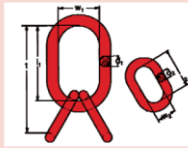
C.M.U (Tn)	Longitud inferior Mínima (mm)	Amplada interior Mínima (mm)
< 25	89,10	48,39

Taula 3.2 Dimensions mínimes de les anelles mestre aplicat a la C.M.U del transportador.

Un cop es sap les dimensions mínimes que han de tenir les anelles i la càrrega que han de suportar es procedeix a la elecció del model. Els valors exposats en la taula anterior corresponen a les cotes  $l_1$  i  $w_1$  respectivament:

**ANILLA TRIPLE PARA CADENA GRADO 80 SIN PARTE PLANA**

- Para DIN 5688-8. Pulpos de 3 y 4 ramales.
- Barnizado rojo.

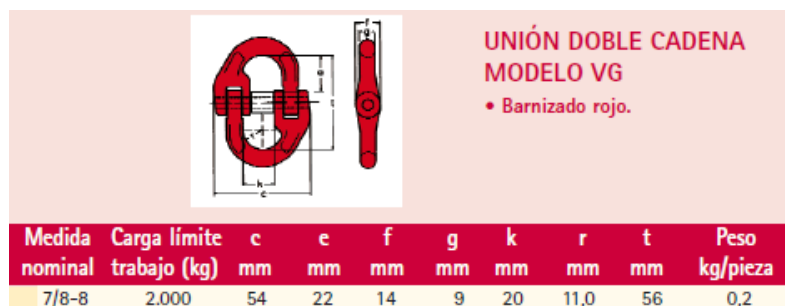


Carga Máxima Utilizable kg	Medida nominal	d1 mm	l1 mm	w1 mm	d2 mm	l2 mm	w2 mm	t mm	Peso kg/pieza
2.360	6/7-8	18	135	75	13	54	25	189	1.2

Fig 3.5 Dimensions de les cotes de les anelles seleccionades. Annex IV

### 3.4.2.3 Dimensionat dels eslavons de connexió i els ganxos.

En el cas dels eslavons de connexió i els ganxos, no hi ha una norma que recomani unes dimensions en funció de la C.M.U. ja que les característiques formals d'aquests elements poden variar en funció del fabricant o de la aplicació en el cas del ganxo. Per a triar aquests components s cercarà els que tinguin una C.M.U igual o superior als de la cadena i amb cotes assumibles per realitzar les unions.



**UNIÓN DOBLE CADENA  
MODELO VG**  
• Barnizado rojo.

Medida nominal	Carga límite trabajo (kg)	c mm	e mm	f mm	g mm	k mm	r mm	t mm	Peso kg/pieza
7/8-8	2.000	54	22	14	9	20	11,0	56	0,2

Fig 3.6 Dimensions dels eslavons de connexió. Annex VI



**GANCHO DE OJAL MODELO OHS CON SÓLIDO  
PESTILLO SEGURIDAD GALVANIZADO**  
• Barnizado rojo.

Medida nominal	Carga límite trabajo (kg)	b mm	d mm	h mm	l mm	m mm	s mm	t mm	Peso kg/pieza
6/7-8	1.500	24	12	30	143	26	23	103	0,6

Fig 3.7 Dimensions del ganxo. Annex VI

Component	Nombre	Pes (kg)	Pes total (kg)
Carrega	1	300	300
Caixa	1	40	40
Anelles mestre	1	1,2	1,2
Eslavons de connexió	8	0,2	1,6
Cadenes	4,4 m	0,8 kg/m	3,52
Ganxos	4	0,6	2,4
<b>Total (kg)</b>		348,72	

Taula 3.3 Taula resum pes dels components.

### 3.5 Dimensionat de la orella de subjecció del pop.

El pop anirà inserit entre un cargol subjectat per dues peces en forma d'orella que l'aguantaran, en un dels extrems hi haurà el capçal del cargol i en l'altre una femella de seguretat que impedirà que aquest es desassembli. D'aquesta manera es podrà desmuntar de forma fàcil el conjunt i no farà falta la presència de soldadures ni unions permanents per a realitzar aquesta unió.

Abans de començar dimensionar el cargol i les cotes significatives de les orelles s'ha de saber quin serà el producte total de la força que haurà de suportar derivat del vector pes originat per la carrega i el vector acceleració que apareixerà quan el motor es posi en marxa:

Partirem de l'expressió: Força = Massa · acceleració

Vector pes:  $F = 350 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$

$$F = 3430 \text{ N}$$

Vector acceleració  $F = 350 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s}^2$

$$F = 1050 \text{ N}$$

Producte vectorial dels dos vectors:

$$P = \sqrt{3430^2 + 1050^2} = 3587 \text{ N}$$

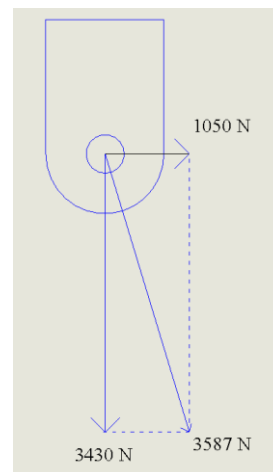


Fig 3.8 Esforços presents a l'orella.

### 3.6 Dimensionat del cargol.

Un cop es sap el valor total de la força que haurà de suportar el cargol es procedeix a fer el dimensionament. Degut a que es tracte d'una part de vital importància per al conjunt s'utilitzarà un cargol d'alta resistència de qualitat 8.8. el factor de seguretat  $n$  per aquest cargol serà de 4. Les condicions d'aquest cargol son les següents:

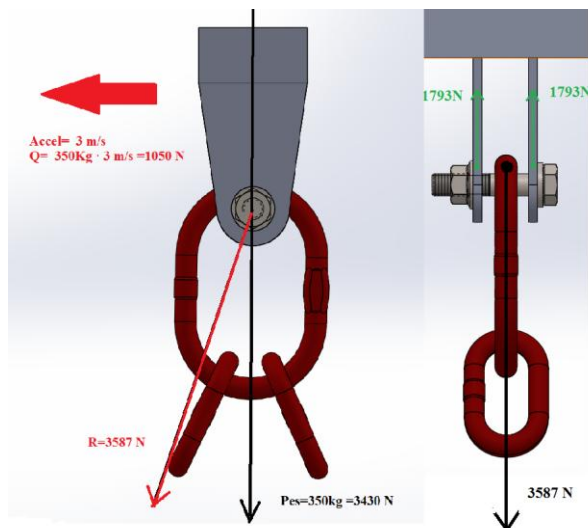


Fig 3.9 Diagrama del sòlid lliure orella i anelles mestre.

De la següent taula obtenim la resistència màxima a la fluència ( $S_y$ ) d'un cargol de qualitat 8.8.

Valores nominales del límite elástico $f_{yb}$ y de la resistencia a tracción última $f_{ub}$ de tornillos							
Tipo de tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

Taula 3.4 Límit de tracció i límit de fluència de les diferents qualitats de cargols.[18]

L'esforç al que està sotmès aquests cargol es tallant, el límit de fluència per a un esforç tallant  $S_{sy}$  es igual a:

$$S_{sy} = 0,56 \cdot S_y; \quad S_{sy} = 0,56 \cdot 640 = 358,4 \text{ MPa}$$

Per a calcular la secció mínima s'utilitzarà la següent igualtat:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{P}{2 \cdot A_s}$$

$$\frac{358,4 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{4} = \frac{3587 \text{ N}}{2 \cdot A_s}; \quad A_s = \frac{3587 \text{ N}}{2 \cdot 89,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2} = 20,16 \text{ mm}^2$$

La secció mínima del cargol ha de ser de 20,16 mm<sup>2</sup>, es procedeix amb el càlcul del diàmetre del mateix:

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4}; \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{\pi}} = 5,066 \text{ mm}^2$$

Tot i que per càlcul correspondria unes dimensions de Mètric 6, com s'ha comentat anteriorment aquesta part del mecanisme es de vital importància per evitar accidents en el transport de càrrega, per tant no convé apurar les dimensions d'aquest cargol als càlculs (tot i que aquest ja compten amb un factor de seguretat important).

Finalment s'ha decidit utilitzar un Mètric 10 am volandera integrada antiafluixant DIN6921 per realitzar aquesta unió, donant així un plus de seguretat al sistema. La femella que s'utilitzarà per a tancar el cargol es una femella de seguretat DIN 985, fabricada d'acer 8.8 de la mateixa forma que el cargol i resistent a les vibracions i als desplaçaments sobtats. Llògicament la mida serà també de M10. [18]

### 3.6.1 Cotes crítiques de l'orella.

Un cop dimensionat el cargol es sap quines seran les dimensions del forat de la orella on aquest anirà inserit. Es tracta d'una peça crítica de la qual depèn la seguretat de la càrrega. S'utilitzarà el mètode de la concentració d'esforços pera verificar que la peça compleix les condicions, el punt crític de concentració d'esforç serà just al centre del forat (allà on la secció transversal es més petita). Les cotes inicials proposades son les següents:

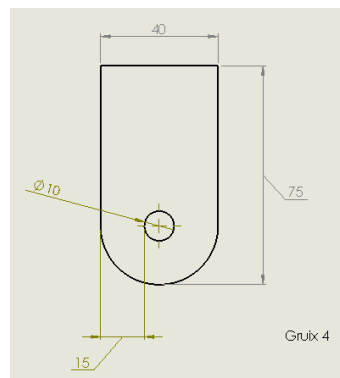


Fig 3.10 Cotes de la peça orella.

Aquesta peça es serà d'acer S 275J0, es treballarà amb una resistència a la tracció de  $\sigma=410$  MPa per a gruixos superiors a 3mm (característiques del material a annex II). Ja que es pretén no arribar mai a esforços que ocasionin deformacions en aquesta peça, i la seva

fallida pot suposar grans danys materials i personals, el coeficient de seguretat aplicat serà de  $n=4$ .

Per a calcular el factor geomètric les relacions rellevants son la relació diàmetre/amplada, en aquest cas  $10/40= 0,25$ . En aquest cas només hi ha una sola corba i per tant el valor del factor geomètric només depèn de la relació comentada. Observant la taula següent, per a barres en tensió o compressió simple amb un forat transversal obtenim:

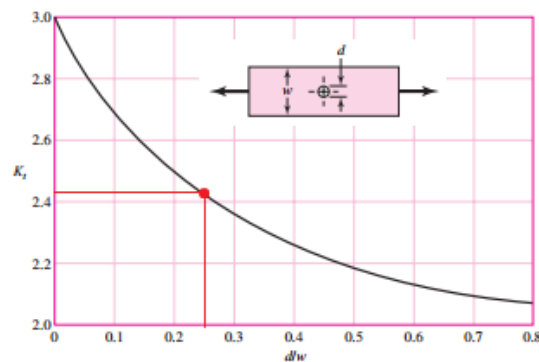


Fig 3.11 Gràfica del valor del factor geomètric  $K_t$  per una peça laminar amb un forat al centre. [19].

El valor de la  $K_t = 2,43$ . Per a obtenir la  $\sigma_{\max}$  s'utilitza la mateixa expressió que en casos anteriors:

$$\sigma_{\max} = K_t \cdot \sigma_o; \text{ on: } \sigma_o = \frac{F}{A}; A = (W - d) \cdot t \quad (3-3)$$

$$A=(40-10) \text{ mm} \cdot 4\text{mm}= 120 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_o = \frac{3587 \text{ N}}{120 \text{ mm}^2} = 29,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 2,43 \cdot 29,89 \text{ N/mm}^2 = 72,63 \text{ N/mm}^2$$

La relació que ha de complir la peça:

$$\frac{\sigma_{adm}}{n} > \sigma_{\max}$$

$$\frac{410 \text{ MPa}}{4} > 72,63 \text{ MPa}$$

$$102,5 \text{ MPa} > 72,63 \text{ MPa}$$



La peça compleix les condicions.

### Deformació de les seccions de la peça:

Les expressions son les següents:

$$S_{\min} = \frac{F}{\sigma_{adm}} \quad ; \quad \Delta L_{\text{increment de longitud}} = \frac{P \cdot L_{\text{inical}}}{E \cdot S}$$

Carrega  $P = 3587 \text{ N}$

$$\sigma_{adm \text{ S275}} = 410 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad \sigma_{adm \text{ SS}} = 410/n = 107,5 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{\min} = \frac{3587 \text{ N}}{107,5 \text{ N/mm}^2} = 33,36 \text{ mm}^2$$

S'ha de verificar la condició:

$$S_1 > S_{\min} \quad S_2 > S_{\min}$$

On  $S_1$  correspon a la secció transversal al forat i  $S_2$  a la secció normal.

$$S_1 = 2 (4 \cdot 15) = 120 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 4 \cdot 40 = 160 \text{ mm}^2$$

Per tant al ser les dues seccions son molt superiors a la mínima la condició es compleix.

A continuació es calcularà el increment de longitud per les dues seccions, es considerarà com a longitud de la secció  $S_1$  el valor del diàmetre del forat, i per a la secció  $S_2$  50mm.

Mòdul de Young  $E = 21000000 \text{ N/cm}^2$

$$S_1 : \Delta L = \frac{3587 \text{ N} \cdot 1 \text{ cm}}{21000000 \text{ N/cm}^2 \cdot 1,2 \text{ cm}^2} = 0,00014 \text{ cm}$$

$$S_2 : \Delta L = \frac{3587 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}}{21000000 \text{ N/cm}^2 \cdot 1,6 \text{ cm}^2} = 0,000533 \text{ cm}$$

Les deformacions que tindrà aquesta peça seran mínimes i no ocasionaran problemes, ja que tot esta calculat amb grans marges pel que fa la resistència que poden assumir els elements. Al útil apartat d'annexos es pot veure una simulació relativa a aquesta peça. [19]

### 3.7 Dimensionat de la biga central de subjecció.

A continuació es dimensionarà i s'estudiarà la biga on aniran soldades les orelles. Aquesta biga es troba en la part inferior del motor i esta soldada en els seus dos extrems a dues lamines d'acer que al seu torn aniran unides a la estructura del motor per mitjà de cargols. En els passos posteriors es farà un estudi de la soldadura de la orelleta a aquesta biga, però abans es necessari dimensionar-la.

Es considerarà els punts de soldadura de les orelles com dues forces puntuals situades a una distancia de 40 mm entre elles, on el punt mig es trobi al centre de la biga. Degut a que es tracte d'una biga soldada en els seus dos extrems es considerarà com una biga emportada, on s'impedirán els moviments verticals i horitzontals i els girs. La longitud de la biga ha de ser de 220mm. Es calcularan els esforços de les reaccions, la tensió màxima i el moment màxim, amb els seus respectius diagrames, i la deformació màxima. Un cop es sàpiga quin es la força i el moment màxim es procedirà a decidir el model de biga. Per qüestions de facilitat de muntatge amb els altre elements s'optarà principalment per perfils amb forma quadrada o rectangular.

Aquest tipus de bigues s'anomenen bigues bi-empotrades. Aquestes bigues indueixen moments a les parets amb les que reaccionen amb moments iguals i oposats mantenint l'equilibri (3a llei de Newton), de la mateixa forma que també reaccionaran verticalment per equilibrar les càrregues. Es tracta d'una biga sotmesa a flexió simple.

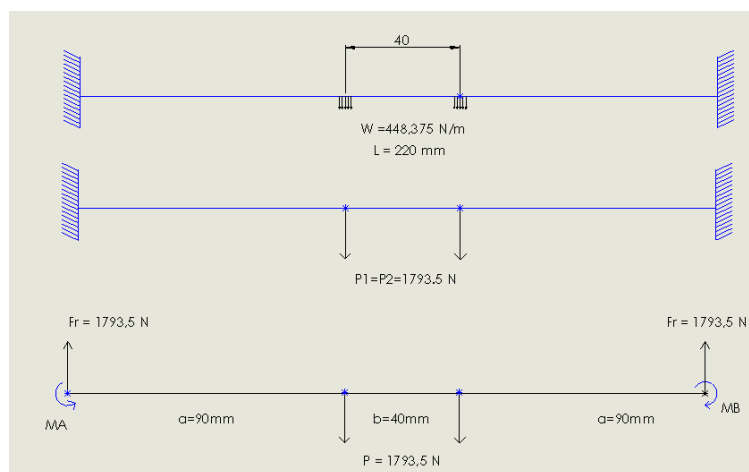


Fig 3.12 Condicions d'esforç de la biga de subjecció de càrrega.

**Grau d'hiperestàtica:**

Nº reaccions que té la figura: 4

Nº de equacions de la estàtica = 3

G.H = Nº reaccions- Nº de equacions

ESTRUCTURA HIPERESTÀTICA , (4-3=1).

En les estructures Hiperestàtiques no es possible determinar directament les reaccions donat que hi ha més reaccions que equacions. Degut a que es un cas molt genèric de biga - enclastada es poden trobar mètodes de resolució degut a que tot i haver-hi més incògnites que equacions, ja es tracta de una estructura completament simètrica . S'ha utilitzat l'eina de la pagina *Milarium* per al càlcul de bigues i estructures per a verificar els valors:

$$\sum Fy = 0 ; Ra+Rb -2P=0; Ra=Rb; 2R=2P; P=R$$

Per tant cada reacció tindrà una força igual a la força aplicada per cada una de les orelles.

Pel que fa els moments:

$$\sum M = 0; Ma<0;$$

$$M_{max}=Ma=-Mb= -\frac{P \cdot a \cdot (L-a)}{L} = \frac{1793,5 \cdot 0,09 \cdot 0,13}{0,22} = -95,3815 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M2=M3= \frac{P \cdot a^2}{L} = \frac{1793,5 \cdot 0,09^2}{0,22} = 66,0334 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d_{max} = \frac{P \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot Iy} \cdot \left[ \frac{3 \cdot a^3}{4 \cdot L^2} - \left( \frac{a}{L} \right)^3 \right]$$

Per a realitzar el càlcul de la deformació màxima es necessari saber el moment de inèrcia de la biga. [18]

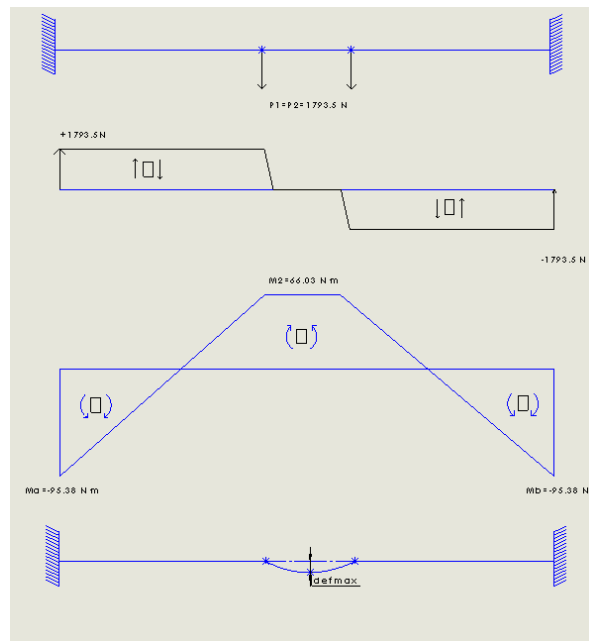


Fig 3.13 Diagrammes d'esforços en la biga de subjecció de càrrega.

### 3.7.1 Elecció del perfil.

El perfil estriat té unes requeriments dimensionals per tal de poder realitzar correctament la soldadura orella-biga. La part més ampla del perfil haurà de ser uns 10 mm més gran que la amplada de la orella, per tal de que aquesta no sobresurti i poder realitzar un cordó de soldadura d'un 3-4mm (es calcularà en el pas següent).

Apart d'aquest fet, lògicament haurà d'aguantar satisfactòriament els esforços calculats prèviament. El material de la biga serà, igual que la orella, acer S275J0 facilitant així la soldadura entre elements. Per no carregar molt l'estructura del motor s'ha escollit un gruix de 2 mm o inferior, perfil rectangular. La  $\sigma_{adm}$  del acer per gruixos iguals o inferiors a 3mm es de  $430 \text{ N/mm}^2$ . Restriccions dimensionals:

Cota orella = 40 mm

Amplada mínima de la cota llarga del perfil del biga =  $40 \text{ mm} + 2 \cdot 5 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$

Es tracta d'una biga sotmesa a un esforç de flexió, la condició que s'haurà de complir es:

$$\frac{\sigma_{adm}}{n} > \sigma_{biga} ; \frac{\sigma_{adm}}{n} > \frac{Mc}{I} ;$$

El moment màxim de flexió és de  $M=95381,5 \text{ N}\cdot\text{mm}$   $c=30\text{mm}$  (distància del CDG al extrem de la biga); El moment de inèrcia donat per catàleg és:  $I_{yy} = 4,29 \text{ cm}^4$ ;  $42900 \text{ mm}^4$

$$\sigma_{\text{biga}} = \frac{95381,5 \text{ N}\cdot\text{mm} \cdot 30 \text{ mm}}{42900 \text{ mm}^4} = 66,70 \text{ MPa}$$

$$\frac{430 \text{ N/mm}^2}{4} > 66,70 \text{ MPa}$$

$$107,5 \text{ MPa} > 66,70 \text{ MPa}$$

La biga compleix les condicions de càrrega.

Sàpiguen ara ja el moment d'inèrcia de la biga es pot calcular la deformació amb la l'expressió

$$d_{\text{max}} (\text{cm}) = \frac{3587 \text{ N} \cdot 22 \text{ mm}^3}{6 \cdot 21000000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 4,29 \text{ cm}^2} \cdot \left[ \frac{3 \cdot 9 \text{ cm}^2}{4 \cdot 22 \text{ cm}^2} - \left( \frac{9 \text{ cm}}{22 \text{ cm}} \right)^3 \right] = 0,000949 \text{ cm}$$

### 3.8 Estudi de les soldadures.

En les unions explicades anteriorment apareixen soldadures entre elements que cal definir. La primera soldadura que trobem es la soldadura entre la orella i la biga de perfil rectangular, a la que es designarà soldadura A, aquesta soldadura serà idèntica per les dues orelles ja que es tracte de peces amb dimensions i esforços idèntics. Després es troba la soldadura entre els extrems de la biga rectangular i les lamine metèl·liques, aquesta soldadura s'anomenarà Soldadura B. Aquesta soldadura es sotmesa a un esforç tallant. Les dues soldadures es realitzaran a través de filets dipositats per mitjà d'elèctrodes.

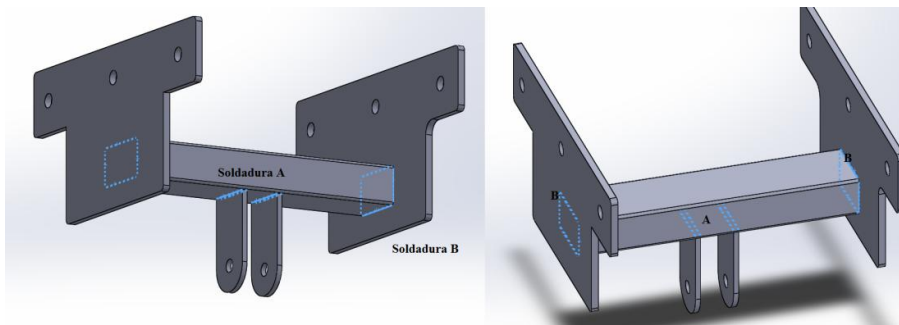


Fig 3.14 Soldadures aplicades al eix central de càrrega.

En les següents taules es poden veure els esforços permissibles en funció del tipus de soldadura i el tipus de càrrega (taula 3.5) les resistències a la tensió, fluència i la elongació dels diferents elèctrodes (taula 3.7) , i les càrregues permissibles per diferents gruixos de soldadura (taula 3.6).

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0.60S <sub>y</sub>	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90S <sub>y</sub>	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66S <sub>y</sub>	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60S <sub>y</sub>	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.30S <sub>u</sub>	

\*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.  
 †El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de 0.40S<sub>y</sub> del metal base.

Taula 3.5 Esforços permissibles en funció de tipus de carrega. [19]

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete								Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h		
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)										
	60*	70*	80	90*	100	110*	120			
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial										
τ =	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0			
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal										
f =	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h			
Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal										
Tamaño del cableto h, pulg	1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45		
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27	24.12		
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09	20.67		
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91	17.23		
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73	13.79		
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14	12.07		
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54	10.33		
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95	8.61		
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36	6.89		
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77	5.17		
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18	3.45		
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59	1.73		

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta 1/4 inclusive	1/8
Mayor que 1/4 Hasta 1/2	3/16
Mayor que 1/2 Hasta 3/4	1/4
†Mayor que 3/4 Hasta 1 1/2	5/16
Mayor que 1 1/2 Hasta 2 1/4	3/8
Mayor que 2 1/4 Hasta 6	1/2
Mayor que 6	5/8

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.  
 \*El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no puede ser menor a 3/16 pulg.  
 †Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no puede ser mayor que la soldadura de filete de 5/16 pulg por cada 3/4 pulg de material.

\*En realidad, las soldaduras de filete fueron ensayadas por el AISCAWS Task Committee.  
 †f = 0.707hτ<sub>perm</sub>.

Taula 3. 6 Força unitària permisible de les diferents soldadures en funció de la mida del cordó i del elèctrode aplicat. [19]

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Taula 3.7 Resistències dels diferents elèctrodes. [19]

### 3.8.1 Soldadura A.

Les dues peces que intervenen en la soldadura son d'acer S275 i estan sotmeses a una càrrega aplicada de forma continuada de 3587 N. Aquesta soldadura es farà per mitjà d'elèctrodes E60xx. Hi ha dos paràmetres importants referents a les mides que ha de tenir el cordó de soldadura. El primer és el gruix del filet (**h**) i la longitud del mateix (**l**). La longitud **l** del cordo serà igual a llargada de la part superior de la orella  $l=40\text{mm}$  (1.5748 pulg.) , i el gruix de 1/8' (3,175mm). Amb la taula 3.6 es verificarà que la resistència del metall és satisfactòria. Es calcularà la resistència del metall de la soldadura i la resistència de la unió:

- De la taula 3.10 la força permissible per longitud unitària d'un elèctrode de metall E60 de 1/8 pulg. és 1,58 kip, si fem la conversió d'unitats la resistència unitària seria:  $\frac{1.58 \text{ kip}}{1 \text{ pulg.}} = \frac{7028,19 \text{ N}}{25,4 \text{ mm.}} = 276,7 \text{ N/mm.}$

Per tant:

Força unitària · longitud del cordo > Força màxima

$$276,7 \cdot L = 276,7 \cdot 2(40) = 22136,03 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Com que  $22136,03 \text{ N} \gg 3587 \text{ N}$  la resistència del metall és satisfactòria

- De la taula d'especificacions del acer S 275 J0 (Annex II) obtenim  $S_y=275 \text{ Mpa}$  calculem l'esforç tallant permisiu de la unió:

$$\tau_{\text{perm}} = 0,4 \cdot S_y = 0,4 \cdot 275 = 110 \text{ Mpa}$$

L'esforç tallant  $\tau$  a la base adjacent es:

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot l \cdot h} = \frac{3587 \text{ N}}{2 \cdot 80 \text{ mm} \cdot 3,157 \text{ mm}} = 7,10 \text{ Mpa}$$

com que  $\tau_{\text{perm}} > \tau$  la unió resulta satisfactoria al voltant del perímetre de la soldadura. En aquest cas només tenim una  $\tau$ , anomenada tau primària, en el segon estudi de soldadura apareixerà també tau secundària. L'esforç de la tensió del cos de la unió  $\sigma$  es

$$\sigma = \frac{F}{t(\text{gruix}) \cdot l} = \frac{3587 \text{ N}}{40 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}} = 22,418 \text{ Mpa}$$

Segons la taula 3.5 l'esforç de tensió permissible  $\sigma_{\text{perm}}$  és  $0,6S_y$

$$\sigma_{perm} = 0,6 S_y = 0,6 \cdot 275 = 165 \text{ Mpa}$$

Per tant:

$\sigma_{perm} > \sigma$  l'esforç de tensió del cos és satisfactori

- Si apliquem el coeficient de seguretat a les expressions anteriors obtenim:

$$\tau_{perm SS} > \tau_{SS}$$

$$27,5 \text{ N} > 7,10 \text{ N}$$

$$\sigma_{perm SS} > \sigma_{SS}$$

$$41,25 \text{ N} > 22,418 \text{ N}$$

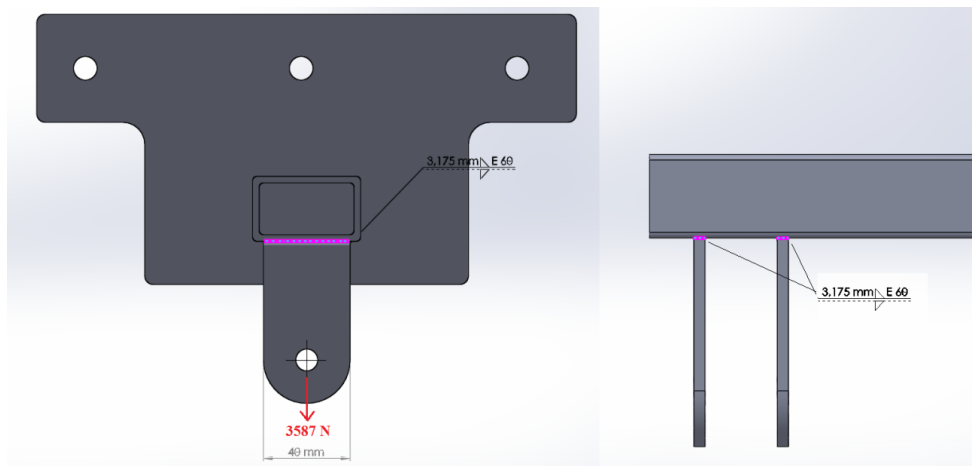


Fig 3.15 Eix central amb els esforços i soldadures presents.

Es vol determinar un factor de seguretat de la soldadura per a una vida infinita. Les resistències última a la tracció ( $S_{ut}$ ) i el límit elàstic ( $S_y$ ) de l'acer S275J son (Annex I):

$$S_{ut} = 410 \text{ Mpa} \quad S_y = 275 \text{ Mpa}.$$

En el cas del ferro dipositat per l'elèctrode E6010 (fig 3.7):

$$S_{ut} = 427,47 \text{ Mpa} \quad i \quad S_y = 344,73 \text{ Mpa}.$$

S'ha de saber quin és l'esforç en el punt de unió peça soldadura, ja que allà serà la zona més crítica. El factors que intervenen son:

- El factor de concentració del esforç de fatiga ( $K_{fs}$ ), en funció del tipus de soldadura, a partir de la taula 3.8 obtenim  $K_{fs} = 2,7$ .



Tipo de soldadura	$K_{fs}$
A tope reforzada	1.2
De filete transversal, en la punta	1.5
De filetes paralelos, en el extremo	2.7
A tope en T, con esquinas agudas	2.0

Taula 3.8 Concentració d'esforç en funció del tipus de soldadura. [19]

- En aquest punt influeix el tipus d'acabat superficial o conformat, aquesta constant s'anomena  $K_a$  i es calcula amb la següent expressió:

$$K_a = S_{utr} \cdot (S_{ut} / S_{275})^b \quad (3-10)$$

En el cas de la biga es tracte d'acer laminat en fred. Per tant amb les dades de la taula 3.9 podem treure aquesta constant:

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Taula 3.9 Dades per al càlcul del factor  $K_{fs}$ . [19]

$$K_a = 4.51 \cdot (410)^{-0.265} = 0,915$$

L'àrea tallant és:  $A = 2 \cdot l \cdot h = 2 \cdot 40 \text{mm} \cdot 3,157 \text{mm} = 250 \text{mm}^2$

Per a calcular el límit de resistència a la fatiga s'utilitza la següent expressió:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e' ; \text{on:}$$

$K_a$  = factor de modificació de la condició superficial.

$K_b$  = Factor de modificació de mida.

$K_c$  = Factor de modificació de càrrega.

$K_d$  = Factor de modificació de la temperatura.

$K_e$  = Factor de confiança.

$K_f$  = Factor de modificació d'efectes variats.

$S_e'$  = límit de resistència a la fatiga en la biga.

$S_e$  = límit de resistència a la fatiga a d'ubicació crítica de una part de la màquina.

En el cas d'un esforç tallant sobre la línia de soldadura:  $K_b=1$ . Dels següents valor de  $K_c$  s'utilitzarà el cas de torsió  $K_c=0.59$ ; per aquest cas  $K_d=K_e=K_f=1$ .

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^1 \end{cases}$$

Fig 3.16 Factor  $K_c$  per al càlcul de la fatiga. [19]

Dels següents casos per a realitzar el càlcul de  $S_e'$  observem:

$S_{ur} = 410 \text{ Mpa}$ ; per tant  $410 < 1400 \text{ Mpa}$

$$S_e' = \begin{cases} 0.5 S_{ur} & S_{ur} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ur} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ur} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Fig 3.17  $S_e'$  en funció del valor  $S_{ur}$ . [19]

$S_e' = 0.5 \cdot 410 = 205 \text{ Mpa}$

Sabent el valor de totes les constants i les condicions s'aplica l'equació:

$$S_e = (0,915) \cdot (1) \cdot (0.59) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (205) = 110,7629 \text{ Mpa}$$

$$K_{fs} = 2,7 \quad F = 3587 \text{ N}$$

En aquest cas només està present la tallant primària.

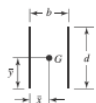
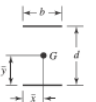
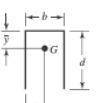
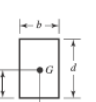
$$\tau_a' = \frac{F \cdot K_{fs}}{A} = \frac{3587 \text{ N} \cdot 2,7}{250 \cdot \text{mm}^2} = 38,73 \text{ Mpa}$$

El factor de seguretat a la fatiga  $n_f$  be donat per:

$$n_f = \frac{S_e}{\tau_a'} = \frac{110,76 \text{ Mpa}}{38,73 \text{ Mpa}} = 2,859$$

### 3.8.2 Soldadura B.

Aquesta soldadura es realitzarà a través de dos filets disposats al llarg de tot el perímetre de la part superior i inferior (orientació horitzontal) tal i com es mostra a la figura 3.10. El diagrama del sòlid mostra una reacció tallant respecte la força (V) també apareixerà una reacció de moment M, en aquest cas apareixerà la tau primària  $\tau'$  i la tau secundària  $\tau''$ . En la figura següent es mostren els valors de l'àrea i el segon moment unitari en funció de la posició de les soldadures.

Soldadura	Àrea de la garganta	Ubicació de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_y = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_y = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_y = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_y = \frac{d^2}{6}(3b + d)$

Taula 3.10 Àrea i moment d'inèrcia per a diferents geometries de soldadura. [19]

El gruix dels filets **h** en aquest cas serà de 1/4' corresponent a 6,35mm, i la longitud **l** de la soldadura serà de 50mm, i s'utilitzarà un electrode E6010 (fig. 3.7) Igual que en el cas anterior:  $S_{ut} = 427,47 \text{ Mpa}$  i  $S_y = 344,73 \text{ Mpa}$ .

La força tallant primària produeix una força en les soldadures de magnitud:

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

on **A** és l'àrea total del filet de soldadura, en aquest cas correspon a  $A = 1,414 \cdot h \cdot d$ . El moment **M** induirà un comportament d'esforç tallant en el filet igual a  $0,707 \cdot \tau$ .

Aquesta biga correspon al segon cas, el segon moment del área unitari segons la figura es:

$$I_u = \frac{b \cdot d^2}{2} = \frac{50 \cdot 30^2}{2} = 22500 \text{ mm}^3$$

El segon moment del àrea I, que es troba sobre l'àrea del filet és:

$$I = 0,707 \cdot h \cdot I_u = 0,707 \cdot 6,35 \text{ mm} \cdot 22500 \text{ mm}^3 = 101012,63 \text{ mm}^4$$

$$A = 1,414 \cdot h \cdot d = 1,414 \cdot 50 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} = 2121 \text{ mm}^2$$

Com que el pes està repartir entre les dues soldadures es considerarà una  $F=1793,5 \text{ N}$

Tallant primària:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{1793,5 \text{ N}}{2121 \text{ mm}^2} = 0,855 \text{ Mpa}$$

Tallant secundària, el moment correspon al moment màxim calculat en el punt anterior  $M= 95,3815 \text{ N} \cdot \text{m}$ , r correspon a la distancia des del punt de força aplicada al extrem de la peça  $r=30\text{mm}$  :

$$\tau'' = \frac{M r}{I} = \frac{95381,5 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 30 \text{ mm}}{101012,63 \text{ mm}^4} = 28,32 \text{ Mpa}$$

La magnitud total de la tallant  $\tau$  pel teorema de Pitàgoras és:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{0,855^2 + 28,32^2} = 28,342 \text{ Mpa}$$

En la taula 3.6 podem veure que per a un electrode E60 la  $\tau_{\text{perm}}$  és igual a 18 kpsi (124,1 Mpa). Com que  $\tau < \tau_{\text{perm}}$  la soldadura resulta satisfactoria.

Amb base a una resistència mínima y el criteri de energia de distrosió, el factor de seguretat es:

$$n_{\text{sold}} = \frac{Ssy}{\tau} = \frac{0,577 \cdot Sy}{\tau} = \frac{0,577 \cdot (345)}{28,43} = 7,025$$

### 3.9 Unió biga – motor.

Un cop dimensionat tots els elements de la biga i les soldadures, cal definir com s'inserirà aquesta estructura al motor. Es farà mitjançant 6 cargols (3 per banda) que aniran collats entre les plaques laterals i la estructura en forma de U al motor. Aquests 6 cargols estaran

sotmesos a un esforç tallant degut a la resultant de la component desacceleració. La qualitat dels mateixos serà de 6.8 amb una resistència a la fluència  $S_y=480$  MPa i amb una resistència a la tracció  $S_u=600$  MPa. Igual que amb la resta d'elements que componen aquesta estructura, el coeficient de seguretat serà de  $n=4$ . La força  $F$  que han de suportar els 6 cargols és de 3587N, es considerarà que es reparteix uniformement entre els 6 cargols.

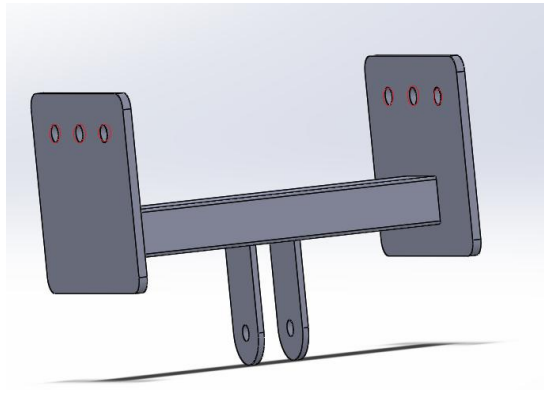


Fig 3.18 Eix central assemblet

Igual que en el cas anterior es calcularà la secció mínima  $A_s$  per a resistir els esforços tallants.

$$S_{sy} = 0.56 \cdot S_y; \quad S_{sy} = 0.56 \cdot 480 \text{ MPa} = 268,8 \text{ Mpa}$$

$$F_{\text{per cargol}} = \frac{3587 \text{ N}}{6} = 597,833 \text{ N} \approx 600 \text{ N}$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{A_s}; \quad A_s = \frac{600 \text{ N} \cdot 4}{268,8 \text{ N/mm}^2} = 8,925 \text{ mm}^2$$

La secció mínima per cada cargol és d'uns  $9 \text{ mm}^2$

$$A = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{\pi}} = 3,37 \text{ mm}$$

Correspondria utilitzar un cargol de Mètric 4 com a mínim, però al tractar-se d'una part crítica que pot rebre impactes o forces addicionals, s'ha decidit utilitzar un cargol Mètric 8. S'utilitzaran els mateixos cargols per la unió de la estructura central de càrrega i per a la barra auxiliar.

### 3.9.1 Comprovació d'esforços en la placa.

Cal comprovar si les plaques laterals de sujecció de la biga unides a l'estructura en U del motor aguanten els esforços generats per el pes. Es tracte d'una placa rectangular de 75 x 110 x 5,5 mm ( $w \cdot h \cdot t$ ) d'acer S275. En aquesta placa és on hi haurà els 3 forats de 8mm calculats en l'apartat anterior. El coeficient de seguretat  $n=4$ .

Es realitzarà una hipòtesis pel que fa la concentració d'esforç a la placa; Es considera que el moment és constant des de la biga fins al començament de la intersecció entre la placa del motor i l'estructura en U, ja que abans d'aquest punt la placa podia tenir petits desplaçaments, però arribat a aquest punt la placa ja no tindrà desplaçament. En la secció cèntrica al forat (la més petita de la placa i per tant, crítica) es generarà una força tallant respecte la placa i en el sentit del cargol que ha de contrarestar el moment de la biga. En la següent figura es pot observar amb més claredat:

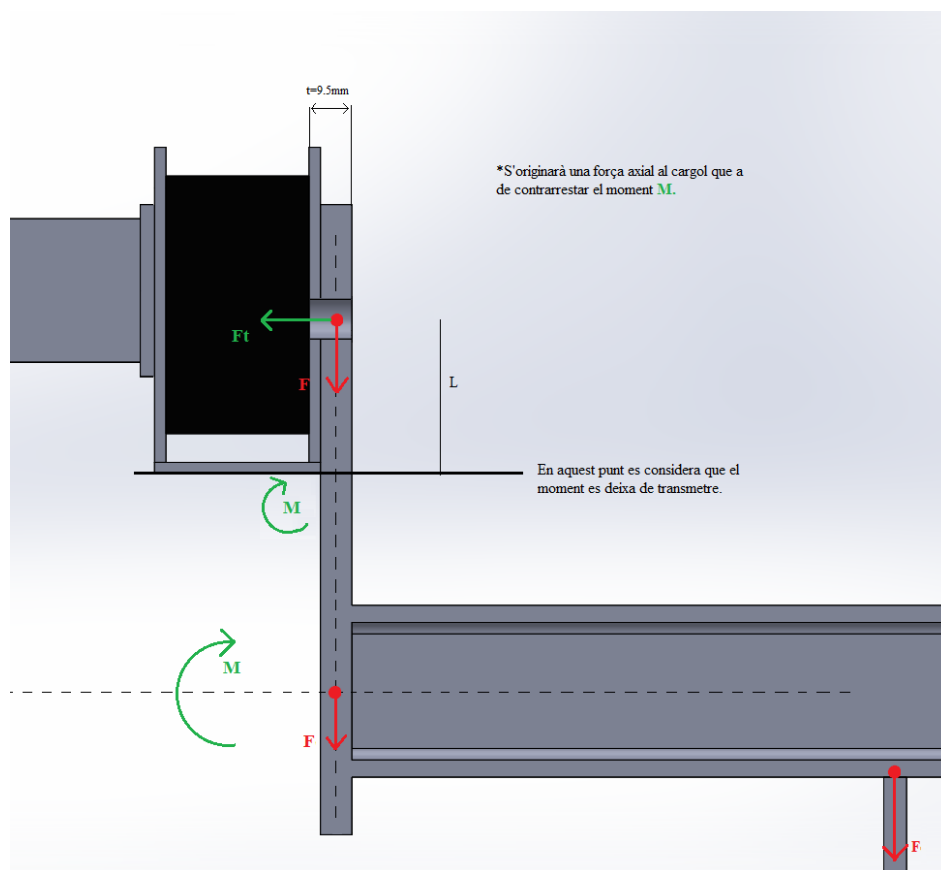


Fig 3.19 Distribució d'esforços en el forat unió eix –motor.

La distància  $L$  és fixe i coneguda , per tant la força axial és la que contrarestarà el moment;  
 $L=27\text{mm}$ ;  $M=95381.5 \text{ N}\cdot\text{mm}$

$$M=F_t \cdot L; \text{ per tant } F_{\tau}=\frac{95381,5 \text{ N}\cdot\text{mm}}{27 \text{ mm}}=3532,64 \text{ N}$$

El punt crític serà al voltant del perímetre del forat. L'àrea serà igual al producte del gruix de la xapa i tres vegades diàmetre del forat

$$\tau = \frac{F_t}{3 \cdot d \cdot t}; \frac{3532,64 \text{ N}}{3 \cdot 8\text{mm} \cdot 5,5 \text{ mm}} = 26,76 \text{ N/mm}^2$$

El que fa la força de tracció respecte la placa (la força vermella a la figura) es tracta d'un cas de concentració d'esforços, la relació entre l'amplada i el diàmetre dels forats és  $d/W$ ,  $3 \cdot 8/75=0,32$ , per tant:

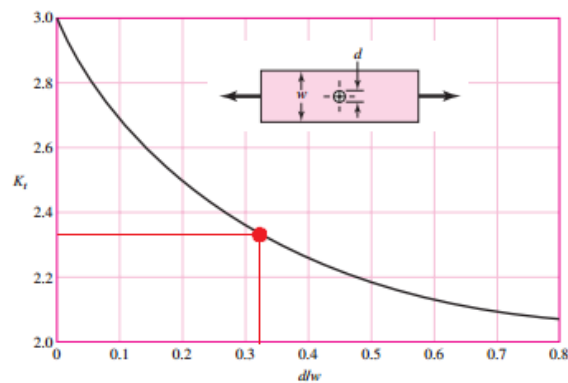


Fig 3.20 Factor geomètric  $K_f$  per una xapa foradada sotmesa a tracció.[19]

Factor geomètric  $K_t=2,35$ ;  $F=1793.5 \text{ N}$

$$\sigma = K_t \frac{F}{(W-d) \cdot t}; \sigma = 2,32 \cdot \frac{1793.5 \text{ N}}{(75-24)\text{mm} \cdot 5,5\text{mm}} = 14,83 \text{ N/mm}^2$$

La tensió total es calcularà a partir de la expressió de la tensió de Von-Misses:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}; \quad \sigma' = \sqrt{14,83^2 + 26,76^2} = 48,66 \text{ N/mm}^2$$

si es realitza la comprovació:

$$\frac{S_y}{n} > \sigma'; \quad \frac{275}{4} > 48,66 \text{ N/mm}^2; \quad 68,75 \text{ Mpa} > 48,66 \text{ Mpa}$$

### 3.10 Motor.

Tal i com es comenta en l'**objectiu 1** de les especificacions tècniques de l'avantprojecte, el motor emprat per la tracció dels carros i serà un **motor lineal de reluctància** desenvolupat per la empresa Innovem i aplicat actualment al seu prototip de tren de propulsió magnètica TELMAG. S'explicarà el principi de funcionament d'aquest motor, els avantatges i inconvenients i redimensionarà tan en mides com en prestacions per tal d'aplicar-lo al cas del transportador aeri.

#### 3.10.1 Principi de funcionament.

El motor emprat és un **motor lineal de reluctància variable**, el principi de funcionament d'aquest motor és el mateix que el d'un motor elèctric rotatiu convencional. Es tracte d'un motor elèctric del tipus pas a pas que es basa en la reluctància<sup>[1]</sup> variable mitjançant un rotor dentat en ferro forjat que tendeix a alinear-se amb els pols bobinats (electroimants) del estator, produït una força y un desplaçament cap al sentit d'aquesta alineació. En el cas dels motors lineals de reluctància, el estator el trobem en el carro tractor i el rotor a la via per la qual es desplaça.

El estator consisteix en una sèrie de peces polars (electroimants) connectades a 5 fases en aquest cas (normalment per al motors rotatius s'utilitzen 3 fases). En tot moment el estator busca alinear-se amb el rotor de tal forma que minimitzi la reluctància rotor-estator que es crea quan aquests estan separats. La disposició estator rotor es fa de tal forma que mai es pugin alinear tots els pol del estator amb els del rotor i per tant sempre hi hagi una força de propulsió en el sentit del moviment. Es pot canviar el sentit del moviment canviant el sentit del corrent que circula pels electroimants del estator, la potencia que desenvolupa aquest motor és directament proporcional a la potencia dels electroimants, com més potents siguin aquests més gran serà el camp magnètic **B** induït i més gran serà la reluctància estator-rotor.

Aquests motors poden dissenyar-se per a funcionar amb passos molt més petits que els passos dels motors amb imants permanents (on només es pot moure d'una fase a una altre i mai quedar entre dos fases a diferència d'aquest motor), ja que augmentant o disminuint el corrent que circula a l'interior de la bobina es regula la força de propulsió. El rotor és de baixa inèrcia millorant la resposta dinàmica.



En la següent figura es mostra una vista de tall del motor lineal utilitzat per el tren TELMAG en comparació a un motor rotatiu del mateix tipus. Com es pot veure hi ha 5 fases en el motor lineal i tres en el rotatiu, però en essència es tracta del mateix concepte de màquina. En aquesta vista podem veure la fase 5 alineada amb el nucli de la via, en aquest punt aquesta fase no està creant una força d'impulsió, sinó que aquesta és creada per les 4 fases. La seqüència sempre serà la mateixa: mentre una fase està alineada amb el rotor les altres no ho estaran i tendeix a alinear-se amb el nucli continu, creant així una força d'impulsió tal i com es mostra la figura. Els nuclis metàl·lics a la via han estat situats de forma equidistants entre ells per tal de satisfer sempre la relació de posició estator-rotor que crea la força d'impulsió. En la fase de caracterització del motor es definirà la distància entre nuclis a la via i en funció d'aquesta es concretarà les posicions del bobinat per tenir sempre una relació com a la figura.

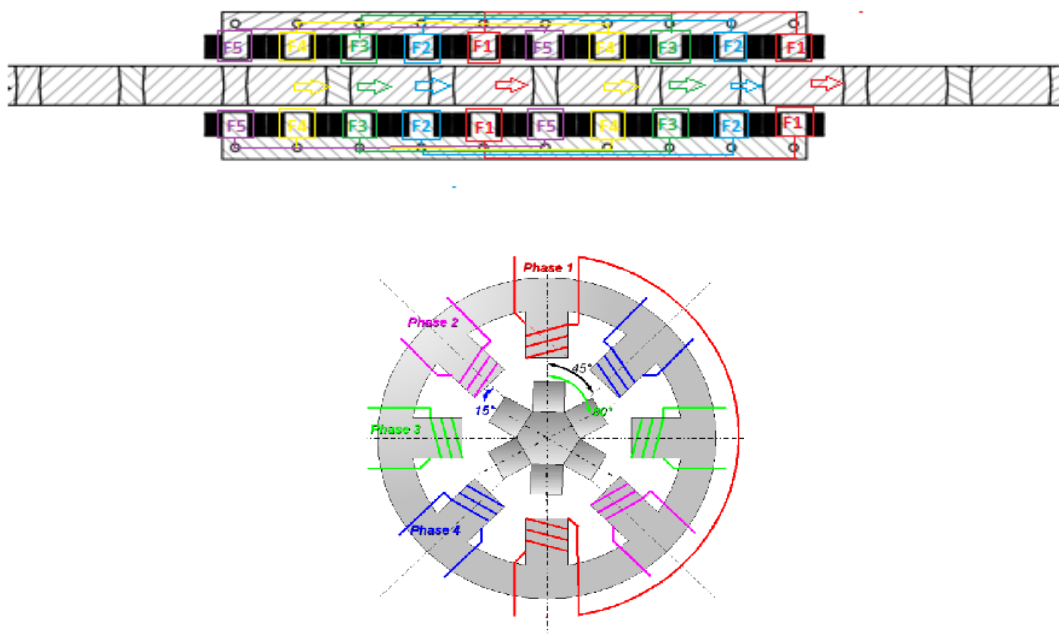


Fig 3. 21 Posicionament de les fases en un motor lineal respecte un motor rotatiu.[2]

Si es comparen aquestes dos figures es pot observar que la relació de fases entre el motor lineal i el rotatiu són idèntiques (cadascú amb les seves respectives fases). En el motor rotatiu s'utilitza la diferència d'angles per aconseguir el moviment i en el motor lineal s'aconsegueix per mitja de l'ajust de la distància longitudinal. [2]

### **3.10.2 Comparativa amb altres solucions.**

El rotor és d'un material magnètic, però no necessàriament ha de ser un imant permanent (hi ha un tipus de motor lineal que utilitza imants permanents) ; aquest fet és molt interessant, ja que si s'utilitzés un motor d'imants permanents aquests haurien d'estar presents al llarg de la via, incrementant el cost del sistema sense aportar cap millora respecte al motor lineal de reluctància , però per altre banda tenen el desavantatge de tenir un parell motor menor que un motor d'imants permanents de una mida similar. En el cas del transportador el material que s'utilitzarà a la via en substitució als imants permanents seran diverses lamines de ferro al silici Si5Fe (també anomenat acer elèctric) d'1mm de gruix disposades a la via i alineades amb els bobinats del motor tal i com es mostra a la figura 3.1.

Un altre gran avantatge d'aquest motor és que aquesta força que actua com a propulsió, també crea una força de sustentació i guia, impedit el “descarrilament” del estator respecte el rotor a través de la sustentació magnètica creada pel camp magnètic que passa tant pels nuclis com pel bobinat creant una força de repulsió entre aquests que els manté sempre a la mateixa distancia. En el cas d'aquest motor de TELMAG aquesta distancia de sustentació és d'uns 5mm.

D'aquesta manera s'evita la presencia d'elements mecànics de guia que crearien forces de fregament oposades al moviment, baixant el rendiment del conjunt i ocasionant desgast. Al no haver-hi cap tipus de contacte físic entre el motor i la via, s'abaratirà molt el manteniment.

La potencia d'aquest motor esta directament relacionada amb la potencia dels electroimants presents al estator (com més potents siguin més potent serà el conjunt) i el nombre de nuclis a la via. L'augment de la potencia del camp magnètic induït per l'estator i l'augment de la permeabilitat magnètic del rotor donaran una major potencia del conjunt. El control de posició també es regula amb aquest corrent, com tots els motors pas a pas permeten controlar la posició amb una enorme precisió.

	<b>Motor lineal de Reluctància</b>	<b>Motor lineal d'imants permanents</b>	<b>Motor rotatiu convencional</b>
<b>Avantatges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Control de posició molt precís</li> <li>· No necessita imants permanents</li> <li>· Tenen un alt rendiment</li> <li>· Serveix per a la propulsió sustentació i guia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Poden transmetre una gran parell de força</li> <li>· Tenen un gran rendiment</li> <li>· Serveix per a la propulsió sustentació i guia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cost d'instal·lació menor respecte als motors lineals</li> </ul>
<b>Inconvenients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· No poden assumir grans parells</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Necessitat de disposar a la via imants permanents (alt cost)</li> <li>· Control de posició només permet canviar entre fases (poc precís)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Implica l'ús de corretges i altres elements mecànics sotmesos a desgast i pèrdua d'energia (cost de manteniment molt elevat)</li> </ul>

Taula 3. 11 Avantatges i inconvenients de l'ús de diferents motors.[2]

### 3.10.3 Caracterització del motor.

En la figura següent es mostra la vista frontal del motor del prototip de tren TELMAG present a la universitat Tecnocampus Mataró. Caldrà re-dissenyar aquest motor, ja que aquest està pensat per aplicar-lo a un tren on les vies estan disposades al terra i el vagó del tren es troba en una estructura sobre el motor. En el cas de transportador hi ha una diferència molt gran; l'estructura encarregada de subjectar el material (carro del transportador) es troba sota i motor, i la via per la qual es mou el motor està situada a una certa alçada subjectada a unes bigues per la part superior d'aquesta. Per tant la orientació del motor ha de ser la inversa que en el cas del TELMAG, ja que per la part superior el motor ha de estar obert per no interferir amb els elements estructurals, però ha de mantenir les rodes de guia (2) a la part superior del motor per tal que aquestes puguin realitzar bé la seva funció de guia i posicionament. El solenoide Inductor i captador de corrent (3) anirà situat a la part inferior del motor per tal de tenir la part superior del motor oberta i que aquest pugui passar sense problemes per les columnes que subjecten la via.

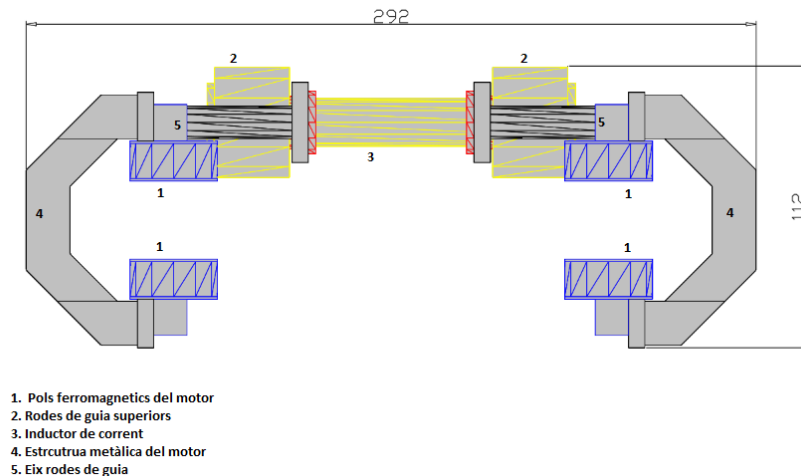


Fig 3.22 Vista frontal del motor lineal del prototip del TELMAG dimensionat.

En la figura 1.1 es pot veure una vista frontal del motor lineal del prototip del TELMAG. En essència el motor que s'implementarà en el transportador aeri serà aquest model, però amb algunes diferències pel que fa les mides i la disposició dels elements. Cal destacar que la solució es va desenvolupar amb l'ajuda i supervisió del grup creador del motor original (INNOVEM) per tal de no alterar elements que poguessin ocasionar problemes en fases posteriors. S'ha respectat al mateix el concepte de motor desenvolupat per innovem ja que electricament aquest concepte va tenir una resposta molt òptima a les necessitats plantejades en el projecte del TELMAG.

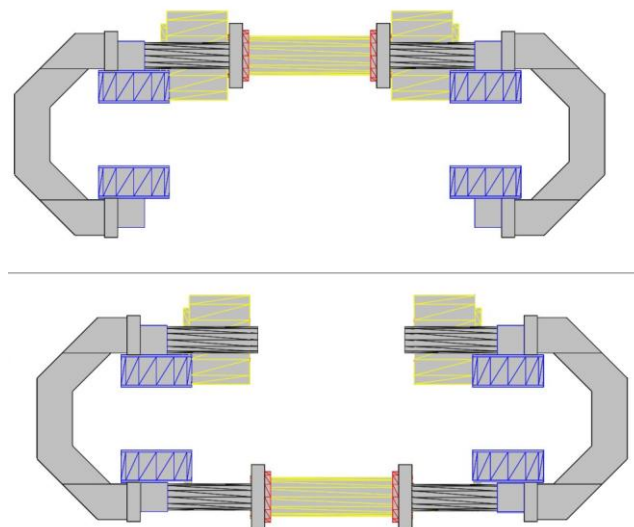


Fig 3. 23 Modificació preliminar necessària per a adaptar el motor.

S'ha realitzat el disseny virtual d'aquesta modificació mantenint la mateixa forma a l'estructura que en la figura 3.22.

S'utilitza la mateixa forma d'estructura angular lateral. Aquesta estructura es va dissenyar per que la via pogués passar per l'interior del motor evitant en tot moment el descarrilament (recordem que el TELMAG utilitza un perfil de via en forma de pi, que encaixa a la perfecció amb aquest model), i garantint sempre la mateixa distància entre els pols de la via i els electroimants del motor.

En el model del transportador aeri, les vies tindran un perfil rectangular, unides entre elles per travessers que al seu torn estaran fixats a columnes verticals per la part superior, just per on el motor està obert.

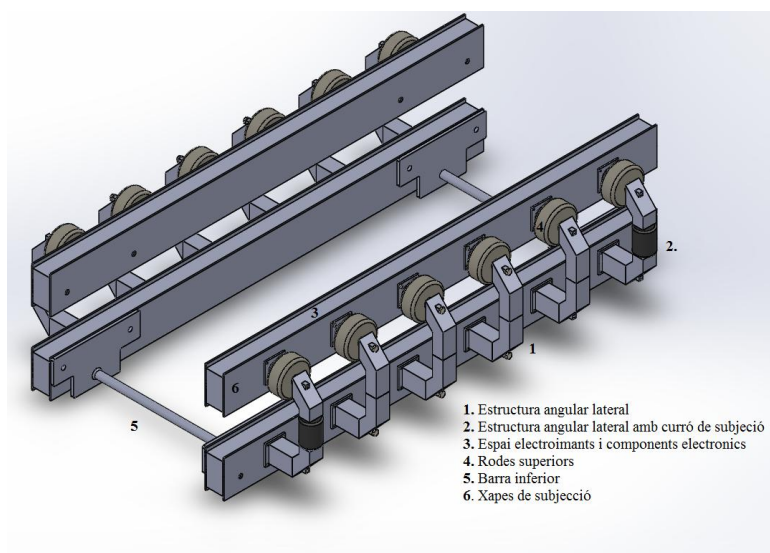


Fig 3.24 Components del motor transportador aeri.

Es tracta d'un motor amb un gran grau de modularitat; en cada part de la estructura lateral es pot afegir un eix amb la seva respectiva roda (1) o be utilitzar l'estructura normal (2), hi ha un total de 8 posicions per banda. Les barres inferiors (3) garanteixen en tot moment que es respecta la distància entre les dues parts del motor, així com també permeten la col·locació d'altres elements com el captador de corrent o sensors,. També és possible afegir més barres si així es requereix.

### 3.10.4 Posicionament de les fases del motor i els nuclis de la via.

Com be s'ha explicat el motor contindrà una sèrie d'electroimants que interactuaran amb els nuclis fèrrics que hi ha a la via. Cal definir una posició aproximada dels mateixos abans de definir la totalitat de les cotes del motors per tal de que aquest sigui viable. S'ha definit una distancia màxima per a la disposició dels electroimants de 25mm, en funció d'una regla de tres amb les dimensions del motor lineal de la maqueta del TELMAG.

Pel que fa el nuclis fèrrics disposats a la via, aquests els trobarem cada 100mm de distancia. Les làmines de Fe<sub>5</sub>Si tenen unes dimensions de 20 x 60mm i interactuen tant amb els estators superiors com inferiors, ja que la polaritat entre ells serà sempre la mateixa independentment del sentit de desplaçament del motor. Pel que fa la distancia vertical entre els nuclis de la via i el motor s'ha establert la mateixa que en el model de la maqueta TELMAG, 2,5 mm. En la següent figura s'il·lustra una possible configuració dels pols del motor (vista de secció) juntament amb els nuclis fèrrics de la via.

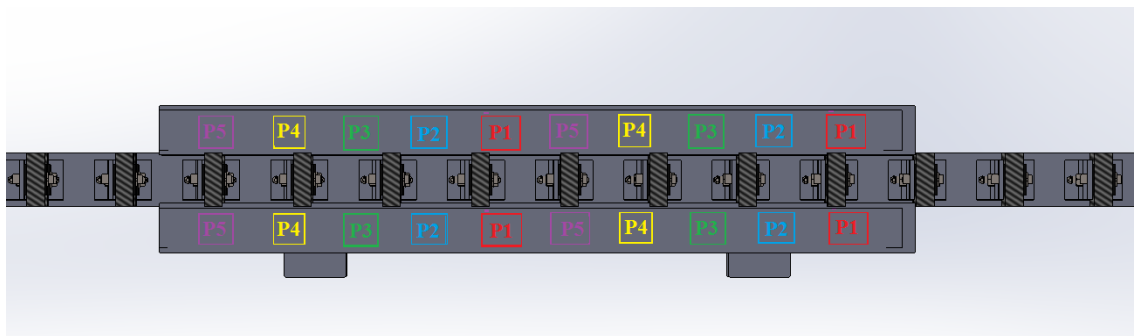


Fig 3.25 una possible configuració de les fases del motor lineal.

En la explicació dels components del motor s'explica la solució tirada per al posicionat d'electroimants.

### 3.11 Dimensionat dels components del motor.

Es tracte d'un motor lleugerament més ample del utilitzat en la maqueta del TELMAG , pel que fa les altres mesures és proporcional a aquest. S'ha copiat la forma de l'estructura angular i s'ha modificat el posicionament de les rodes de la part inferior a la superior. En la figura següent es poden veure dues vistes amb les dimensions principals del motor.

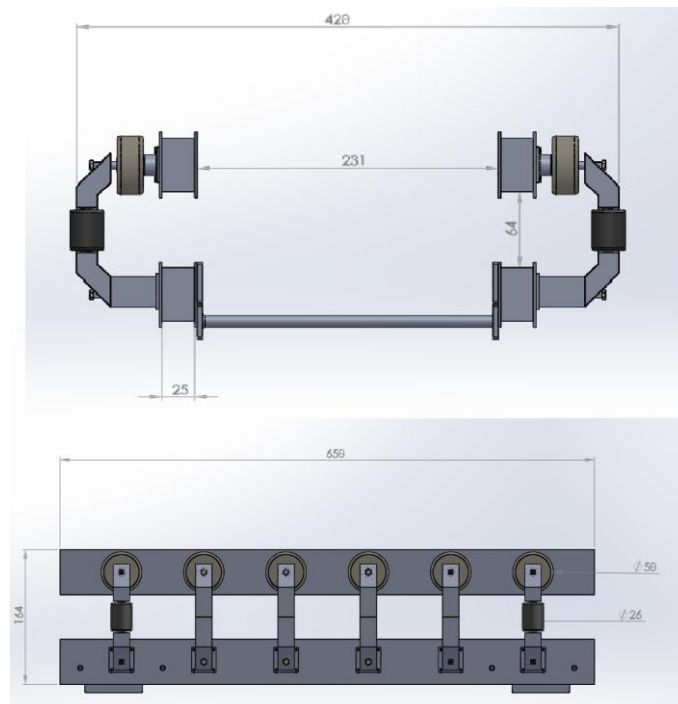


Fig 3.26 Dimensions del motor.

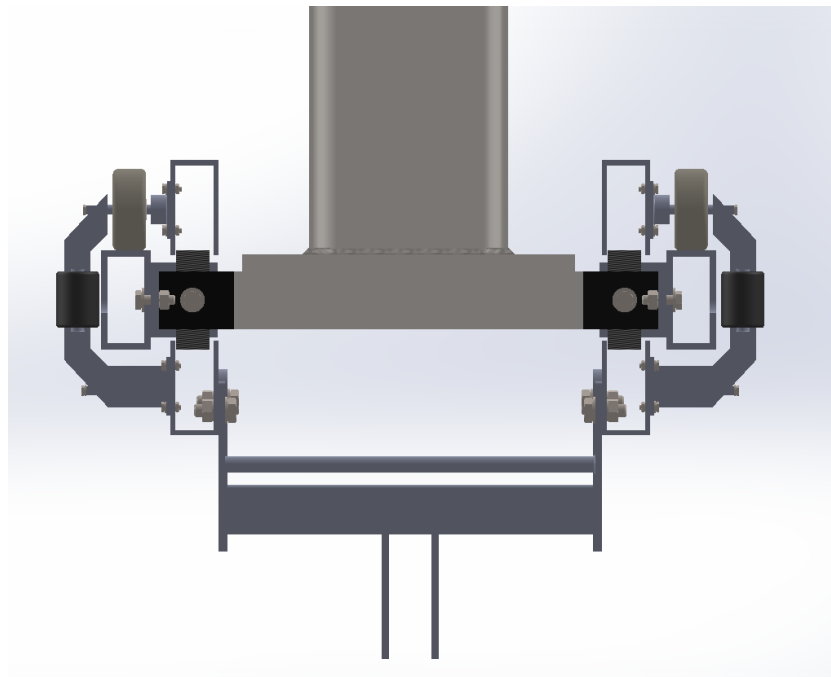


Fig 3.27 acoblament motor- via.

En la següent figura es pot veure l'espai al costat de les rodes superior destinat a contenir els bobinats i la resta de components electrònics.

### 3.11.1 Dimensionat de l'eix superior de la roda.

Com s'ha comentat el motor tindrà unes rodes la part superior que serviran com a límit per al motor, ajudant a mantenir sempre la distancia optima estator-rotor i circulant sobre la via . Hi haurà un total de 12 rodes, 6 a un costat i 6 a l'altre. Sobre aquests eixos recaurà la càrrega de 300kg més el propi pes del motor, i es considerarà que es reparteix uniformement al llarg de tots els eixos i que es situarà just al centre de la roda, ja que la força real que experimentarà l'eix serà la normal de la roda i a efectes de càlcul es considerarà que aquesta esta situada just al punt mitja d'aquesta. El valor total d'aquesta força serà el producte vectorial entre la component pes i la component acceleració.

El material estriat per a aquest eix és l'acer SAE 1045 laminat en calent, un acer molt utilitzat per a conformació d'eixos. La resistència màxima a la fluència d'aquest acer és  $S_y=413$  Mpa, i la resistència a la tracció  $\sigma = 655$  Mpa (Annex materials). Per a no sobre dimensionar en excés l'eix i generar així un cost i un pes addicional s'ha decidit treballar amb un coeficient de seguretat  $n=1,5$ . En una part l'eix tindrà un diàmetre de 18 mm i en la barra on es situarà la roda el diàmetre serà de 6mm, havent-hi un cordo de soldadura de  $r=1$ mm entre els dos cilindres (figura 3.28).

El conjunt del motor sense tenir en compte la biga transversal té una massa de 35 kg.

El conjunt Caixa + ramal de subjecció + càrrega P tenen una massa de 350 kg. La biga i les dues plaques a les que esta soldada tenen una massa de 1,5kg.

Per tant la component pes del conjunt és  $P_{tot}=34\text{kg}+1,5\text{kg}+350\text{kg}=385,5$  kg

Aquest pes expressat en Newtons tindrà un valor de  $P_{pes}=3855$  N

L'acceleració del conjunt serà d'un màxim de  $3$  m/s<sup>2</sup>, la força resultant d'aquesta acceleració serà  $F=m \cdot a$ , en direcció del moviment i a 90° respecte la component pes.

$$F_{\text{desplaçament}} = 385,5 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s}^2 = 1156,5 \text{ N}$$

Producte vectorial dels dos vectors:

$$P = \sqrt{3855^2 + 1156,5^2}$$



$$P = 3950.5 \text{ N} \approx 4000 \text{ N}$$

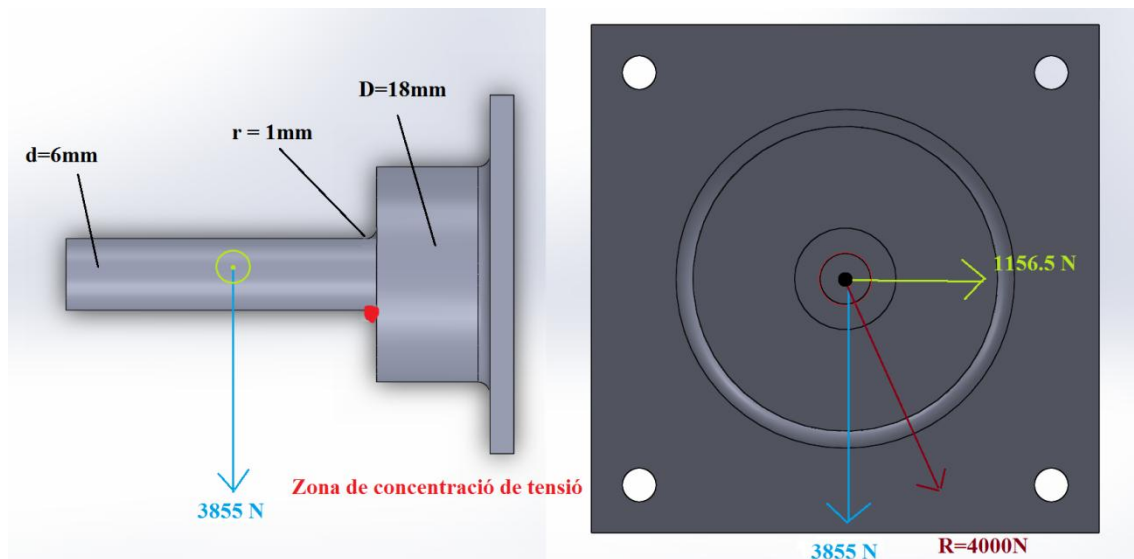


Fig 3.28 D.S.LL del eix de les rodes superior.

El producte del vector pes i el vector acceleració d'aquest conjunt origina una resultat de 4000N a 17° respecte la normal del terra, aquesta resultant ocasionarà un esforç de flexió en l'eix.

Degut a que es tracta d'un eix amb condicions direccionals i de forma variants (eix circular per una banda i quadrat per una altre) amb una forma no uniforme, i per tant la distribució de tensions al llarg del eix tampoc serà uniforme, i no es poden calcular les tensions amb les equacions fonamentals. Els canvis sobtats de forma es denominen intensificadors d'esforç, mentre que les regions on hi ha la transició s'anomenen àrees de concentració d'esforç. Per tant s'està davant un cas de concentració d'esforços. [18]

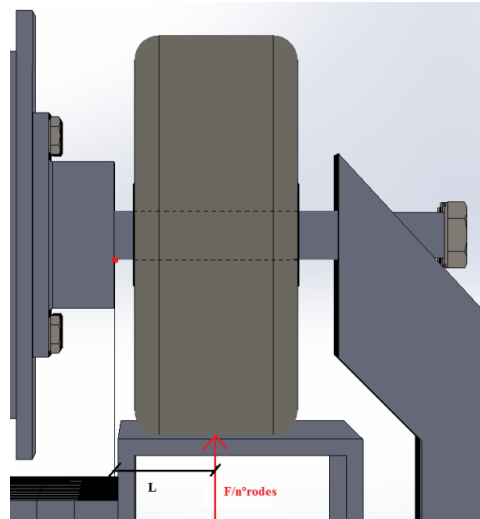


Fig 3.29 Distància del moment generat per la roda.

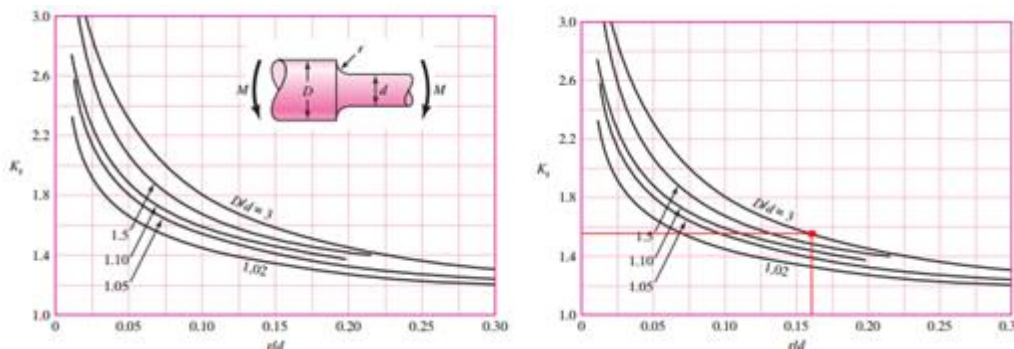
En aquests casos s'utilitzen unes gràfiques en funció del esforç i la forma de la peça, que donen una sèrie de factors anomenats *factors teòrics* o *geomètric de la concentració d'esforços*  $K_t$  per a relacionar l'esforç màxim real a la discontinuïtat amb l'esforç nominal. Aquest factor fa referència a la geometria de la peça i no al material, d'aquí el seu nom, es defineix per mitjà de l'equació:

$$\sigma_{\max} = K_t \cdot \sigma_o$$

on  $\sigma_{\max}$  correspon a tensió màxima admissible de la peça i  $\sigma_o$  l'equació clàssica de la tensió.

$$\sigma_o = \frac{M \cdot c}{I} \quad ; \quad \text{on} \quad c = d/2 \quad i \quad I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}; \quad M = \frac{F}{n^{\circ} \text{ de rodes}} \cdot L$$

Amb la figura A-15-9 del llibre *Shygly*, es pot obtenir el valor de  $K_t$  en funció de les relacions geomètriques per a un eix rodo amb dos diàmetres sotmès a flexió:

Fig 3.30 Factor geomètric  $K_f$  del eix superior de les rodes.[19]

La relació D/d en aquest cas és  $18/6=3$ , per tant la recta corresponent és la superior. La relació r/d és igual a  $1/6=0,166$ , per tant:

$K_t = 1,55$ . S'assigna un diàmetre inicial de 6mm i es comprovarà si pot resistir els esforços. La distància L equival a la meitat de l'amplada de la roda més 1mm de marge. Hi ha un total de 12 eixos.

$$c=3\text{mm} \quad I = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,61 \text{ mm}^4 ; \quad L = 11 \text{ mm}$$

$$M = \frac{4000 \text{ N}}{12} \cdot 11 \text{ mm} = 3666,67 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\sigma_o = \frac{3666,67 \text{ N}\cdot\text{mm} \cdot 3 \text{ mm}}{63,61 \text{ mm}^4} = 172,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} = K_t \cdot \sigma_o ; \quad \sigma_{max} = 1,55 \cdot 172,92 \text{ N/mm}^2 = 268,03 \text{ N/mm}^2$$

Per tant l'esforç màxim concentrat en la discontinuïtat de diàmetres serà de **268,03 Mpa**, si es compara aquest valor amb el límit de fluència del material **Sy**, SAE 1045 amb coeficient de seguretat **n** inclòs:

$$\frac{S_y}{n} > \sigma_{max}$$

$$\frac{413}{1,5} > 268,03$$

$$275,33 \text{ Mpa} > 268,03 \text{ Mpa}$$

L'eix compleix les condicions de càrrega. Un cop definit l'eix es parlarà dels cargols que el subjecten a la xapa i a la resta d'estructura del motor.

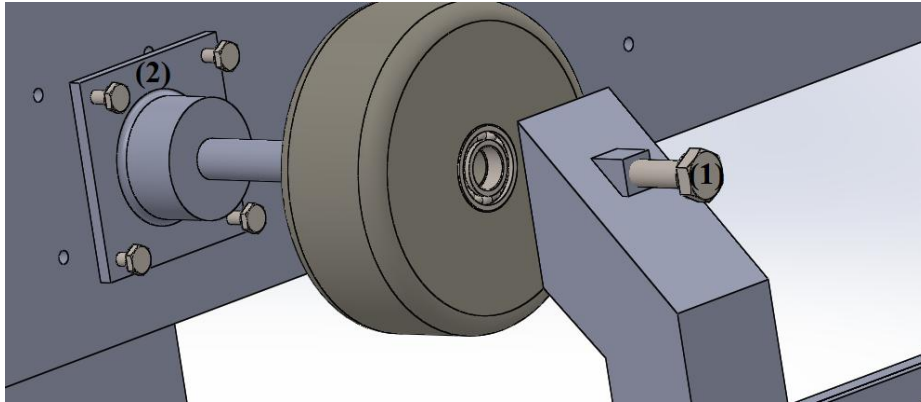


Fig 3.31 Posicionament dels cargols a l'eix superior.

### 3.11.2 Dimensionat del cargol de subjecció del eix (1).

L'eix anirà assembletat al l'estructura angular amb un cargol roscat a un forat concèntric al eix. Aquests cargols seran d'acer 8.8 amb una resistència a la tracció de 800 MPa y una resistència ala fluència de 640 MPa. L'esforç està repartit en un total de 12 cargols, tants com eixos hi ha al motor, i per tant la força es repartirà al llarg d'aquests 12 cargols. Tots 12 estan sotmesos a un esforç tallant:

Resistència a la fluència en tallant:  $S_{sy} = 0.56 \cdot S_y$

$$S_{sy} = 0.56 \cdot 640 = 358,4 \text{ MPa}$$

La igualtat que han de complir aquests cargols es:

$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{P}{A_s}$ ; on P és la càrrega a cada cargol i  $A_s$  la àrea total de la tija del cargol. En aquest cas el coeficient de seguretat que s'utilitzarà és  $n = 4$ .

$$P_{\text{per cargol}} = \frac{4000 \text{ N}}{12} = 333,33 \text{ N}$$

$$\frac{358,4 \text{ N/mm}^2}{4} = \frac{333,33 \text{ N}}{A_s}; \quad A_s = \frac{333,33 \text{ N}}{89,6 \text{ N/mm}^2} = 3,72 \text{ mm}^2 \text{ de secció mínima per cargol}$$

$$A = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{\pi}} = 2,176 \text{ mm}$$

El cargol utilitzat serà un Mètric 4.

### 3.11.3 Dimensionat cargols de subjecció eix (2).

Hi ha 4 cargols que subjecten l'eix circular a la xapa del motor, els 4 sotmesos a un esforç tallant degut a la resultant del vector pes i acceleració. Hi ha 4 cargols tant a la part superior com inferior, independentment de si hi ha un eix o bé la peça inferior de tancament de l'estructura. La qualitat dels cargols serà 6.8 degut al gran nombre de cargols, amb una resistència a la fluència  $S_y = 480 \text{ Mpa}$  i una resistència a la tracció  $600 \text{ Mpa}$ .

Hi ha un total de 12 estructures angulars laterals, cada una constarà de 4 cargols a la part inferior i 4 cargols a la part superior, per tant:

$$N^{\circ}_{\text{cargols}} = 12 \text{ estructures} \cdot 8 \text{ cargols} = 96 \text{ cargols}$$

$$\text{Resistència a la fluència en tallant: } S_{sy} = 0.56 \cdot S_y$$

$$S_{sy} = 0.56 \cdot 480 = 268,8 \text{ MPa}$$

S'ha de complir la mateix igualtat que en el cas anterior.

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{P}{A_s}; \text{ on } P \text{ és la càrrega a cada cargol i } A_s \text{ la àrea total de la tija del cargol. } n=4.$$

$$P_{\text{per cargol}} = \frac{4000 \text{ N}}{96} = 42 \text{ N}$$

$$A_s = \frac{42 \text{ N}}{67,2 \text{ N/mm}^2} = 0,625 \text{ mm}^2 \text{ de secció mínima per cargol}$$

$$A = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{\pi}} = 0,9 \text{ mm}$$

Tot i que a partir d'un Mètric 2 ja n'hi hauria prou, per seguretat el cargol utilitzat serà un Mètric 4. [18],[19]

### 3.11.4 Dimensionat eix lateral.

Com es pot veure a la figura 3.26 i 3.27 en les dues primeres i les dues últimes estructures hi ha un corró vertical alineat amb les altres estructures. Aquest corró té una funció molt important, que és evitar que el motor es separi de la via quan aquest passi per un corba i es vegi sotmès a la acceleració normal centrípeta generada per la mateixa, tot i que la guia en

principi serà magnètica, no es pot descartar que el motor tingui desplaçaments laterals a l'hora de passar per una corba o be que pateixi alguna altre força externa (com una descompensació de càrrega a la coveta o un cop) que el faci tendir a desplaçar-se. Amb aquests 4 corròs s'evitarà aquest problema. En condicions normals (línia recta) aquest corró no té contacte amb la via (evitant així un consum excessiu del motor per fricció) , dons hi ha una distancia d'1mm per costat entre aquest corro i la via, per tant nomes estaran en contacte quan hi hagi desplaçaments laterals.

L'eix que aguanta aquest corró ha de poder suportar la força lateral sense deformar-se o trencar-se. L'eix estarà sotmès a la component pes (esforç de tracció) i a l'acceleració normal que l'empeny cap al centre de la circumferència (esforç flector). Aquesta força es situarà al punt mig de la roda ja que vindrà donada per la normal de les rodes laterals.

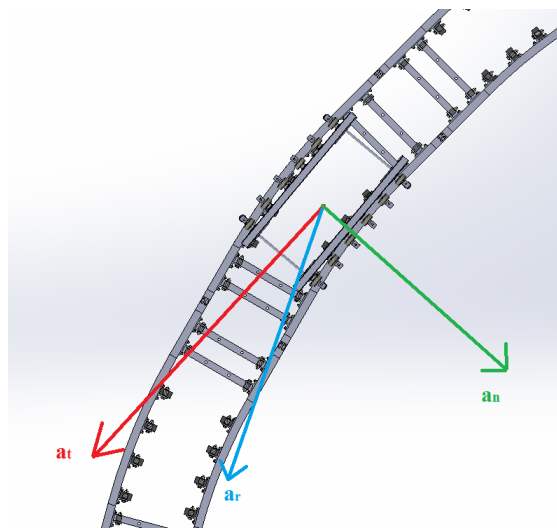


Fig 3.32 vectors acceleració presents a la corba.

La via esta dividida en mòduls tots iguals entre elles, pel que fa les corbes tenen un radi central d' aproximadament **3m** (clar esta que el radi de la via interior i exterior seran diferents per tal de mantenir sempre la mateixa distancia entre vies). I son mòduls amb  $15^\circ$  de gir. Calculant l'acceleració i sabent el pes total que es desplaça es pot saber amb exactitud la força horitzontal a cada corba, que es considerarà a repartida uniformement entre dos eixos ja que a cada corba seran les rodes d'un dels dos costats les que actuaran. [18],[19]

Càlcul de la força màxima normal. En les corbes mai s'excedirà d'una velocitat màxima de 3 m/s.  $V_{\max}= 3\text{m/s}$ ; radi=3m.

$$a_n = \frac{v^2}{r} ; a_n = \frac{2^2}{3} = 3 \text{ m/s}^2$$

La massa  $m$  màxima a desplaçar és de 385.5 kg

$$F_{\text{centrípeta màxima per eix}} = \frac{m \cdot a_n}{n^{\circ} \text{eixos}} = \frac{385.5 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s}^2}{2} = 578,25 \text{ N}$$

La component pes correspon a la força generada pels 385,5 kg dividida per les 12 estructures sobre les que recau. Tot i que realment la tensió no es distribueix igual per a totes les parts de l'estructura (ja que tenen una geometria variable) es considerarà una distribució uniforme efectes de càlcul.

$$P = \frac{3855 \text{ N}}{12} = 321,25 \text{ N}$$

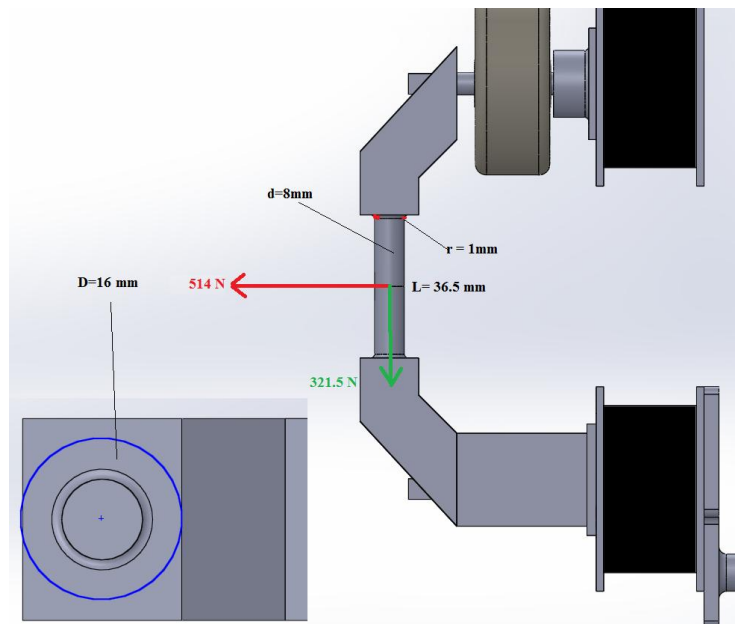


Fig 3.33 D.S.LL del eix lateral.

Es torna a tractar d'un cas de concentració de tensions per geometria variable. Al no haver-hi gràfics dels factors de concentració teòrics d'eixos cilindre - rectangle es considerarà com una circumferència circumscrita en el mateix de  $D=16\text{mm}$ . En aquest cas hi haurà dos factors, el degut al moment flector de la acceleració normal i el de tracció degut al pes. Els punts de concentració de tensió seran al voltant del radi petit d'1 mm.

Les equacions del esforç resulten d'e la següent forma:

$$\sigma_{max} = K_{t1} \cdot \sigma_{o1} + K_{t2} \cdot \sigma_{o2};$$

$$\sigma_{max} = K_{t1} \frac{P}{A_s} + K_{t2} \cdot \frac{M \cdot c}{I}$$

La relació D/d en aquest cas és igual a  $16/8=2$  i la relació r/d  $1/8=0,125$ .

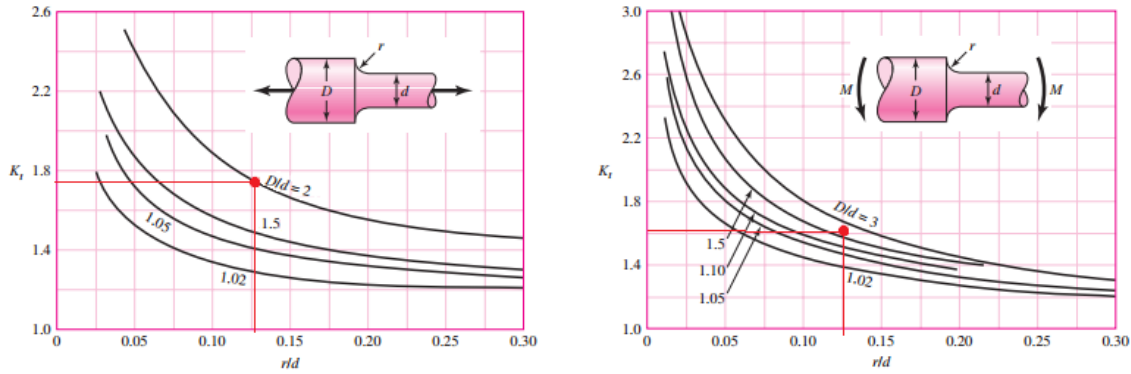


Fig 3.34 Factors de concentració d'esforç presents en l'eix. [19].

El valor dels factors geomètrics es:  $K_{t1} = 1,75$ ;  $K_{t2} = 1,6$

El moment és igual:

$$M = F_{\text{centrípete}} \cdot \frac{L}{2} = 578.5 \text{ N} \cdot 18,25 \text{ mm} = 10553,062 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$c = 4 \text{ mm} \quad I = \frac{\pi \cdot 8^4}{64} = 201,06 \text{ mm}^4; \quad P = 321.5 \text{ N}; \quad A_s = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{max} = 1,75 \frac{321.5 \text{ N}}{50,23 \text{ mm}^2} + 1,6 \cdot \frac{10553,062 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 4 \text{ mm}}{201,06 \text{ mm}^4} = 347,12 \text{ N/mm}^2$$

El material d'aquest eix serà el mateix que l'eix superior SAE 1045, amb una resistència a la fluència de 413 MPa. Com que aquest eix només estarà sotmès a aquests esforços en moments molt puntuals, el factor de seguretat assignat n serà de 1,5.

$$\frac{S_y}{n} > \sigma_{max}$$

$$\frac{413}{1.5} > 347,12$$

$$275,33 \text{ Mpa} > 347,11 \text{ Mpa}$$

L'eix no compleix les condicions de càrrega.



L'eix no compleix les condicions per a suportar la càrrega lateral dins el coeficient de seguretat desitjat. Es poden dur a terme una sèrie d'accions per a augmentar la resistència de l'eix i que aquest sigui capaç de suportar la càrrega lateral:

- Canviar el material per un amb un punt de fluència de menor:
- Augmentar la relació r/d per a tenir un factor geomètric més baix.
- Disminuir la relació D/d per a tenir un factor geomètric més baix.
- Augmentar el nombre d'eixos
- Disminuir la velocitat al pas per cobrir disminuint així la força lateral.

Finalment s'ha optat per augmentar el radi petit r a 2mm; la relació r/d passa a ser 2/8=0,25. amb la figura 3.34 obtenim els nous valors del factor geomètric:

$$K_{t1} = 1.5; \quad K_{t2} = 1,22$$

$$\sigma_{\max} = 1.5 \frac{321.5 \text{ N}}{50,23 \text{ mm}^2} + 1,22 \cdot \frac{10553,062 \text{ N}\cdot\text{mm}\cdot 4 \text{ mm}}{201,06 \text{ mm}^4} = 265,73 \text{ MPa}$$

$$275,733 \text{ Mpa} > 265,73$$

En aquest cas l'eix compleix les condicions.

La peça disposada a les parts inferiors on l'eix no hi és present (s'anomenarà peça de tancament inferior) també ha de complir les condicions de superfície per a resistir els esforços del pes:

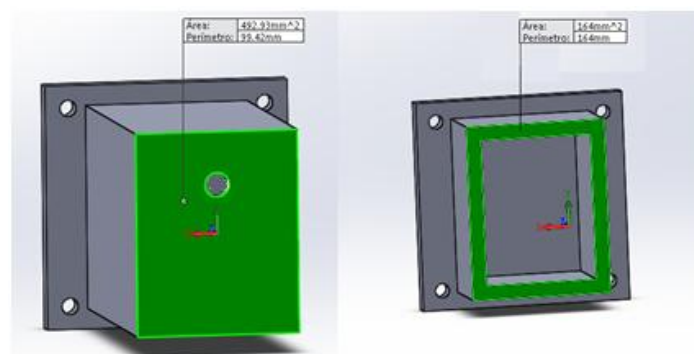


Fig 3.35 Seccions de la peça de tancament inferior del motor.

P=321.5N, As figura 3.35

El cas 1 també es tracta d'un cas de concentració d'esforços, en aquest cas el punt crític és la distància més curta entre el forat i el final superior de la peça. El gruix nominal  $t=3\text{mm}$ , el forat és un Mètric 4 i l'amplada de la peça  $W=20\text{mm}$ . La distància entre el centre del forat i la part superior és de  $10\text{mm}$ .

Per a saber el factor geomètric d'aquest cas és rellevant la relació  $d/W$   $4,2/20=0,21$ ;  $h/W$   $10/20=0.5$ . L'àrea  $A_s$  correspon a  $A_s=(W-d)\cdot t$

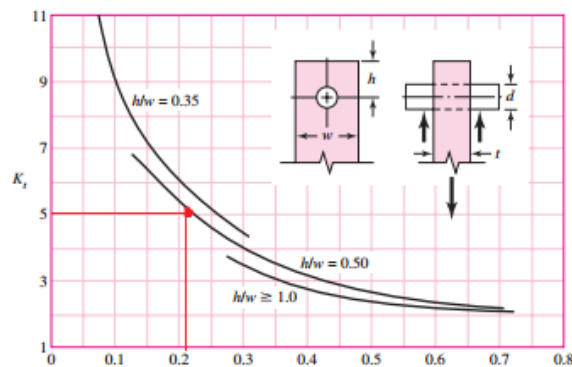


Fig 3.36 Factor de concentració per a una lamina foradada. [19].

Factor geomètric  $K_t=5$

$$\sigma_{max} = K_t \cdot \frac{F}{A_s} = 5 \cdot \frac{321.5 \text{ N}}{(20-4)\text{mm} \cdot 3 \text{ mm}} = 33,43 \text{ N/mm}^2$$

En aquest cas no hi ha concentració d'esforç, l'àrea exposada igual a  $164 \text{ mm}^2$

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_s} = \frac{321.5 \text{ N}}{164 \text{ mm}^2} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

Aquestes dues peces es conformaran amb acer S275 Amb un límit de fluència de  $275 \text{ MPa}$ .

Coefficient de seguretat  $n=1,5$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{275 \cdot 0.56}{1.5} = 102,66 \text{ Mpa}$$

$$102,66 \text{ Mpa} > 33,43 \text{ Mpa}$$

$$102,66 \text{ Mpa} > 1,96 \text{ Mpa}$$

Complex.

### 3.11.5 Rodes del motor.

#### 3.11.5.1 Rodes superiors.

Les 12 rodes situades als eixos a la part superior del motor fan una funció d'ajuda al guiatge (amb ajuda també de les forces magnètiques) i de límit per mantenir sempre les distàncies òptimes. Cal estar que sobre aquestes forces no recauran esforços de locomoció per a empènyer el sistema, ja que aquesta força ve donada per el motor lineal. Aquestes roden han de suportar el pes del conjunt i donar una ràpida resposta a la acceleració sense crear una gran resistència al moviment (coeficient de fricció estàtic baix). Han de tenir també una certa rigidesa per a no deformar-se més de 2,5 mm (distància E-R) a càrrega màxima.

El **diàmetre** de la roda ha de ser de 50mm i un gruix no superior a 30mm. Els materials més adients són cautxú massís, goma massissa, poliuretà rígid o resines sintètiques. El conjunt de les 4 roden han de suportar una força de 4000N com a mínim, més un petit marge de seguretat.

Finalment s'ha decidit per un model de roda de goma dura, utilitzada per aplicacions de desplaçament de carros industrials. Referència HS2019-1B amb les següents especificacions tècniques:

Càrrega admissible (kg)	Diàmetre de la roda (mm)	Amplada de la roda (mm)	Diàmetre del eix (mm)	Longitud del eix (mm)
40	50	20,2	23,2	23,2

Taula 3.12 Característiques de la rodes superiors.

Bona adherència, antienvelliment i antilliscant. Desplaçament suau, eixos de Nylon que proporcionen fiabilitat a la càrrega i asseguren un desplaçament suau. Inclouen rodaments a mesura.

La resistència total de les 12 rodes serà igual a 480 kg, pes al que mai s'hauria d'arribar. Bones condicions dimensionals, bon encaix amb l'eix calculat prèviament. Deformació entre el 1 i 1,5% del diàmetre a càrrega màxima

### **3.11.5.2 Rodes laterals.**

La principal característica de les rodes laterals és que aquestes no estan en contacte amb les vies més enllà de les corbes i serà en aquests únics punts on hauran de suportar una resistència. Es faran servir corrons de cautxú natural per a aquests corrons. El cautxú té unes propietats mecàniques molt interessants ja que és resistent al trencament, i la zona de deformació romanent molt extensa i és resistent a la abrasió per contacte.

Es faran servir corrons complets amb un eix metàl·lic i el recobriment de cautxú, caldrà incloure també rodaments en els seus extrems ja que aquests no venen disposats de fàbrica. Es poden fabricar a mesura i per tant les dimensions plantejades no s'ha de modificar:



Fig 3.37 Diferents tipus de corrons a utilitzar. Annex I

La mida del rodament estriat és el 618/8 amb 8mm de diàmetre interior, 16mm de diàmetre exterior i un gruix de 4mm. Conte 20 boles al seu interior i aguanta una força axial de 0,891 kN molt superior a la present en aquest eix ja que ames recau en dos rodaments, especificacions tècniques a Annex I .

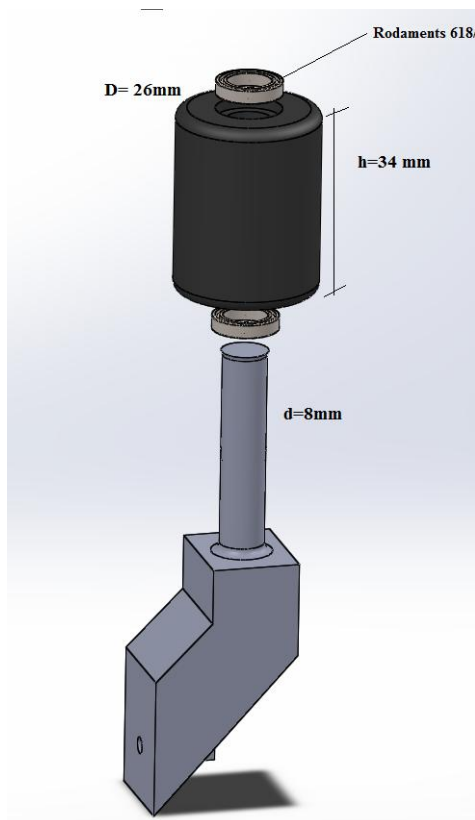


Fig 3.38 Roda lateral amb els seus elements.

### 3.11.6 Càlcul de la força de fricció de les rodes.

En l'apartat anterior s'ha definit una força d'empenta aproximada en funció de la massa total i la acceleració que es vol tenir, depreciant la força de fregament. Degut a que la impulsió d'aquest motor és magnètica, no tindrem forces de fregament per a la tracció ja que no hi ha contacte físic entre els components que l'originen.

Ara be, entre les 12 rodes i la via si hi haurà una petita força d'oposició al desplaçament que haurà de ser contrarestada, un cop sabent el material i les dimensions d'aquesta roda es pot calcular la força de fricció. En les corbes, les rodes laterals actuaran, per tant hi haurà una força addicional de fricció, la fricció total serà la suma de les dues friccions, ja que els dos vectors tenen la mateixa direcció i les dues components es sumen.

Es tracta d'un cas de fricció per rodament. En una situació ideal de dos sòlids perfectament incompressibles el rodament no tindria fricció, ja que el contacte es produiria en un sol punt per al qual la velocitat és nul·la. Però en la situació real, el contacte d'una roda sobre el terra no es produeix en un sol punt sinó sobre petita extensió que pot augmentar o

disminuir en funció de la deformabilitat dels materials. La força de fricció per rodament obeeix també a la fórmula:

$$|\vec{F}_r| = \mu_r |\vec{F}_n|$$

On  $F_n$  és la força normal al pes

$\mu_r$  el coeficient de fricció, per a rodes poc deformables pot ser estimat amb l'expressió:

$\mu_r = \sqrt{\frac{z}{d}}$  on;  $d$  correspon al diàmetre de la roda i  $z$  a la distància d'enfonsament.

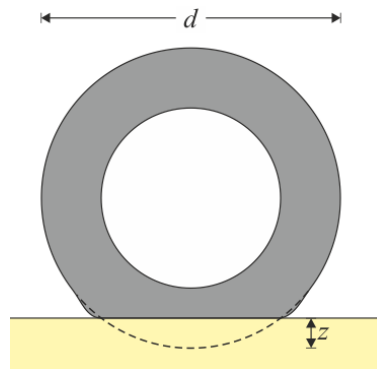


Fig 3.39 Distància  $z$  d'una roda deformable.

En cas que les rodes fossin les encarregades de frenar o accelerar el sistema s'hauria de vigilar de no tenir una força de fricció excessivament alta (que faria augmentar el consum del sistema) o molt baixa (que faria difícil la frenada). En aquest cas, com que la frenada es produeix magnèticament, és molt interessant reduir al màxim aquesta força de fregament per tal d'augmentar la eficiència. [18]

### 3.11.6.1 Rodes superiors.

Segons el fabricant de les rodes la deformació a C.M.U és del 1-1,5 % del diàmetre. Aquesta deformació serà proporcional a  $z$  aproximadament, la deformació es pot considerar lineal, per tant es pot establir una regla de tres:

480kg                      Def. 1,5%

385.5kg                    Def. 1,2%

$$Z=50\text{mm} \cdot 0,012 = 0,6 \text{ mm}$$

$$\mu_r = \sqrt{\frac{0,6}{50}} = 0,1095$$

Es considera que els 385,5 kg es reparteixen uniformement per les 12 rodes, per tant:

$$F_r = 3855 \cdot 0,1095 = 422,29 \text{ N}$$

Per tant hi haurà una força de fregament total de 422,29 N en sentit oposat al desplaçament quan la càrrega sigui màxima, amb valors de càrrega més baixos com que la deformació z serà més baixa la força de fricció resultat també ho serà.

A continuació s'il·lustra una taula i un gràfic amb el valor de la força de fricció per a diferents càrrega de pes. El pes s'expressa amb càrrega neta a la caixa

Càrrega neta caixa (kg)	$\mu_r$	Fr (N)
300	0,1095	422,29
250	0,1032	346,236
200	0,0943	269,2265
150	0,085	200,175
100	0,076	140,98
50	0,065	88,075

Taula 3.13 Força de fregament en funció de diferents valors de càrrega neta.

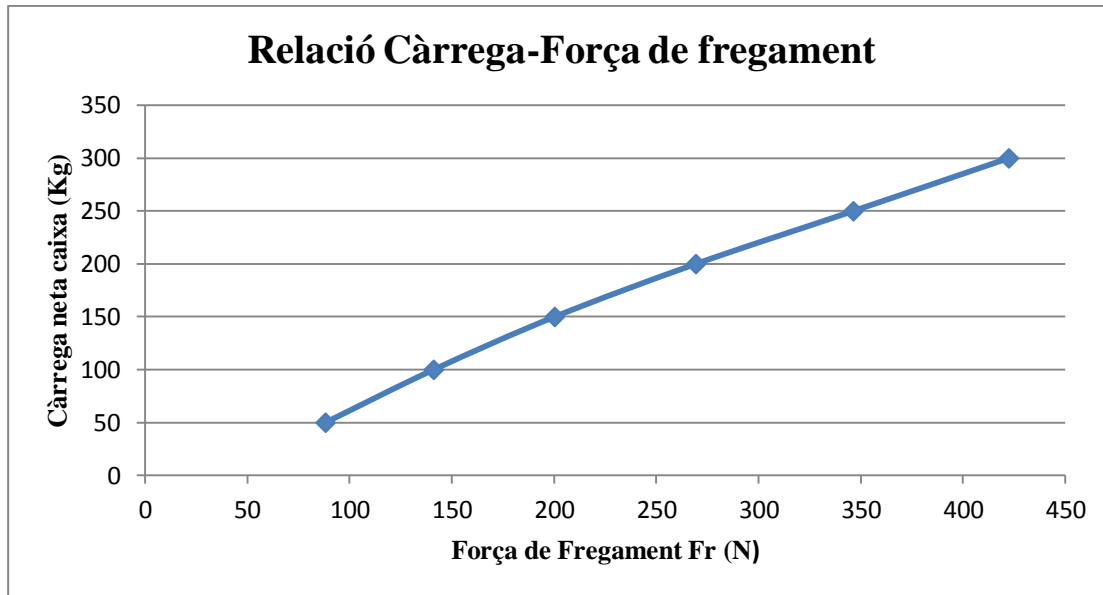


Fig 3.40 Gràfic de la força de fregament en funció de la càrrega.

Els valors de la força de fregament s'hauran de tenir en compte a l'hora de calcular la potència del motor.

### 3.11.6.2 Rodes laterals.

En aquest cas al no haver-hi un contacte permanent no es calcularà la força de fricció a partir del coeficient de rodament. La força de fricció a les corbes deguda al contacte del corro amb el lateral de la via es calcularà a partir de la forma clàssica del càlcul de la força de fricció:

$$F_r = \mu \cdot N$$

Com tot el pes recau sobre les rodes superiors, la normal que experimentaran els corrons serà la reacció superficial a la acceleració centrípeta tal com s'ha calculat en l'apartat anterior, 578 N per corró. El coeficient de fricció dinàmica entre un cos de cautxú que es desplaça sobre una superfície d'acer no lubricada és igual a  $\mu=0,25$ , per tant:

$$F_r = 0,25 \cdot 578 \text{ N} = 144,5 \text{ N}$$

La força de fricció màxima per corró en una corba a una velocitat igual a 3 m/s és igual a 144,5 N.



### 3.11.6.3 Força de fregament màxima.

En el cas més extrem, on el transportador estigui carregat al màxim amb una càrrega de 300kg a una velocitat de 3 m/s al pas de corba serà igual a:

$$F_{r \max} = F_{r \max \text{ rodes sup}} + 2 \cdot F_{r \max \text{ per corró}}$$

$$F_{r \max} = 422,29 \text{ N} + 2 \cdot 144,5 \text{ N} = \mathbf{711,29 \text{ N}}$$

### 3.11.7 Estructura posicionament d'electroimants i components electrònics.

El motor tindrà a la part superior i la part inferior 4 peces en forma de U dins les quals aniran collats els diferents elements que componen el motor (eixos, estructures angulars, barres inferiors i biga porta-material). Dins d'aquesta peça estaran posicionats els electroimants i el cablejat dels mateixos. Aquestes peces tindran un perfil en forma de U rectangular, amb la obertura situada sempre a pa part que enfoca a la via per tal de no crear interferències entre els electroimants del estator amb els nuclis de la via. S'ha decidit disposar de dues barres soldades de 15mm de diàmetre tant a la part frontal com a la final de cada estructura, a una distància de 100mm dels límits de la peça. L'objectiu d'aquestes barres és que els esforços no recaiguin sobre la xapa.

Pel que fa els bobinats estaran compresos dins la U de l'estructura i si escau subjectats amb la ajuda de les barres disposades, de la mateixa forma que el motor del prototip del TELMAG. El volum disponible per al posicionament de components electrònics és

$$V = 25\text{mm} \cdot 55\text{mm} \cdot 650\text{mm} = 893750 \text{ mm}^3 = 893,750 \text{ cm}^3$$

En la figura 3.27 es pot apreciar el volum per a la disposició dels elements electrònics

Finalment un cop definit tots els components de rellevància l'assemblatge motor – carro tindrà aquesta forma:

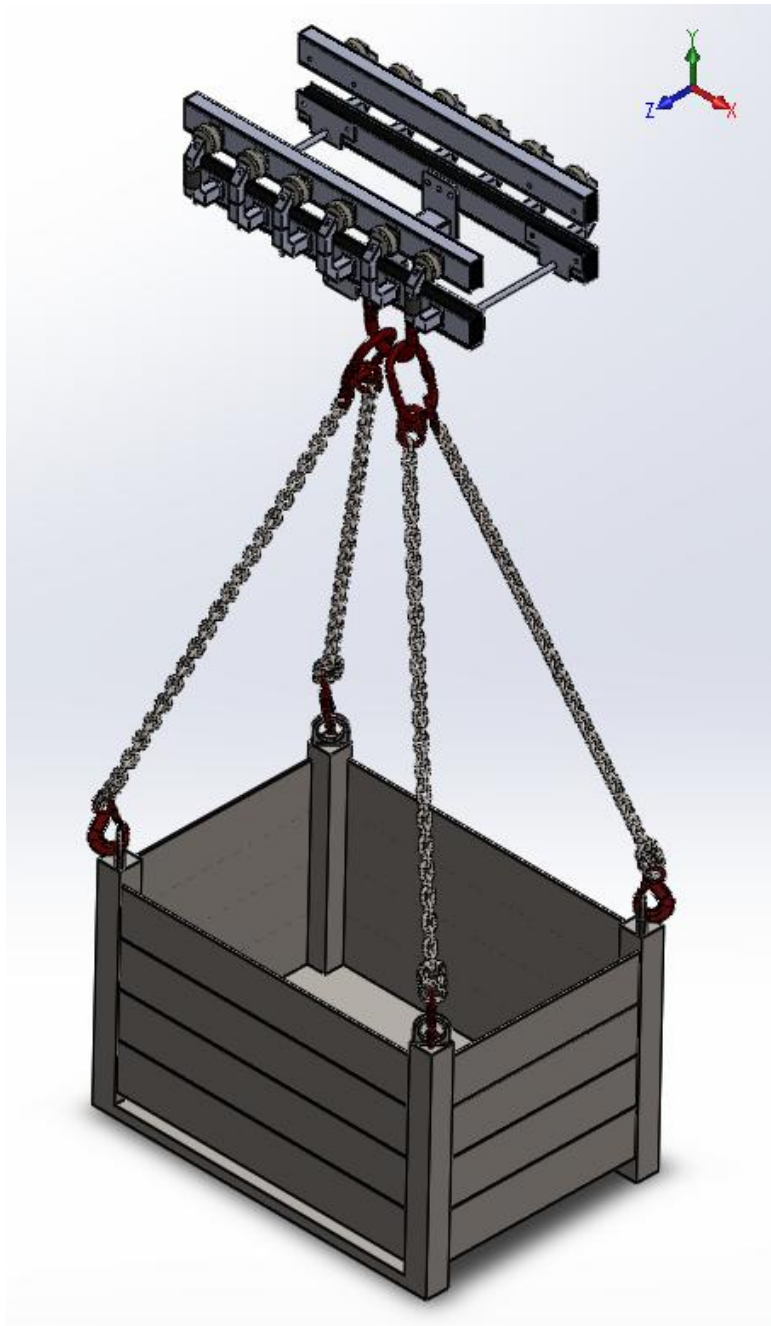


Fig 3.41 Motor pop i caixa acoblats.

### 3.12 Via del transportador.

Un cop definit i dimensionat el carro i el sistema porta-càrrega del transportador aeri es definirà l'estructura d'aquest, les característiques, elements principals, dimensionat en funció de la càrrega.

Aquesta via ha estat dissenyada amb el major grau de modularitat i matricialitat possible, ja que ha de ser capaç d'adaptar-se a qualsevol espai i recorregut requerit. Ara bé com tot sistema tindrà unes limitacions, ja que hi pot haver trajectòries impossibles de realitzar com poden ser corbes amb un radi molt petit que no permetin passar al motor. Finalment s'ha decidit no incorporar canvis d'alçada i que el sistema es mogui sempre en el mateix pla, ja que en la majoria d'aplicacions on és necessària aquest sistema es realitzen transports de càrrega en un mateix pla a una certa alçada. A més a més la incorporació de plans inclinats implica una sèrie de complicacions tècniques que obligarien a canviar radicalment la estructura del motor.

L'estructura consta de diversos mòduls que es van assemblant un darrere l'altre. Hi ha dos tipus de mòduls principals: mòduls en **línia recte** i els mòduls en **corba**. Els mòduls poden tenir columnes de suport al sostre amb una biga longitudinal amb platines a ambdós costats, o bé al terra amb un pòrtic en forma de U amb una biga d'una longitud de 240mm soldada al centre de la part elevada del pòrtic, d'aquesta forma s'eviten interferències amb el pas del motor. Pel que fa les bigues a terra, no hi haurà mai dues bigues situades en una calçada de pas de vehicles a una distància menor de 3m entre ells, per tal de no comprometre el pas de camions o altres vehicles (l'amplada d'un camió és aproximadament de 2,5m).

Cada mòdul pot tenir modificacions, com per exemple l'emplaçament de la biga, que pot disposar-se en qualsevol punt que es desitgi dins de l'emplaçament dels nuclis cada 10 cm; allà on hi ha un nucli amb la estructura "petita" es pot col·locar un travesser metàl·lic amb la seva biga, sempre es necessitaran dos travessers consecutius per l'emplaçament de bigues ja que la platina inferior té 4 forats.

Pel que fa les corbes, s'ha definit una corba genèrica de 15° i amb un radi de 3m, permetent sempre el pas del motor i mantenint les distàncies necessàries entre aquest i la via. Unint diferents mòduls de vies de 15° es poden obtenir girs de 30°, 45°, 60°, 90° i així fins a 180°.

En funció de la posició que es col·loquin les peces d'unió entre mòduls es pot girar a la dreta o a l'esquerra.

En la següent il·lustració es poden veure exemples dels diferents mòduls que conformen l'estructura del transportador.

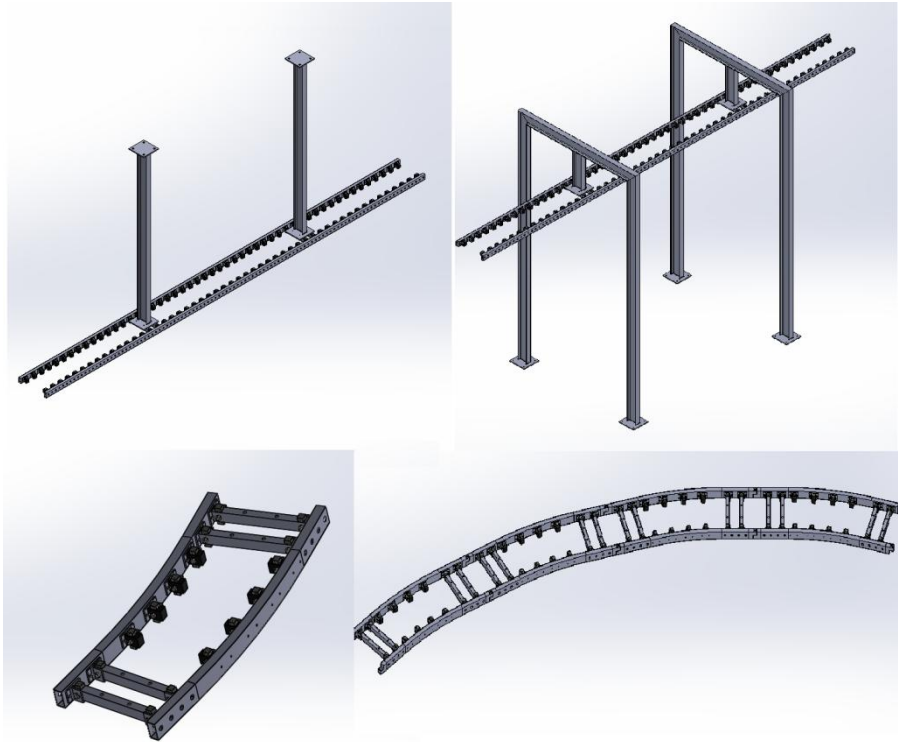


Fig 3.42 Vistes dels diferents mòduls que conformen el transportador.

Amb aquests mòduls es poden construir circuits de via en el pla, disposant les bigues allà on sigui necessari en funció del espai que es disposa. Hi haurà mòduls de trams rectes de diferents longituds, compreses entre un mínim d'1m i un màxim de 5m, per a trams rectilinis llargs s'utilitzaran mòduls de 5m acoblats en sèrie.

### 3.13 Dimensionat de la via.

La via constarà de dos carrils paral·lels i equidistants sobre els quals es desplaçarà el motor, el contacte motor via es realitzarà a la part superior d'aquesta. Les rodes del motor tindran en tot moment contacte amb la part superior de la via garantint sempre una distància òptima per al bon funcionament del motor (distància rotor-estator < 2mm).

Aquesta via es farà a partir d'una biga de perfil rectangular d'acer. Aquestes bigues estaran sotmeses a esforços de flexió al pas del motor, cal definir un perfil òptim que aguantí els esforços i una distancia màxima sense suports. El perfil proposat és un perfil rectangular d'acer S 355 J0 amb unes dimensions de 60mm x 30mm i un gruix  $t=4$  mm (veure característiques de la biga a annexos). La via disposarà de forats centrícs a la fibra neutre de la cara de 60mm, per ambdós costats, hi haurà un forat petit que serà l'encarregat de contenir el cargol (encara per definir la mida  $d$ ) que subjecta els diferents elements laterals de via, i un altre forat concèntric al petit situat a la cara oposada amb unes dimensions de com a mínim el doble del forat petit. La final del segon forat es facilitar el muntatge de cargols que d'altre forma seria impossible.

### 3.13.1 Determinació de la classe de secció de la via.

Es necessari definir una classe per a la secció de la biga que conforma la via per tal de poder realitzar les comprovacions pertinents segons normativa. Com es pot veure a les taules corresponents al Annex III I hi ha diversos factor que intervenen en l'assignació d'una classe de secció. La secció transversal constitueix un panell a flexió. El material emprat és acer S 355 J0 (veure especificacions de material a Annex Ios), amb un allargament unitari  $\epsilon=0,81$ . Per a definir la classe de la secció s'ha de comprovar la relació  $\frac{c}{t}$  (c correspon a la distancia a l'interior entre les parets de la ) i comparar-la amb l'allargament unitari.

$$\frac{c}{t} = \frac{52}{4} = 13$$

Si:

Classe 1:  $\frac{c}{t} < 72 \cdot \epsilon$  (58,32)

Classe 2:  $\frac{c}{t} < 83 \cdot \epsilon$  (67,23)

Classe 3:  $\frac{c}{t} < 124 \cdot \epsilon$  (100)

La secció correspon a la **Classe 1**; ( $13 < 58,32$ )

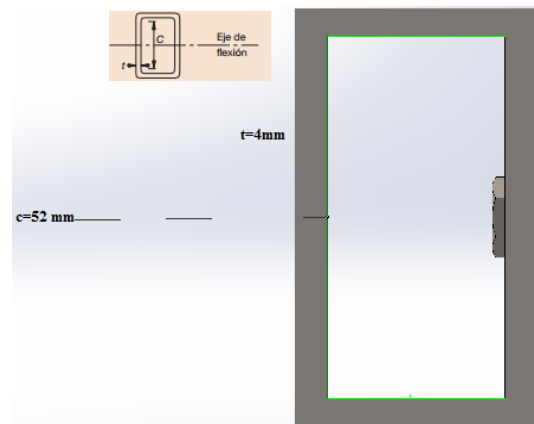


Fig 3.43 Relacions geomètriques pera establir la classe de la secció.

### 3.13.2 Esforços a la via.

El pes que recaurà sobre les dues bigues “carril” serà igual al pes del motor i els seus components més la càrrega de 300 kg, aquesta massa es repartirà uniformement sobre les dues bigues.

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{motor}} + P_{\text{biga càrrega}} + P_{\text{ramal i caixa}} + P_{\text{càrrega}}; P_{\text{tot}} = 34\text{kg} + 1.5\text{kg} + 350\text{kg} = 385.5 \text{ kg}$$

A efectes de càlcul es considerarà el motor com una força distribuïda igual a 4535,29 N/m (3855 N /0,85m) en el conjunt de les dues Bigues. Per tant en cada biga hi haurà la meitat d'aquesta força,  $W = 2267,64 \text{ N/m}$ .

Es consideraran dos casos per al dimensionat de les bigues i també per al posicionament de columnes, en els dos casos es treballarà amb el tram de 5m, que al ser el tram més llarg és també el que tindrà els esforços més grans. En el cas 1 el carro es trobarà centrat al mig i carregat al màxim. En el cas dos es trobarà en un extrem del tram de 5m. Es considera com si a cada extrem del tram hi hagués una columna, en cas que compleixi es cercarà la distancia màxima entre columnes, en cas que no compleixi ja es sabrà que la distancia mínima entre columnes ha de ser inferior a 5m . Els dos casos es tracte d'una biga sotmesa a flexió simple.

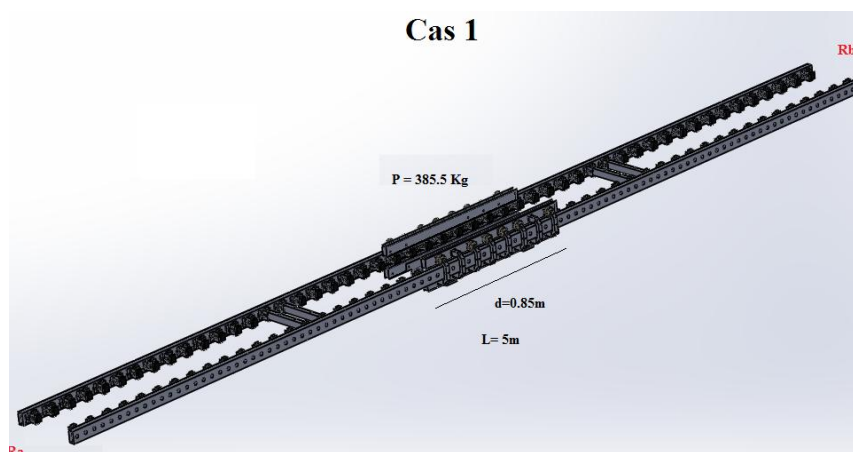


Fig 3.44 Motor posionat en el punt d'esforç màxim, cas 1.

$$\Delta Fy = 0; \quad -P + R_a + R_b; \quad R_a + R_b = W \cdot d; \quad R_a + R_b = 1929,19 \text{ N}; \quad R_a = R_b = 963,75 \text{ N}$$

$$M_{\text{max}} (x=0,425 \text{ m}); \quad M - 963,75 \cdot (x+2,075) + 2267,64 \cdot x \cdot \frac{x}{2};$$

$$M = 963,75 \cdot (2 + 2,075) + 2267,64 \cdot 0,425 \frac{0,425}{2}; \quad M_{\max} = 2204,57 \text{ N}\cdot\text{m}$$

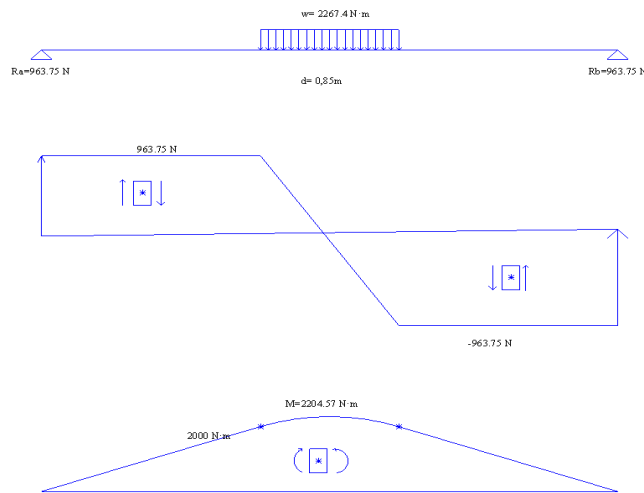


Fig 3.45 Diagrama d'esforços cas 1.

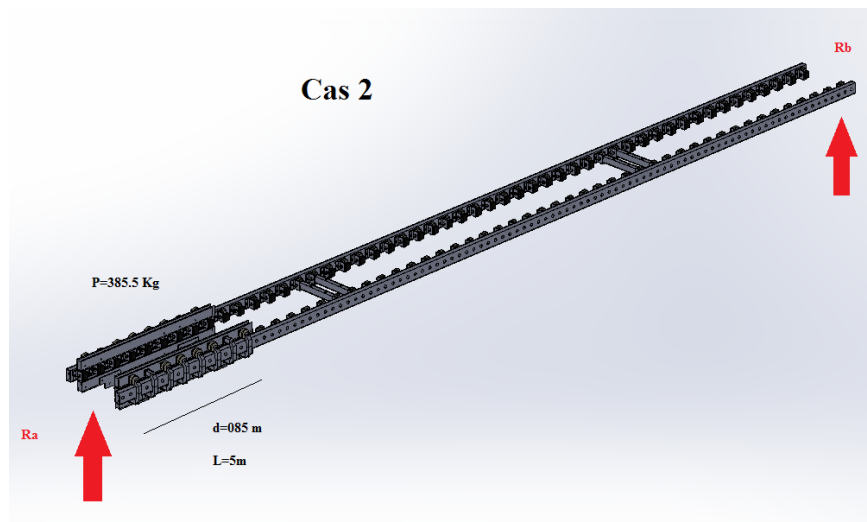


Fig 3.46 Motor posicionat en el punt d'esforç màxim, cas 2.

$$\Delta F_y = 0; \quad -P + R_a + R_b; \quad R_a + R_b = W \cdot d; \quad R_a + R_b = 1929,19 \text{ N}$$

$$\Delta F_a = 0; \quad -R_b \cdot 5 + 2267,64 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85}{2} = 0 \quad R_b = 163,84 \text{ N}; \quad R_b = 1763,67 \text{ N}$$

$$M_{\max (x=0,8 \text{ m})} \quad M + 2267,64 \cdot x \cdot \frac{x}{2} - 1763,67 \cdot x = 0 \quad M_{\max} = 685,29 \text{ N}\cdot\text{m}$$

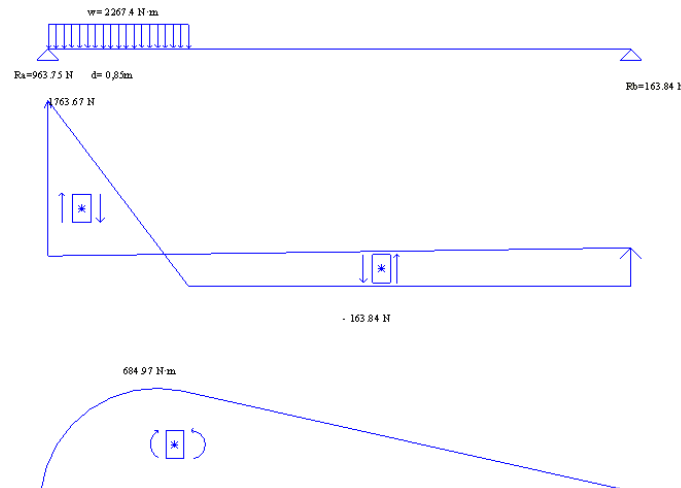


Fig 3.47 Diagrama d'esforços cas 2.

$$V_{\max}=1763,67 \text{ N}; M_{\max}=2204,57 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Primerament a definir les tensions la normativa EAE exigeix realitzar una comprovació de les dues seccions (la secció amb forats i la secció sense forats). Es defineix unes dimensions dels forats de  $d=6\text{mm}$  per al forat petit i  $D=16\text{mm}$  per al forat gran de suport al muntatge. S'ha de realitzar la comprovació:

$$\frac{A_{f,\text{net}} \cdot 0,9 \cdot f_u}{Y_{m2}} > \frac{A_f \cdot f_y}{Y_{m0}}$$

On:

$A_{f,\text{net}}$ : Correspon a la secció nominal de l'àrea neta (catàleg biga  $615 \text{ mm}^2$ )

$A_f$ : l'àrea bruta corresponent al centre dels forats de la secció foradada ( $2 \cdot 280\text{mm}^2$ ) Figura 1, secció bruta a Annex I fig XV.

$F_u, f_y$ : Resistència última a la tracció i a la fluència del acer S 355 J0  $F_u=470 \text{ Mpa}$ ;  $F_y=355 \text{ Mpa}$  (especificacions materials Annex I)

$Y_{M2}, Y_{M0}$ : Coeficients de minoració (1,25; 1,05 )

$$\frac{615\text{mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 470 \text{ MPa}}{1,25} > \frac{560 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ MPa}}{1,05}$$

$$208,116 \text{ kN} > 189,333 \text{ kN}$$



Es tracte d'una biga sotmesa a flexió i tallant. El límit de fluència  $S_y S_{355}=355$  Mpa a tracció per a gruixos inferiors a 3mm.

Es calcularà la tensió deguda al moment flector (posició  $x=2.5$ m). Especificacions de la biga a Annex Ios. S'utilitzarà la expressió:

$$\sigma_{\text{flexió}} = \frac{Mc}{I}$$

$$I_{yy}=8,06\text{cm}^4 = 80600 \text{ mm}^4$$

$$M=2204.57 \text{ N}\cdot\text{m} = 2204570 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$C_y=15 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{flexió}} = \frac{2204570\text{N}\cdot\text{mm}\cdot 15 \text{ mm}}{80600 \text{ mm}^4} = 410 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{flexió}} > S_y S_{355}$$

La via no compleix la condició de càrrega, per tant es defineix una distancia entre columnes inferior a 5m. D'aquesta manera el moment flector serà més petit i la via complirà la condició de càrrega màxima.

### Comprovació a tallant:

Segons normativa, el valor de càlcul de l'esforç tallant ( $V_{Ed}=1763\text{N}$ ) haurà de complir la condició:

$$V_{Ed} < V_{cRd} \quad \text{on:}$$

$$V_{cRd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{m0}}$$

El perfil de la via correspon a un perfil buit rectangular amb un gruix constant, la càrrega tallant és paral·lela al costat de 60mm, el valor de l'àrea tallant  $A_v$  es:

$$A_v = \frac{A \cdot h}{(b+h)} = \frac{615 \text{ mm}^2 \cdot 60\text{mm}}{(60+30)\text{mm}} = 410 \text{ mm}^2$$

$$V_{cRd} = \frac{410\text{mm}^2 \cdot (355 \text{ Mpa} / \sqrt{3})}{1,05} = 80 \text{ kN}$$

1,763kN << 80kN La via compleix la condició a tallant

### Comprovació a moment flector:

El moment flector màxim present a la via ( $M_{Ed}=2204 \text{ N}\cdot\text{m}$ ) ha de complir la següent condició:

$$M_{Ed} < M_{c, Rd} \text{ on}$$

$$M_{c, Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}} \text{ per a seccions de classe dos.}$$

Del Annex I III característiques tècniques de la biga rectangular emprada per a la via, mòdul plàstic  $W_{pl}=6,62\text{cm}^3$

$$M_{c, Rd} = \frac{6620 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ Mpa}}{1,05} = 2238,190 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$2204000 \text{ N}\cdot\text{mm} < 2238190 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

### 3.13.3 Distància mínima entre columnes.

Un cop sabent que aquesta distància ha de ser inferior a 5m i que el valor de flexió màxim admissible és 338,4 MPa es pot realitzar la equació a la inversa per a saber el moment màxim admissible:

$$335 \text{ Mpa} = \frac{M \cdot 15 \text{ mm}}{80600 \text{ mm}^4}; \quad M_{ed \text{ max}} = 2088614,7 \text{ N}\cdot\text{mm} = \mathbf{2088,614 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

$$M_{Ed} < M_{c, Rd}; \quad 2088615 \text{ N}\cdot\text{mm} < 2238190 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Es defineix una distància mínima entre columnes de 4m.

### 3.14 Elements de la via.

La via s'ha dissenyat de la forma més senzilla possible, disposant els elements necessaris per al seu correcte funcionament. Com s'ha comentat en diverses ocasions el la via hi haurà els nuclis de ferro al silici, conformats a partir de làmines de 1mm de gruix col·locades una darrera l'altre dins una estructura, subjectada en la part central per dos cargols.

En las fases de desenvolupament inicial es va plantejar realitzar travessers cada 10 cm i disposar dels nuclis fèrrics a l'interior d'aquests travessers, però aquesta opció va ser desestimada ja que disposar de tants travessers suposava una sobrecàrrega important per el sistema sense aportar un grau de resistència.

Cal destacar que els travessers on s'insereixen les bigues (6) seran metàl·lics, mentre que las petites peces disposades a mode de travessers que aguanten els nuclis (4) seran de plàstic, ja que no estan sotmesos a cap esforç i la seva funció és merament de subjecció dels nuclis. Tant els travesses estructurals com la peça de subjecció dels nuclis estaran acoblades a la via a través d'una peça en forma de T que anirà al seu torn acoblada al lateral de la via a través de cargols. Es faran dimensionats diferents per els cargols de la peça dels nuclis i per la del travesser estructural.

En la figura 3.48 es pot veure una vista d'un mòdul de la via amb els seus elements.

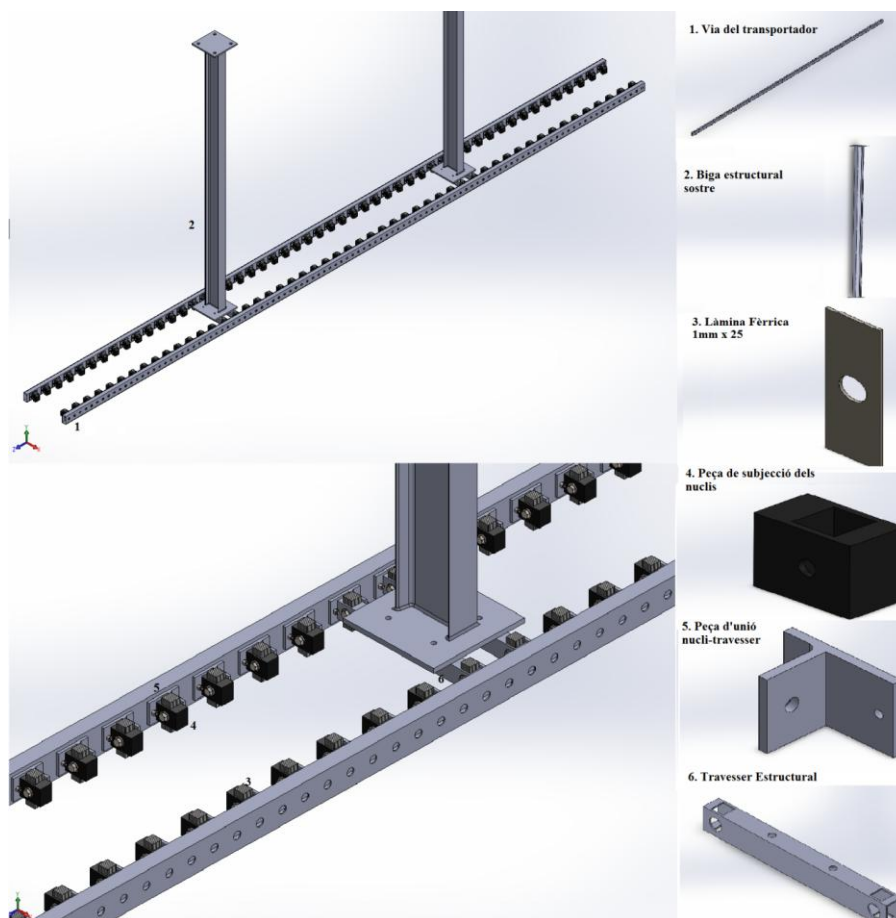


Fig 3.48 Via i el seus components.

### 3.14.1 Columnes i estructura de fixació del transportador aeri.

Un cop presentat el cas de la via sense suports cal donar forma a l'estructura del transportador en unes condicions reals. Com s'ha comentat hi haurà un suport cada 4m com a mínim, si les condicions de l'entorn no permeten disposar una columna es disposaran a una distancia inferior a aquests 4m (recordem que cada 100 mm es pot muntar un travesser estructural i disposar d'una columna). La via esta situada a 4m del terra, ja que s'ha pres com a criteri el pas de camions lleugers per sota la via i aquests tenen una alçada màxima de 3,5m . La caixa efectua el seu pas a una alçada de 2,35m.

El transportador constarà de dos tipus de suport estructurals de fixació:

- **Suport a sostre:** Per un costat hi haurà una biga recte amb platines soldades a ambdós costats per a la fixació de la via al sostre, aquesta estructura s'anomenarà biga de subjecció a sostre, és la que es mostra en la figura 3.48 l'alçada de la biga s'ajustarà en funció de l'espai on es disposi.
- **Estructura a terra:** L'altre estructura constarà de una part vertical amb una platina a un extrem que serà la que anirà fixada a la via, per l'altre extrem esta soldada a una estructura en forma de U invertida, les dues potes estan soldades a una platina per la part inferior per tal de soldar-la a terra. L'alçada de l'estructura en forma de U és de 4,5m i l'amplada de 1,40m.

Es proposa un cas estàndard per al càlcul i dimensionament de les columnes i els cargols que les subjecten. Es tracta d'un tram de 10m amb el carro motor centrat al mig i dues columnes situades a 4 m una respecte l'altre completament centrades. Al llarg de tota la via hi haurà una fora distribuïda corresponent al pes de la via i els seus components, i al centre hi haurà una força distribuïda de 0,850m corresponent al pes del bloc motor+caixa. El pes total dels components de la via pera un tram de 5m es:

Component	Massa	Nº components	Total pes (kg)
Via	4,83 kg/metre	10 metres	48,3
Peça lateral via	250 g/unitat	100 unitats	25
Làmines nucli fèrric	180 g/nucli	100 unitats	18
Peça de subjecció nucli	33g/peça	100 unitats	3,3
Travesser estructural	0,48 kg/ peça	8 unitats	3,84
Cargols M6 L=16	5,11 g/peça	200 unitats	1,022
Cargols M6 L=40	9,23g/peça	100 unitats	0,923
Volanderes	0,85g/peça	300 unitats	0,255
Femella M6	2,5g	300 unitats	0,75
<b>TOTAL</b>			101,39

Taula 3.14 Taula de pes dels components en 5m de via.

Per tant si en 5 metres hi ha un pes total de 101,39 kg degut a tots els component, i aquests estan distribuïts de forma totalment lineal i uniforme es prendrà un esforç distribuït de 20,275 kg/m.

Primerament es considerarà el cas de la columna al sostre:

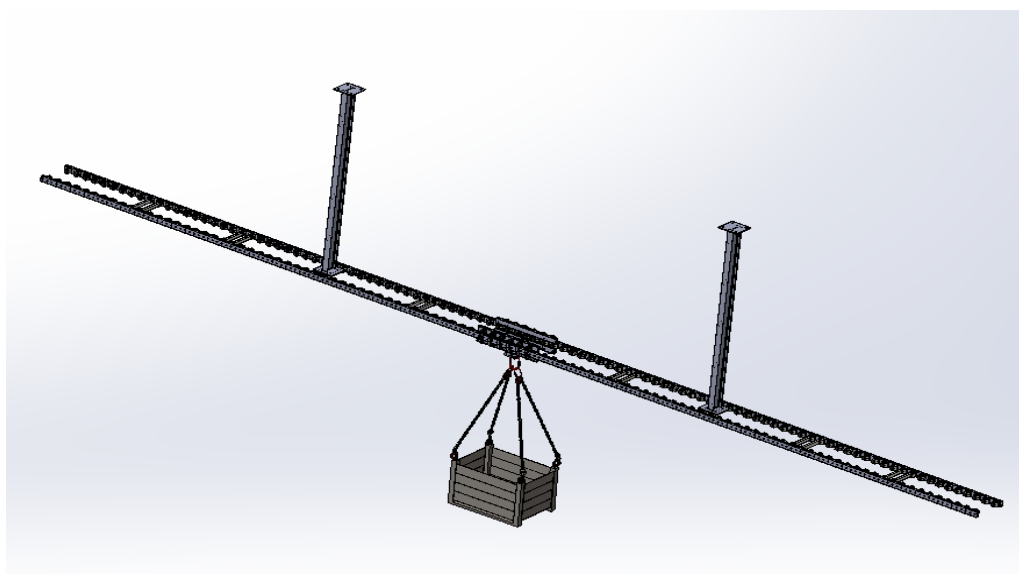


Fig 3.49 Vista del motor i el carro inserits entre dos columnes.

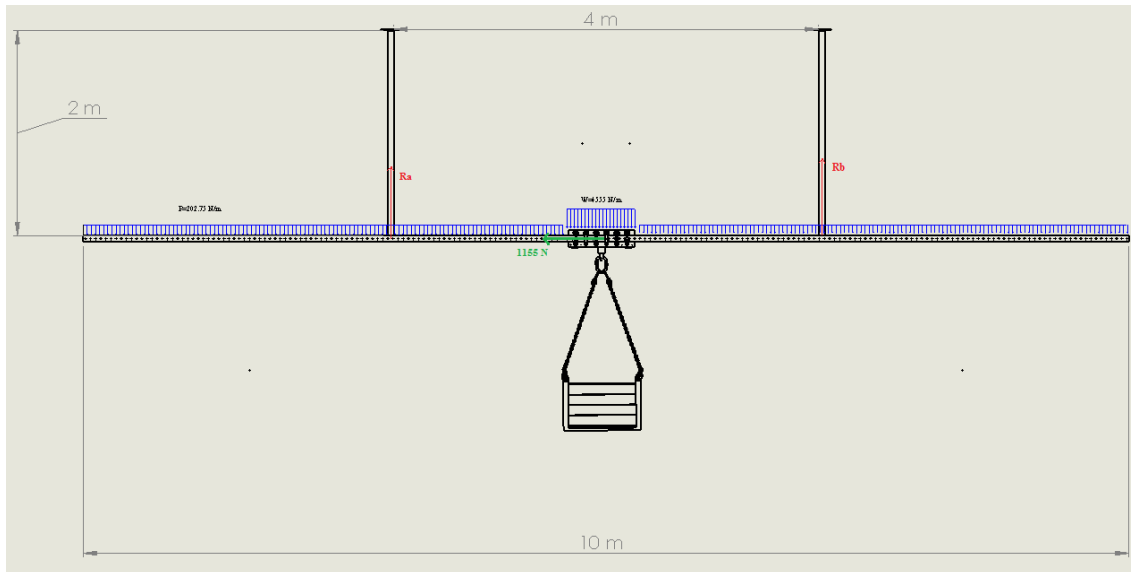


Fig 3.50 Esforços presents en un tram de 5m amb dues columnes al sostre.

$$\Delta F_x=0; \quad R_{ax}+R_{bx}=1155\text{N}; \quad ; \quad R_{ax}=R_{bx}=577,5 \text{ N}$$

$$\Delta F_y=0; \quad R_{ay}+R_{by} = 202,75 \text{ N} \cdot 10\text{m} + 4555 \text{ N} \cdot 0,85 \text{ m}; \quad R_{ay}=R_{by}=2956,25 \text{ N}$$

$$\Delta M=0 \quad M_{\max (x=5 \text{ m})}; \quad M - 202,75 \cdot x \cdot \frac{x}{2}; + 2956,25 \cdot (x-3) - 4555 \cdot (x-4,575) \cdot \frac{(x-4,575)}{2}$$

$$M_{\max (x=5 \text{ m})}=3033,51 \text{ N}\cdot\text{m};$$

Aquest moment es distribueix uniformement en les dues vies, per tant:

$$M_{\max \text{ via}} = \frac{3033,51}{2} = 1516,75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$2088,61 \text{ N}\cdot\text{m} > 1516 \text{ N}\cdot\text{m}$ ; La distància mínima de 4 m entre columnes és correcta. En el cas presentat anteriorment caldrà afegir una columna al final del mòdul o al començament del següent per tal de respectar aquesta distància quan s'acobli a un altre mòdul.

Diagrama d'esforços tallants i moments flectors a les vies, les reaccions corresponen a les columnes disposades:

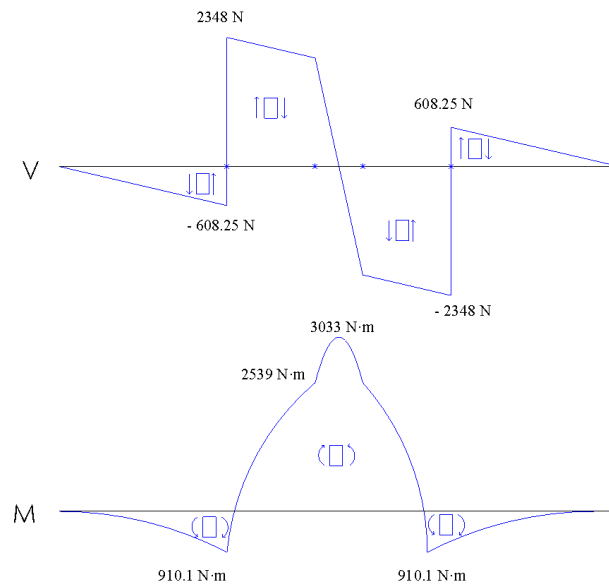


Fig 3.51 Diagrames d'esforços en la via.

Aquests esforços han sigut calculats en funció de les dues vies, per tant aquests esforços que apareixen al diagrama estan repartits al llarg de les dues bigues que fan de via.

La part superior de la columna tindrà un moment flector degut a la força axial del vector acceleració. El valor del moment es:

$$M=2m \cdot 1156N= 2312 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 3.14.2 Dimensionat de la columna de subjecció al sostre.

Un cop definits els esforços es procedirà amb el dimensionat de la biga disposada per a subjecció al sostre. Es tracte d'una biga sotmesa a flexió simple, amb una força de tracció d' aproximadament 3000N i un moment flector màxim de 2312 N·m en cas que la longitud fos de 2m (es definirà una longitud màxima per aquest element). El perfil de biga estriat és el IPN, per les condicions dimensionals del sistema s'ha tirat el perfil 120. Les característiques tècniques d'aquest model es poden trobar al Annex Ios del projecte. El material d'aquesta biga és l'acer S355, amb un resistència major que el S275 utilitzat per a altres components. Per a elements estructurals s'utilitzarà un coeficient de seguretat  $n=2$ , ja que s'entén que un sobre dimensionat en aquests elements pot ocasionar un sobre cost important.

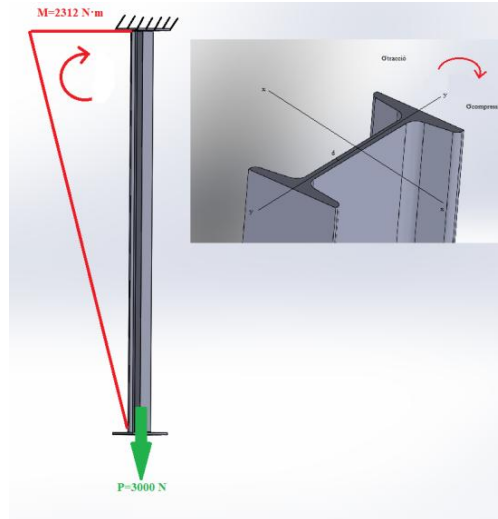


Fig 3.52 Diagrama del sòlid lliure de la biga de suport al sostre.

La condició que s'ha de complir es:

$$\frac{\sigma_{adm}}{n} > \sigma_{max\ biga}$$

$$P=3000\ N; M=2312000\ N\cdot mm; d=2,5\ mm; I_x=4,81\ cm^4\ A=14,2\ cm^2$$

$$\sigma_t = -\frac{P}{A} + \frac{M\cdot d}{I_y}; \sigma_t = -\frac{3000\ N}{1420\ mm^2} + \frac{2312000\ N\cdot mm\cdot 2,5\ mm}{48100\ mm^4} = 118,05\ Mpa$$

$$\sigma_c = +\frac{P}{A} + \frac{M\cdot d}{I_y}; \sigma_c = +\frac{3000\ N}{1420\ mm^2} + \frac{2312000\ N\cdot mm\cdot 2,5\ mm}{48100\ mm^4} = 122,27\ Mpa$$

Taules de material a Annex Ios:  $\sigma_{adm}$  acer S335=470 MPa:

$$\frac{470\ Mpa}{2} > 122,27\ Mpa$$

$$235\ Mpa > 122,27\ Mpa$$

### Comprovació esforç de tracció segons normativa, categoria 1:

$N_{Ed} < N_{t,Rd}$ ; on  $N_{Ed}$  correspon al valor de la força de tracció P.

$$N_{t,Rd} = \frac{A\cdot f_y}{\gamma_{m0}} \text{ (Annex III IV); } N_{t,Rd} = \frac{1420\ mm^2\cdot 355\ Mpa}{1,05} = 480\ kN$$

$3kN \ll 480\ kN$ , compleix la condició a tracció segons CTE.



Al tractar-se d'un element adaptable a espais cal definir uns límits pel que fa les condicions, en aquest la longitud màxima admissible per aquesta biga. Es calcularà en funció de les expressions anteriors:

$$\sigma = +\frac{P}{A} + \frac{M \cdot d}{I_y};$$

En aquest cas  $\sigma$  és coneguda (235 MPa) i les característiques geomètriques son les mateixes ( $I_y$ , A). La incògnita serà el moment màxim M, sabent el valor de la força que crea el moment es pot obtenir la longitud L màxima.

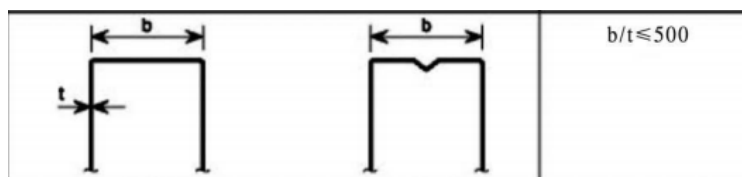
$$230 \text{ N/mm}^2 = \frac{3000 \text{ N}}{1420 \text{ mm}^2} + \frac{(1156 \text{ N} \cdot \text{L}) \cdot 2,5 \text{ mm}}{48100 \text{ mm}^4};$$

$$L=3972,32 \text{ mm.}$$

L'alçada màxima de les bigues que subjecten la via al sostre és de **3,5m**.

### 3.14.3 Dimensionat la estructura de subjecció al terra.

L'estructura de subjecció al terra en forma de U esta sotmesa als mateixos esforços i condicions que el cas anterior pel que fa els esforços en les reaccions. Ara be no serà igual la distribució d'esforços al llarg de l'estructura. Es considera el mateix perfil IPN 120 i el mateix material. Primerament es comprovarà la relació b/t que ha de ser inferior a 500 segons normativa CTE:



Amb la configuració de bigues proposada B=1400mm; t=120mm

$$\frac{1400}{120} = 11,6 < \mathbf{500} \quad \text{Compleix la condició de forma.}$$

Com s'ha vist que en el cas anterior la biga suportava els esforços amb un marge important, i com que en aquest cas el mateix esforç recau sobre dues bigues es considera que aquest pòrtic resisteix els esforços.

### 3.14.4 Acoblament via – columna.

Un dels elements més importants per a realitzar aquest acoblament són els travessers estructurals. Sobre aquest element recauen els esforços de pes generats a les vies. Tant els 4 cargols que asseguren l'assemblatge de la xapa inferior de les columnes al travesser com els cargols laterals de la peça de subjecció són de vital importància. Els dos tipus de columnes contenen una làmina metàl·lica a la part inferior amb 4 forats equidistants, sota la làmina hi ha els dos travessers amb dos forats cada un alineats amb els forats de la làmina, tal i com es mostra a la següent figura. No es contempla una mida per sota de mètric 12 per els acoblaments d'elements estructurals (travesser), en cas que hi hagi columna.

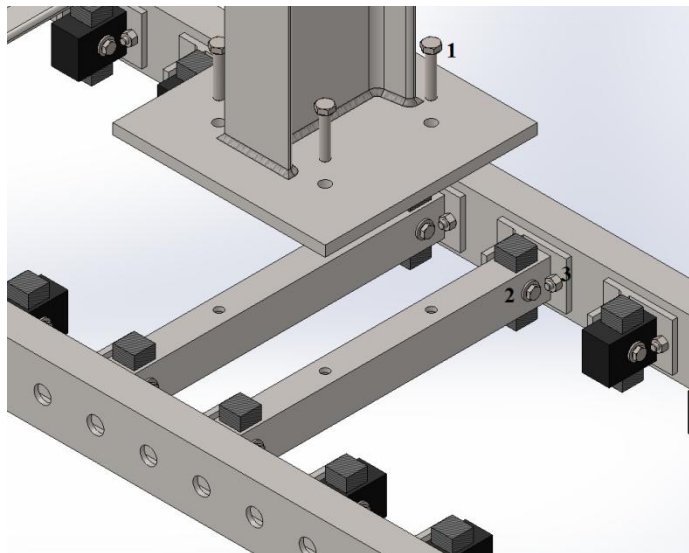


Fig 3.53 Disposició dels cargols del travesser estructural.

#### **Esforç màxim.**

Un cop els mòduls estan acoblats entre ells el pes es reparteix entre les diferents columnes, però per tal de definir els components a les reaccions cal donar un valor màxim de càrrega per columna donat un cas extrem. Es realitza la següent hipòtesi: cada columna aguantarà un esforç màxim igual al pes total de carro amb la càrrega màxima (385 kg el conjunt) més el pes degut a 4m de via, per tant:

$$P=385 \text{ kg} + 4\text{m} \cdot 20,275 \text{ kg/m.} = 468,5 \text{ kg} = 4685 \text{ N}$$

Hi ha 3 disposicions de cargols sobre els quals recau la seguretat de la subjecció del conjunt.

**Cargol 1:** Un total de 4 cargols sotmesos a un esforç de tracció. Qualitat 8.8 amb una resistència a la tracció  $F_{ub}=800$  Mpa Resistència a la fluència  $F_{yb}=640$  Mpa. Coeficient de  $n=4$

Per a calcular la secció mínima dels cargols 1 s'utilitzarà la següent igualtat.:

$$\frac{F_{ub}}{n} = \frac{P}{A_s}$$

$$\frac{800 \text{ N}\cdot\text{mm}^2}{4} = \frac{4685 \text{ N}}{A_s} ; A_s = \frac{4685 \text{ N}}{200 \text{ N}\cdot\text{mm}^2} = 23,425 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{4 \cdot \pi}} = 2,73 \text{ mm}$$

Com que es tracta d'un component molt important no es contempla utilitzar un cargol per sota de la mida Mètric 12 de la qualitat exposada, s'utilitzarà un cargol de seguretat amb coll bisellat (DIN 6921). Aquest cargol estarà assegurat amb femelles especials antilliscants (DIN 985 com les utilitzades per assegurar el pop al motor). Cada cargol estarà assegurat amb dues femelles, una situada a la cara interior del travesser estructural i una segona a la cara exterior, implicant l'afluixament de la unió i donant també la possibilitat de supervisar el seu estat d'ajust visualment:

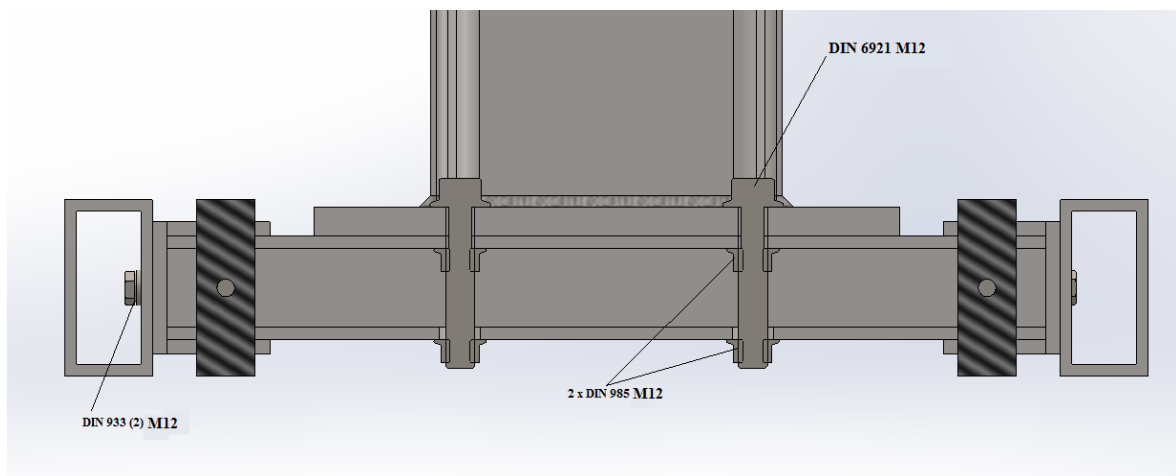


Fig 3.54 Vista de tall de la secció amb els cargols del travesser.

**Cargol 2:** Un total de 4 cargols sotmesos a un esforç tallant. Qualitat 6.8 amb una resistència a la tracció  $F_{ub}=600$  Mpa Resistència a la fluència  $F_{yb}=480$  Mpa. Coeficient de  $n=4$ . Per a cargols sotmesos a esforços tallants  $S_{sy}=0,56 \cdot F_{ub}$ ;  $S_{sy}=268,8$  Mpa

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{P}{4 \cdot A_s}$$

$$\frac{268,8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{4} = \frac{4685 \text{ N}}{A_s} ; A_s = \frac{4685 \text{ N}}{67,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^2} = 69,71 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{4 \cdot \pi}} = 4,71 \text{ mm}$$

S'utilitzarà un cargol Mètric 12 ja que es tracte d'elements estructurals.

**Cargol 3:** Un total de 8 cargols sotmesos a un esforç tallant. Qualitat 6.8 amb una resistència a la tracció  $F_{ub}=600$  Mpa Resistència a la fluència  $F_{yb}=480$  Mpa. Coeficient de  $n=4$ . Per a cargols sotmesos a esforços tallants  $S_{sy}=0,56 \cdot F_{yb}$ ;  $S_{sy}=268,8$  Mpa

$$\frac{268,8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{4} = \frac{4685 \text{ N}}{A_s} ; A_s = \frac{4685 \text{ N}}{67,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^2} = 69,71 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 8 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad D = \sqrt{\frac{A_s \cdot 4}{8 \cdot \pi}} = 3,33 \text{ mm}$$

Tot i que per càlcul es podrien assegurar un mides molt petites per aquests cargols no convé ajustar mides en elements estructurals, per tant finalment les mides i qualitats d'aquests cargols seran les següents:

- Cargol 1: Mètric 12 qualitat 8.8
- Cargol 2: Mètric 12 qualitat 6.8
- Cargol 3: Mètric 5 qualitat 6.8 per als nuclis normals (substituït a Mètric 6 finalment), per als travessers Mètric 10.

Es suposa que el travesser suportarà els esforços ja que té unes dimensions similars a la biga inferior del motor ja calculada, essent aquest d'un acer amb un resistència major, per tant amb un perfil igual que el de la via s'assegura la resistència d'aquest component. Les femelles de la peça lateral de subjecció a la via que suportin el travesser estructural seran del tipus antilliscant (DIN 985).

### 3.14.5 Disposició dels nuclis a la via

#### 3.14.5.1 Nuclis fèrrics.

Els nuclis fèrrics presents a la via es disposaran a partir de petites lamines de ferro al silici, també anomenat acer elèctric o acer per transformadors. Es tracta d'un acer amb determinades propietats magnètiques determinades, tals com una histèresis magnètica petita (poca dispersió d'energia per cicle) que equival a baixes pèrdues al nucli i poca permeabilitat magnètica.

Normalment es fabrica en forma de plaques laminades al fred amb un gruix de 2mm o menor. Aquestes plaques s'amplien una al costat de l'altre pera formar nuclis de transformadors o motors elèctrics (en aquest cas els nuclis estaran al llarg de tota la via.).

Les plaques que s'utilitzaran en el transportador aeri tindran un gruix  $t=1\text{mm}$  i unes dimensions de 60mm d'alçada per 20mm d'amplada. Aquestes làmines contindran un forat al mig per tal de poder-les subjectar amb un cargol. El forat es pot retallar fàcilment sobre les làmines mitjançant una talladora laser o be per electroerosió. Cada nucli contindrà 20 làmines superposades. El cargol que acobla el conjunt de les làmines serà de mida Mètric 6. Per als travessers estructurals no es contempla una mida per sota de Mètric 12 independentment del valor de càlcul.

Les lamines aniran inserides dins una petita estructura de plàstic que al seu torn anirà acoblada a la estructura metàl·lica lateral. A la següent figura es pot veure l'acoblament del nucli amb tots els components.

Un avantatge del disseny que s'ha fet és que cada lamina serveix per interactuar amb el motor tant per la part superior com per la part inferior. En el cas del TELMAG, va ser necessari posar làmines a dalt i a baix de forma independent, tot i que de mida més petita, incrementat així els costos del sistema. En a següent figura es mostra els dos tipus d'acoblament del nuclis fèrrics.

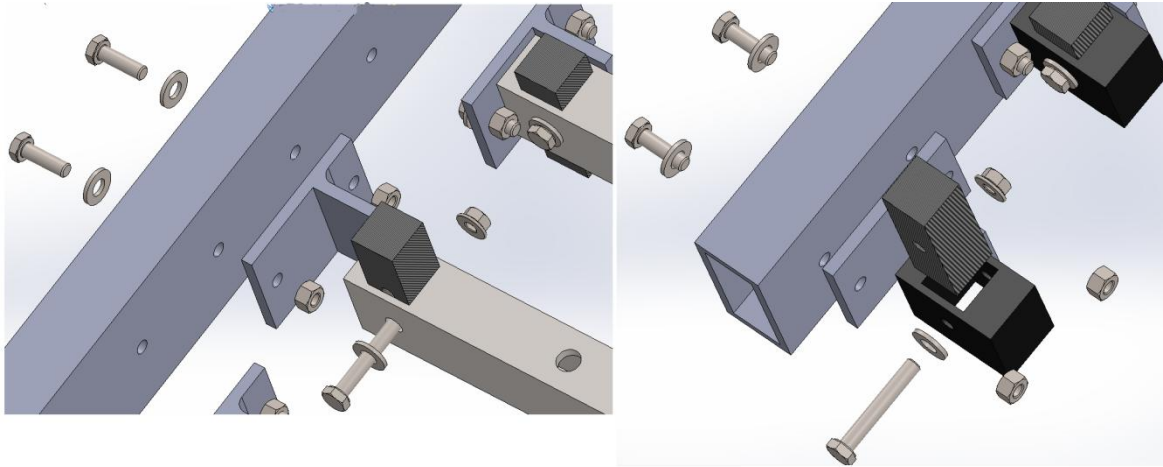


Fig 3.55 Diferents acoblaments dels conjunts de nuclis fèrrics.

### 3.14.5.2 Càlcul dels cargols laterals.

Hi ha una peça que farà de nexa entre la via i la peça que contindrà els mòduls. Aquesta peça serà present al llarg de tota la via cada 50mm. Sobre el nucli fèrric recau durant un instant la força d'impuls del motor, repartida entre 4 nuclis si es compten els dos superiors i els dos inferiors. El pes també recau sobre el nuclis fèrrics, ja que com s'ha comentat aquest motor fa tracció guia i sustentació, per tant s'originarà en la part superior del culi una força normal al pes del motor. Si es recorda la figura 3.25 es pot observar que sempre hi haurà 16 nuclis interactuant sobre el motor, entre els quals es repartirà la massa de 386,5 kg. Tant la peça com els cargols que la subjecten a la via han de ser capaços de suportar aquesta força.

$$\text{Càrrega de pes per nucli } P = \frac{385,5 \text{ kg}}{16 \text{ nuclis}} = 24,09 \text{ kg} \approx 25 \text{ kg} = 250 \text{ N}$$

$$\text{Força impuls} = m \cdot a + F_f$$

$$\text{Força impuls} = 385,5 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s}^2 + 422,29 \text{ N} = 1578,6 \text{ N}$$

$$\text{Força impuls per nucli } F = \frac{1576,6 \text{ N}}{4 \text{ nuclis}} = 394,15 \text{ N}$$

Primer es començarà dimensionant els dos cargols laterals i posteriorment la resta d'elements, es dimensionarà com si tota la càrrega recaigués en un sol cargol:

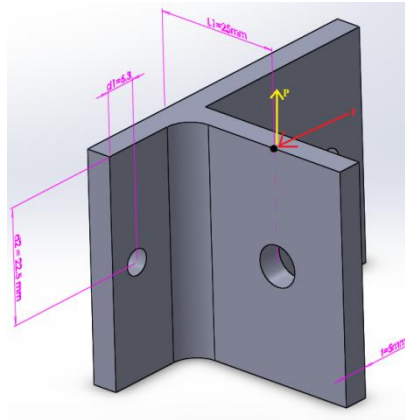


Fig 3.56 posicionament dels esforços en la peça de subjecció.

$$F_{t \text{ cargol}} = \frac{P \cdot L1}{d2} + \frac{F \cdot L2}{d1}; \quad F_{t \text{ cargol}} = \frac{250 \text{ N} \cdot 25 \text{ mm}}{22,5 \text{ mm}} + \frac{394,15 \text{ N} \cdot 25 \text{ mm}}{6,3 \text{ mm}} = 1952,97 \text{ N}$$

La força que recaurà en el primer cargol suposant que tot l'esforç es concentra en aquest sol. Qualitat 6.8 amb  $f_{yb}=480 \text{ Mpa}$  i  $f_{ub}=600 \text{ Mpa}$  (taula 3.4) coeficient de seguretat  $n=4$

$$S_{sy} = \frac{0,56 \cdot 480 \text{ Mpa}}{4} = 67,2 \text{ Mpa}$$

$$S_{sy} = \frac{F}{A_s}; \quad A_s = \frac{1952,91 \text{ N}}{67,28 \text{ N/mm}^2} = 29,06 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}; \quad D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = 5,972 \text{ mm} \text{ Mètric 6}$$

S'aplicarà un mètric 6 per als 3 cargols d'aquesta peça. La mida calculada anteriorment queda invalidada, es donarà una mida de M6 als 3 cargols amb les seves respectives longituds.

La via tindrà forats alineats amb els forats d'aquesta peça, pels dos costats. Per un costat seran de un diàmetre  $d=6 \text{ mm}$  (mètric 6 tal i com s'ha calculat) i per l'altre costat seran amb un  $D=16 \text{ mm}$ . Els forats de 16 mm serveixen per a poder muntar els cargols que van per la cara interior de la via. En la següent figura es poden veure dos vistes de l'assemblatge via-peça lateral.

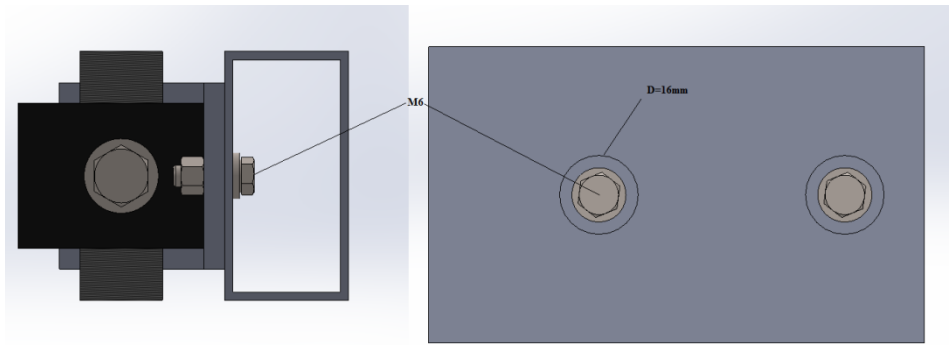


Fig 3.57 Forats disposats al lateral de la via.

Al ser una peça sotmesa a uns esforços molt petits i molt puntuals repartits al llarg de moltes peces no es realitzaran més càlculs sobre els esforços presents en aquesta peça, ja que el punt més crític és l'assemblatge amb els cargols i aquest ja ha estat calculat.

### 3.15 Unió entre mòduls.

#### Estudi de la soldadura.

La unió entre els diferents mòduls es realitzarà a través d'un cordo de soldadura amb elèctrode als laterals i a la part inferior del perfil de les vies. Els esforços màxims que hauran de suportar aquestes soldadures son els calculats anteriorment en el cas de les columnes cada 4m, suposant que la unió entre mòduls estigues junt al mig com en aquest cas. Aquests esforços son per a dues vies, a cada via recaurà la meitat d'aquest esforç.

Força tallant màxima  $V=2956,25 \text{ N}$

Moment flector màxim  $=3033,51 \text{ N}\cdot\text{m}$

Els esforços presents a la soldadura seran la tau primària  $\tau'$  i la tau secundària  $\tau''$ . El gruix dels filets  $h$  en aquest cas sera de  $3/8'$  corresponent a 9,5 mm, i la longitud  $l$  de tota la soldadura sera de 150mm (2 vegades la longitud més l'amplada), s'utilitzarà un electrode E100:  $S_{ut} = 689 \text{ Mpa}$  i  $S_y = 600 \text{ Mpa}$ . Primerament cal comprovar si la resistència del metall és satisfactòria:

Força unitària  $\cdot$  longitud del cordo  $>$  Força màxima



De la taula 3.6, la força permissible per longitud unitària d'un elèctrode de metall E6010 de ½ pulg. és 7,95 kip/pulg. lineal, amb la corresponent conversió:

$$\frac{7,95 \text{ kip}}{1 \text{ pulg.}} = \frac{35362,8 \text{ N}}{25,4 \text{ mm.}} = 1392 \text{ N/mm}$$

$$1392 \text{ N/mm} \cdot 150 \text{ mm} = 208,7 \text{ kN}$$

278,7 kN >> 2,95 kN La resistència del metall és satisfactòria.

Al tractar-se d'una forma de soldadura irregular el punt de gravetat no recau al centre:

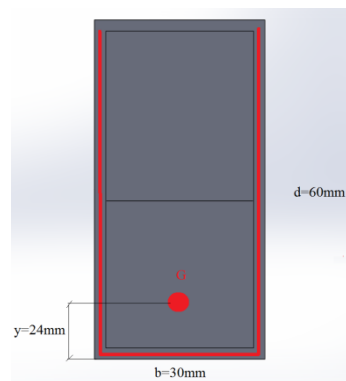


Fig 3.58 Soldadura entre els diferents mòduls del transportador.

Es tracta del cas 3 de la taula 3.10, obtenim l'àrea i el moment d'inèrcia:

$$A=0,707 \cdot h(b+2 \cdot d) = 0,707 \cdot 12,7 \cdot (30+2 \cdot 60) = 1007,47 \text{ mm}^2$$

$$I_u = \frac{2 \cdot d^3}{3} - (2 \cdot d^2 \cdot y) + (b+2d) \cdot y = 57600 \text{ mm}^4$$

La força tallant primària produeix una força en les soldadures de magnitud:

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad \tau' = \frac{F}{A} = \frac{(2956,25/2) \text{ N}}{1007,47 \text{ mm}^2} = 1,46 \text{ Mpa}$$

El moment correspon a la meitat del moment màxim calculat en el punt anterior  $M= 3033 \text{ N} \cdot \text{m}$ , r igual a 15mm.

$$\tau'' = \frac{M r}{I} = \frac{1516500 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 15 \text{ mm}}{57600 \text{ mm}^4} = 394,92 \text{ Mpa}$$

La magnitud total de la tallant  $\tau$  pel teorema de Pitàgoras és:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{1,46^2 + 394,92^2} = 394,93 \text{ Mpa}$$

En la taula 3.5 podem veure que l'eforç permisible per a la soldadura  $\tau_{\text{perm}} = 0,66 \cdot S_y$  per a un esforç de flexió.

$$\tau_{\text{perm}} = 0,66 \cdot 600 = 396 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\text{perm}} > \tau ; 396 \text{ Mpa} > 394,93 \text{ Mpa}$$

La soldadura es satisfactòria amb un marge molt baix, s'ha decidit utilitzar un cordó amb un gruix mes gran (11.5mm) per tal de garantir la seguretat de la unió. [19]

Un cop definit els mòduls i el carro motor es mostra una imatge del conjunt acoblat i en funcionament:

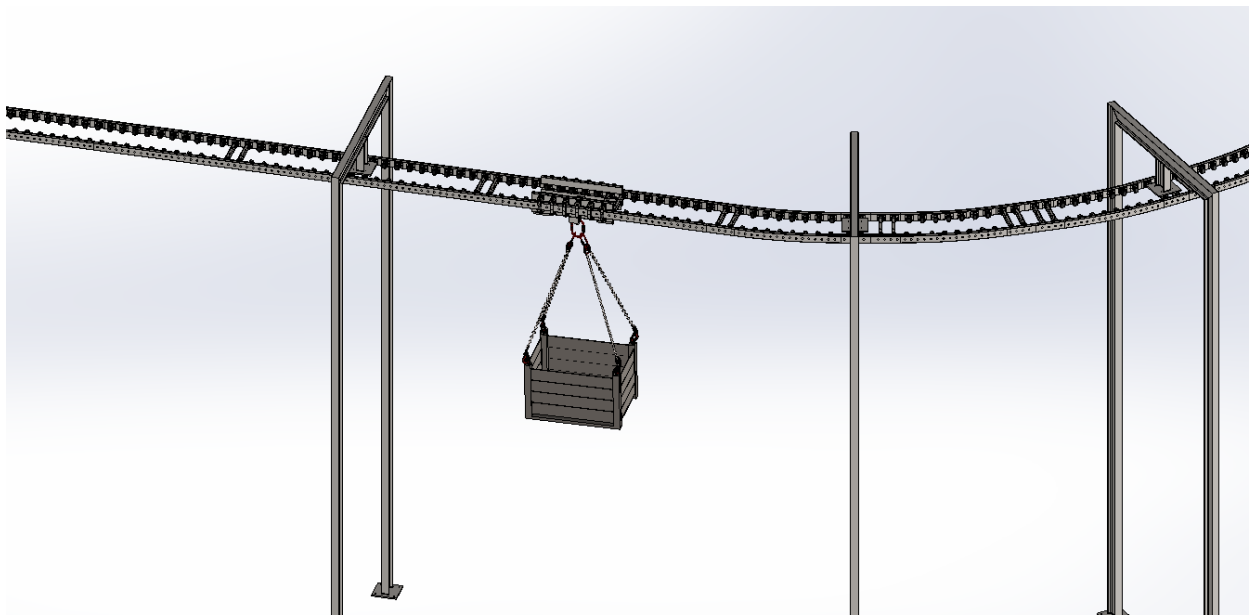


Fig 3.599 Vista del transportador acoblat dins del sistema modular de vies

## **4 4. Exemple d'implantació.**

Tal i com es va exposar en la fase de l'avantprojecte un dels objectius d'aquest és l'adaptació d'aquest transportador aeri a un cas d'una planta real, a efectes de definir un circuit i unes circumstàncies reals que permetin veure les millores que suposa la implantació d'aquest sistema. Aquest exemple també servirà per a realitzar l'estudi econòmic, doncs és necessari definir un circuit concret per tal de que aquest tingui valor. Es prendrà la mesura del circuit com a model genèric a efectes de l'estudi econòmic.

### **4.1 Justificació de l'elecció.**

Els transportadors aeris s'utilitzen tradicionalment per a espais amb necessitats de flux constant de material, com per exemple línies de producció, plantes automatitzades, centres logístics de paqueteria, etc. Per a realitzar aquest exemple d'implantació es proposa el cas d'una planta dessaladora, concretament la dessaladora de Blanes gestionada conjuntament per Acciona Aigua i ITAM. S'ha escollit aquest cas per diverses raons, una d'elles per coneixement personal de l'entorn al portar aproximadament 6 mesos treballant en aquesta planta, podent donar gràcies a aquest coneixement de l'entorn una solució real al problema de transport de materials que ocorren.

Un altre motiu per l'elecció d'aquesta planta és el lliurament de plànols de planta per a la realització d'aquest projecte, gràcies a aquests plànols es podrà definir un circuit concret i dimensionat en funció de les condicions de l'entorn.

### **4.2 Entorn de la planta.**

La planta està situada entre Malgrat de mar i Blanes, prop la desembocadura del riu Tordera. Es tracta d'un espai amb forma rectangular d'aproximadament 26.600 m<sup>2</sup>, consta de tres edificis grans (edifici de bombament, edifici de procés i magatzem/dipòsit de reactius). Pel que fa als edificis de bombament i de procés, aquests tenen una alçada compresa entre els 12 i 15m, ja que hi ha present maquinària molt voluminosa en el seu interior que pot limitar el pas del transportador en alguns punts. Fora dels edificis hi ha dues zones on hi ha filtres de sorra de grans dimensions, per tant s'hauria d'evitar el pas del transportador per aquests punts per tal de no entrar en conflicte amb la maquinària present.

El terreny exterior és en un mateix pla i asfaltat, per tant no hi haurà problemes pel que fa canvis d'alçada del terreny dins d'aquest entorn.



Fig 4.1 Emplaçament geogràfic de la planta.

Hi ha també dos dipòsits de grans dimensions separats del complex de la planta, degut a que aquests dos dipòsits no tenen a priori una necessitat de material no s'efectuarà el pas per aquesta zona. Degut a que l'alçada del sostre del edifici de procés (que és el que té les necessitats de material més grans) és massa gran per a disposar de columnes al sostre (el transportador treballa en un pla) s'ha escollit columnes de fixació a terra per a la totalitat del recorregut.

Una condició molt rellevant a tenir en compte si es volgués instal·lar aquest sistema en aquesta planta és la alta salinitat a l'entorn (classe C4 de nivell d'exposició a la salinitat, veure condicions de classe a Annex III I) deguda a la gran humitat de la zona a proximitat amb el mar i el tipus de processat que es realitza. Seria necessari aplicar un tractament antioxidant a tots els components que estiguessin situats al exterior (tot i que ja vinguin galvanitzats de fàbrica). A efectes de l'estudi econòmic, es tindrà en compte el cost d'aplicació d'una imprimació antioxidant a tots els components situats a l'exterior i al edifici de procés.

A continuació es mostra un plànol de la planta a escala indicant les punts importants de la planta. Apareixeran una sèrie d'espais marcats en vermell, en aquests espais no es considera factible el pas del transportador degut a la presència de maquinària fixa de grans dimensions. Apareixerà senyalat en color verd les portes o punts d'obertura dels diferents edificis que podrien ser aprofitats per al pas del transportador per tal d'adaptar-lo el millor possible a les condicions del edifici sense haver de realitzar modificacions que poden

originar importants sobre costos. En groc apareix marcat els punts emmagatzematge tant de reactius com de maquinaria. En blau apareix el punt de CiD de camions.

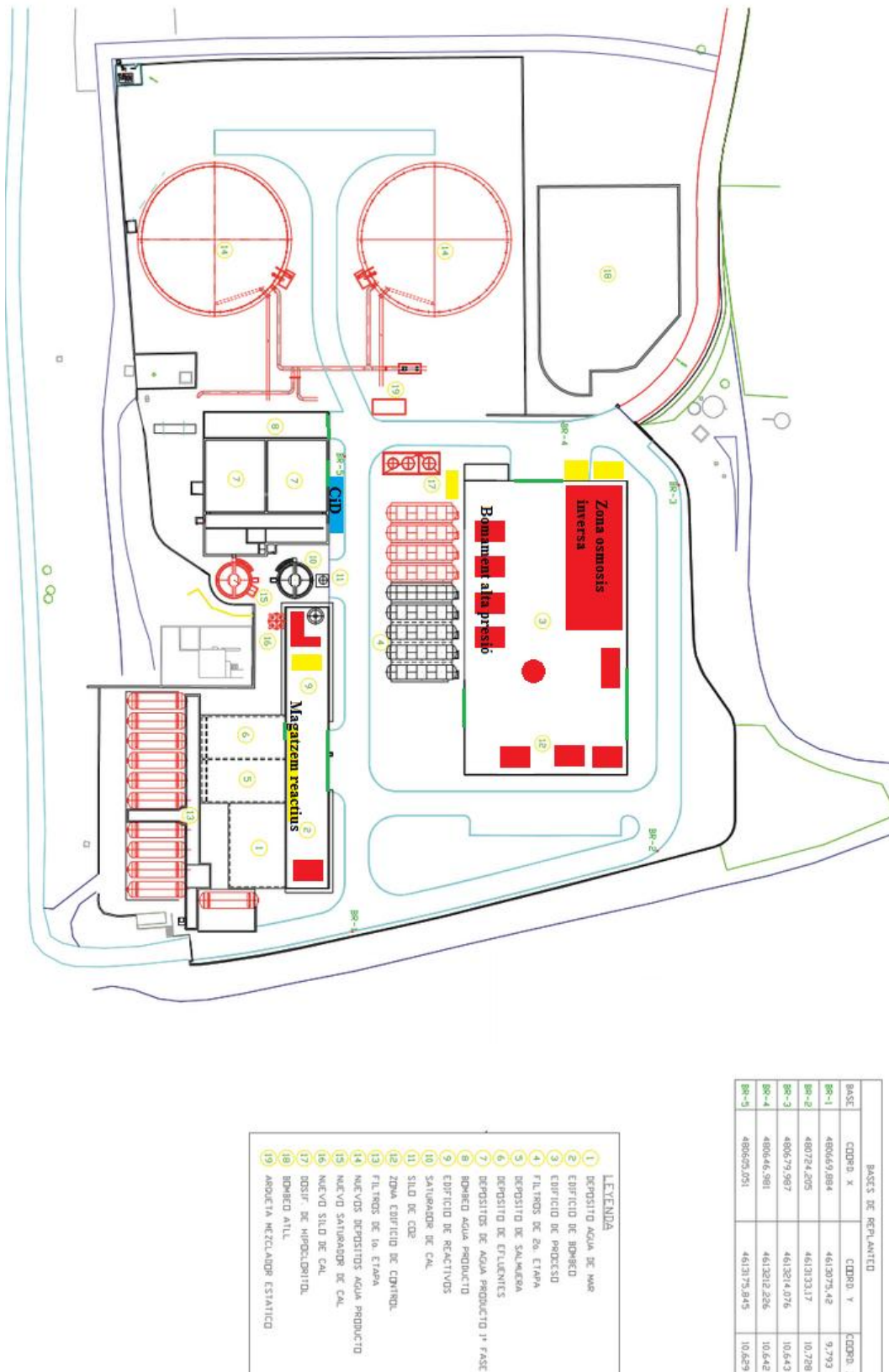


Fig 4.2 Layout a escala del interior de la planta amb les zones més importants.

### **4.3 Necessitats de material de la planta.**

Actualment la planta consta d'un pont grua limitat al interior del edifici de procés. L'objectiu d'aquest pont grua no és el transport de petites matèries entre els diferents punts del edifici, sinó que va ser instal·lat per a desmuntar components avariats de gran pes i de molt difícil accés, per tant no es contempla la substitució ja que el transportador aeri no ha sigut pensat per al transport de gran tonatge.

#### **4.3.1 Descarrega i emmagatzematge de reactius.**

La planta consta d'un punt de càrrega i descarrega de camions al costat del edifici de magatzem i dipòsit de reactius. Actualment la descàrrega de camions es realitza a mà i el transport de reactius des del punt de descàrrega al magatzem o al dipòsit es realitza a mà o amb ajuda d'un petit toro hidràulic, havent d'invertir en molts casos temps dels operaris per a realitzar aquests transports quan es podrien realitzar amb el transportador. Un dels principals problemes que hi ha pel que fa el transport de reactius és que en molts casos és obligat per normativa transportar-los en garrafes no superiors a un volum de 25l, degut a la perillositat dels líquids del seu interior, ocasionant en molts casos pèrdues considerables de temps dels operaris transportant aquestes garrafes cap al magatzem de reactius. Amb la implantació d'un transportador aeri es podrien transportar aquestes garrafes directament des dels camions al magatzem en lots de fins a 12 garrafes col·locades dins la caixa amb un temps molt petit. Cal tenir en compte que per a realitzar aquesta tasca el transportador hauria de passar la homologació corresponent per al transport de substàncies perilloses (classe 4.2, 8 i 9) regulada per la normativa **UNE-EN/IEC17.020**. El transportador ha sigut dissenyat per a respectar el pas de camions sota les seves vies, per tant no hi ha inconvenient en que aquest creui per sobre la calçada en la qual es desplacen els camions.

#### **4.3.2 Transport de reactius.**

Posteriorment a l'emmagatzematge del reactiu, cal transportar les garrafes des del magatzem fins la planta de processament o el dipòsit corresponent quan escaigui. Actualment aquest transport es realitza amb toro diàriament, ocasionant també temps improductiu per als operaris. Aquest transport es realitza normalment des del edifici

d'emmagatzematge de reactius fins al edifici de procés, per tant la via hauria d'efectuar el seu pas per aquests dos punts.

### **4.3.3 Canvi de components.**

Una de les operacions que es realitza setmanalment a la planta i que ocasiona grans pèrdues de temps i energia als operaris és el canvi o desplaçament de components de la instal·lació extraviats, des de allà on estan situats (el 90% de les vegades es tracte de components dins l'edifici de procés) fins al taller i des de el magatzem de recanvis fins al punt corresponent en cas de que s'hagi de fer una substitució ràpida. Actualment aquest transport es realitza a ma (ja que dins de la planta hi ha mols tubs a terra que impedeixen el pas de toros). Alguns components tenen un pes molt elevat que necessita de diversos operaris per al seu transport fins al taller, amb la implementació del transportador aeri es podria realitzar el transport de maquinària amb una massa menor de 300kg. La majoria de components es troben dins d'aquest rang (valvuleria, brides, caudalímetres, etc ) excepte la maquinària de gran volum, com les bombes d'alta pressió o els tubs d'osmosis, que serien moguts gracies al pont grua.

Per a realitzar el desplaçament de components amb geometria variables es podria eliminar la caixa i en el seu lloc disposar de corretges de subjecció industrials (ja presents a la planta) unides des de el component en qüestió fins a les anelles mestres del pop. Altrament els operaris tenen gran coneixement de com s'han de disposar les corretges ja que el transport de components amb el pont grua es realitza actualment amb aquestes corretges.

### **4.3.4 Presa de mostres.**

Tot i ser una tasca poc adient per a emprar un transportador degut al poc pes i volum que suposa, aquest podria servir també per a transportar les mostres des dels punts corresponents fins al laboratori. Es tracta d'una tasca que s'ha de realitzar contínuament cada dues hores durant les 24 hores del dia. L'automatització d'aquest procés podria suposar un estalvi de temps rellevant per a l'operari, tot i que al estar els punts de mostra molt distants i dispersos podria no suposar un avantatge degut a la complicació del circuit.

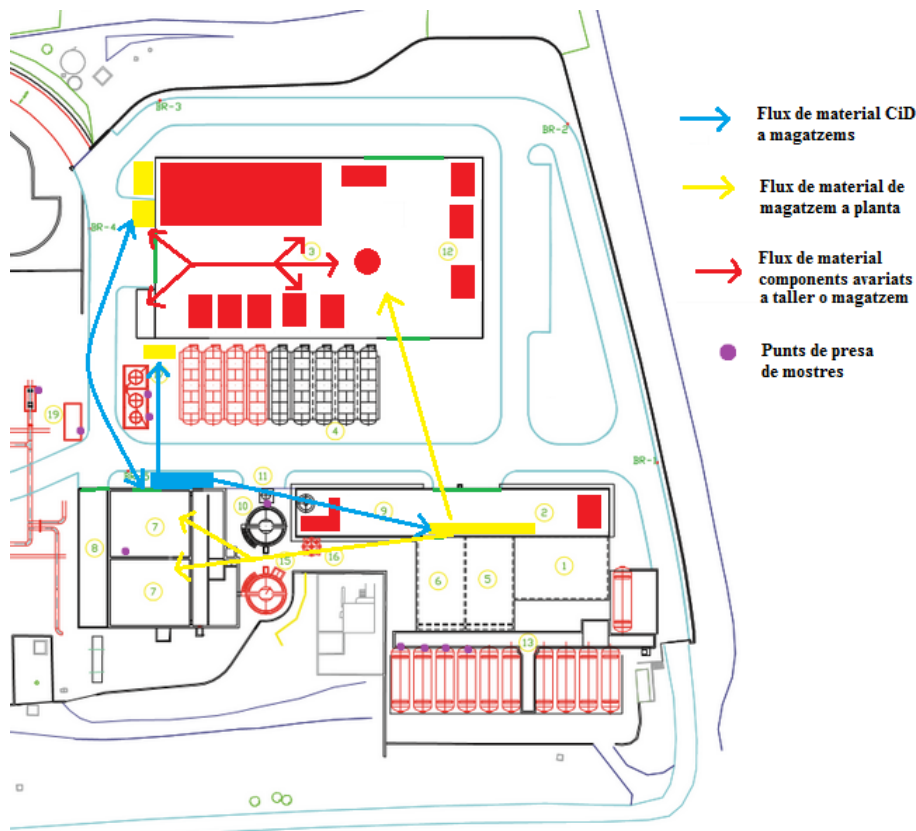


Fig 4.3 Fluxos de materials de la planta.

En el següent diagrama es mostren els fluxos de material desglossats per les classes comentades anteriorment. Cal buscar un circuit que doni solució a aquest flux de material respectant les limitacions de la planta.

## 4.4 Circuit solució.

### 4.4.1 Consideracions.

Cal tenir en compte una sèrie de consideracions a l'hora de dissenyar el circuit:

- Distància màxima entre columnes no superior a 4m.
- Totes les columnes seran suports a terra.
- Cal optimitzar l'espai i no donar voltes o fer recorreguts innecessaris.
- Intentar en la mesura del possible que totes les entrades i sortides d'edificis es realitzin per portes o zones ja existents.
- Utilitzar sempre que sigui possible trams de 5m i girs de 90°.



- No emplaçar concentracions de columnes en les calçades de pas de vehicles .

#### 4.4.2 Circuit seleccionat.

A continuació es mostra la distribució en planta amb el circuit del transportador aeri a escala 1:1000. S'han definit 4 estacions de treball més el punt de CiD de camions, que s'utilitzarà com una estació addicional de treball. Cada estació de treball tindrà assignada una funcionalitat concreta i es troba situada prop dels diferents punts que sol·liciten fluxos de matèria, exceptuant la estació 2 i 3 que tenen la mateixa funcionalitat, degut a que es preveu el flux més alt a l'interior de la planta i s'introdueix una estació auxiliar. La funció de la estació 1 és donar solució al flux de material provinent dels aparells avariats de la planta direcció a taller, i de la descarrega de material del camió al magatzem situat al costat de la planta. Les estacions 2 i 3 s'utilitzaran per a realitzar la descàrrega de reactius provinents del magatzem (tasca que es realitza amb molta freqüència) i la carrega de components avariats o amb necessitat de manteniment direcció al taller (mes inusual).

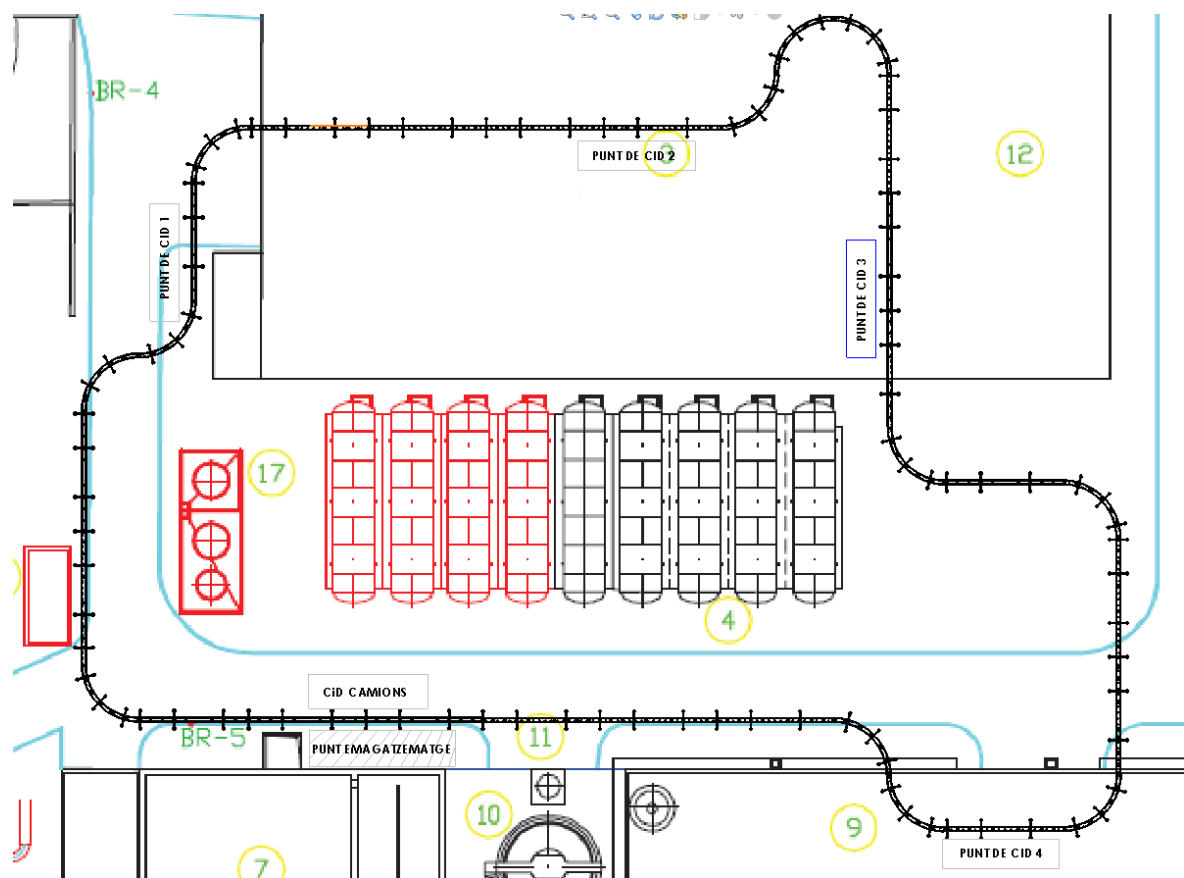


Fig 4.4 Circuit del transportador aeri proposat a escala amb el layout de la planta.

La estació 4 esta situada just al costat del magatzem de reactius, la seva funció és carregar cars per enviar les garrafes cap a la planta i la descarrega de cars plens de producte per al seu emmagatzematge. La estació CiD camions és el punt on es realitza la descàrrega del camió i s'envien els diferents fluxos de material cap a les zones pertinents.

Degut a que es treballa en un pla cada estació constarà d'un elevador hidràulic per a la carrega i descarrega de les caixes i components. Aquests elevadors ja son presents a la planta i no seria necessari adquirir-ne d'addicionals.

Apareixeran totes les columnes i components de les vies. En els trams rectilinis s'han utilitzat successions de trams de 10 metres igual entre si, formats per dos trams de 5 metres amb disposicions de columnes desiguals, tal i com es veu a la figura. D'aquesta forma la distancia entre columnes mai esta per sobre de 4m ni per sota de 3m.

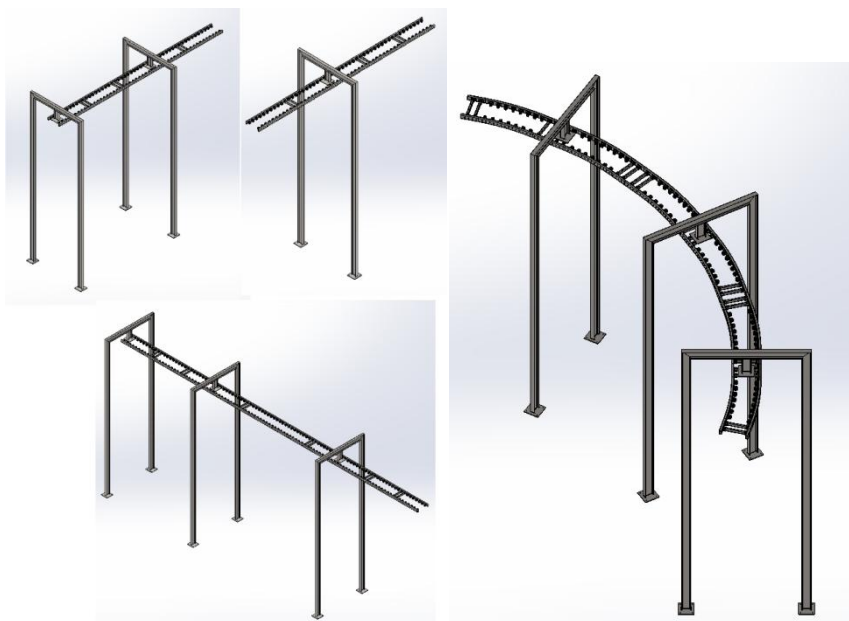


Fig 4.5 Mòduls utilitzats per al circuit proposat.

Pel que fa les corbes s'han realitzar el recorregut amb corbes de  $90^\circ$  per tal de no complicar-lo amb excés. Per a realitzar les corbes s'utilitzen sèries de 6 mòduls de corba de  $15^\circ$  amb una columna situada cada dos mòduls. S'ha comprovat que la distancia entre columnes a la part que creua la calçada de pas de camions fos superior a 3m, tal i com es mostra en la figura 4.5.

Tipus de mòdul	Nº de mòduls	Longitud unitària del mòdul.	Longitud total (m)	Bigues per trams	Total bigues
Mòdul recte 5m	40	5	200	3 bigues cada 10m lineals.	60
Mòdul 15 °	72	1,235	88,92	Cada dos mòduls una biga.	36
<b>Total</b>			288,92 metres		96 bigues

Taula 4.1 Quantitat de mòduls i de columnes en el circuit proposat.

En total s'han utilitzat 112 mòduls per a confeccionar el circuit d'uns 290m en total. Ja que es tracte d'una planta que no sol·licita fluxos constants de material amb dos carros ja n'hi hauria prou per cobrir la demanda de matèria. D'aquesta forma amb dos carros sempre hi hauria possibilitat d'arribar als diferents punts de la planta sense que els carros s'obstaculitzin.

Com a conclusió de la implantació, es tracta d'un sistema molt versàtil i que podria ajudar als operaris a estalviar temps i esforços físics importants augmentant la productivitat de la planta. Un altre avantatge és que el circuit podria canviar de forma amb relativa facilitat, tallant les unions entre mòduls i soldant-les de nou amb una nova configuració. El sistema de subjecció de càrrega es altament adaptable, per tant el transport no queda limitat tan sols a la coveta, sinó que seria possible acoblar directament màquines senceres o qualsevol tipus de càrrega a traves de corretges industrials entre les orelles amb cargol del transportador i la càrrega en qüestió.

Cal tenir en compte que es tracte d'un sistema mes car que els convencionals, tot i que suposa un cost de manteniment molt mes petit al suprimir la majoria de components d'un transportador convencional.



## 5 Estudi mediambiental.

La majoria dels components utilitzats per al motor i per a les vies son aliatges d'acer, que tant la seva conformació com el seu reciclatge no genera residus de consideració. Hi ha moltes empreses de la zona (12 en total) dedicades al reciclatge d'acer i altres metalls. Seria necessari reciclar totes les parts que no estiguessin en ús i la ferritja sobrat dels processos de conformació dels components. L'acer elèctric dels nuclis es recicla de la mateixa forma que l'acer convencional. [21]

### 5.1 Fase de construcció:

Durant la instal·lació s'ha de tenir en compte les deixalles provinents de las parts sobrants de l'estructura , que es portaran a la deixalleria més propera. Els residus de mecanitzat es poden reciclar en forma de deixalles (no es tirarà mai la pols metàl·lica). Pel que fa al tractament del acer elèctric, aquest no produeix cap tipus de residu contaminant i el seu tractament es igual que el del acer convencional.

### 5.2 Fase de utilització:

Pel que fa l'energia que consumeix el sistema, s'intentarà ajustar al màxim el consum per tal de no consumir més corrent del estrictament necessari per al correcte funcionament. L'impacta del consum elèctric del sistema estarà estretament lligat a la procedència de l'energia que consumeix: Si està alimentat amb energia provinent d'una central tèrmica tindrà un impacte negatiu, però per altra banda si la planta on s'instal·la consta de panells solars fotovoltaics, l'impacta del consum del transportador serà gairebé nul.

Cal saber que les instal·lacions de motors lineals tenen les següents característiques: Són netes, silencioses i tenen una llarga vida útil degut al poc desgast mecànic dels elements. El software de control ens donarà dades de consum de cada carro en tot moment, per tant serà possible controlar el consum de cada carro aturant els que presentin anomalies.

Aquest sistema no genera gasos nocius.

### 5.3 Fase de desballestament:

Al final de la vida útil de la instal·lació, s'hauran de reciclar tots els elements que el conformen. Els elements metàl·lics es transformaran en deixalla, els compostos i sintètics es transformaran en massa d'emmotllament per reciclat químic. El motor, el bobinats, el imants i les peces elèctriques es reciclaran com a peces especials.

#### Accions impactants.

Fase del projecte	Acciones Impactants	Observacions
Fase de Construcció o Execució.	Petita cimentació per al suport de l'estructura.	Totes les deixalles que es generin durant la instal·lació, es portaran a la deixalleria més propera.
	Transport de materials de construcció amb camions.	
	Adequació de l'espai.	
	Compra de matèria primera.	
Fase de Funcionament o Explotació.	Ús del sòl.	Tot i no ocupar molt d'espai dins de les zones on s'instal·li, s'haurà de tenir en compte l'impacte que suposarà per l'espai de treball.
	Impacte visual i d'espai.	
	Consum elèctric	
Fase de desballestament.	Reciclatge de materials.	Tots els materials podran ser reciclats, tant en deixalleries o reciclatge especial per components electrònics.
	Reciclatge del motor.	

Taula 5.1 Taula resum accions impactants. Annex II

**Factors ambientals impactants.**

	<b>Factor Ambiental</b>	<b>Impacte sobre ...</b>
<b>Medi Natural</b>	Atmosfera.	No genera gasos nocius.
	Sòl.	No genera canvis en la geomorfologia, ni erosió ja que s'instal·la en zones ja construïdes.
	Aigua.	Clavegueram o petits canals.
	Flora.	No hi ha presència de flora en els espais on s'instal·larà.
	Fauna.	No hi ha presència de fauna en els espais on s'instal·larà.
	Medi percentual.	Segons la mida i la forma de la instal·lació generarà un impacte visual en la planta que s'instal·li.
<b>Medi Socioeconòmic</b>	Usos del territori.	Només s'utilitzarà l'interior de zones ja construïdes.
	Culturals.	No s'eliminen elements històrics o culturals.
	Infraestructura.	No tindrà impacte en infraestructures ja existents.

	Humans.	Genera de forma directe la disminució de llocs de feina en la planta on s'instal·li.
	Economia i població.	Pot suposar una reducció de personal de la planta on s'instal·la fet que pot generar conflictes entre las parts afectades.

Taula 5.2 Factors ambientals impactants. Annex II



## **6 Execució de la planificació.**

En aquest punt es donaran a conèixer les desviacions del projecte de detall respecte la planificació realitzada en la fase d'avantprojecte. Hi ha tasques que s'han suprimit, així com algunes que s'han afegit que no es contemplaven en la fase inicial. La duració de les tasques també ha tingut variacions en alguns punts. La planificació inicial es va veure afectada degut al inici d'un contracte laboral de 9 hores diàries no existent en el moment de la realització del avantprojecte. Òbviament no es van poder dedicar les hores diàries planificades fet que va originar que aquest projecte hagués de posposar la seva entrega del juny al setembre. Immediatament després del avantprojecte es van realitzar una sèrie de tasques per a definir les línies generals del disseny de la màquina, després d'aquestes tasques la resta es va desenvolupar de forma seqüencial.

S'ha treballat una mitjana de 4 hores diàries compreses entre les 17:00 i les 21:00, amb dues setmanes de descans al Agost. La tasca dos es va realitzar immediatament després de la resolució de l'avantprojecte, i es va començar a treballar diàriament amb el projecte de detall a partir de mitjans de Març.

A continuació es mostra una enumeració de les tasques realitzades seguit una taula resum amb una descripció de les mateixes i la seva durada corresponent, amb el mateix format de taula que en l'avantprojecte. No s'inclourà la taula amb les tasques plantejades inicialment, ja que aquesta es pot trobar l'avantprojecte lliurat conjuntament amb aquest document. Al final de la taula s'inclourà l'execució de la planificació amb el software MS-Project. Les tasques realitzades son les següents.



Referència	Tasca	Duració	Descripció		
1	Realització avantprojecte	60 Hores	Nom del Subprocés	Duració	Descripció
			Objecte del projecte	3 hores	Definició de l'objecte del projecte.
			Necessitats d'informació	15 hores	Revisió dels antecedents i necessitats d'informació per a dur a terme les diferents tasques del projecte.
			Abast del projecte	3 hores	Definició de l'abast del projecte, s'especifiquen les tasques que es realitzaran i les que no es realitzaran en el projecte de detall.
			Objectius i esp. tècniques	6 hores	Definició dels requeriments i especificacions tècniques que tindrà el transportador.
			Generació de possible solucions <sup>30</sup>	6 hores	Transformació de la idea continguda en el objecte del projecte en un projecte definit.

			Anàlisi de viabilitat	15 hores	Inclou viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental.
			Selecció de l'alternativa més adequada	5 hores	Valoració de les diferents alternatives segons directrius i criteris de viabilitat.
			Planificació	4 hores	Planificació de les diferents tasques a dur a terme en el projecte de detall.
			Pressupost	3 hores	Pressupost total del projecte de detall.
2	Correcció i millora de l'avantprojecte	30 Hores	Aquesta tasca fa referència a la correcció que es va realitzar del avantprojecte. La correcció es va focalitzar en els antecedents i necessitats d'informació, la generació de possibles solucions i la viabilitat Tècnica, econòmica i mediambiental.		
3	Reunions i presa de decisions	20 Hores	En els dies posteriors a l'acceptació de l'avantprojecte es van haver-hi una sèrie de reunions paral·lelament amb el tutor del projecte Pablo Genovese i Ramon Serra (director executiu de INNOVEM) que van servir per definir la solució tècnica del transportador aeri. Aquesta tasca s'ha realitzat en diferents fases del projecte tot i que al principi de la realització del P.D és on es concentra el major nombre de reunions.		

4	Disseny preliminar	40 Hores	Prèviament a la realització de càlculs i dimensionat de peces concretes es va realitzar un disseny preliminar de la màquina amb software <i>Solid Works</i> . Aquesta tasca va ser de gran ajuda per a visualitzar els punts forts i febles de la solució tècnica i va servir per anar perfilant el conjunt de components cap a la solució tècnica definitiva. En el document annexos s'inclou algunes vistes del disseny preliminar, que ha diferit considerablement de la solució final.
5	Disseny del sistema de transport de càrrega	30 Hores	Cerca d'antecedents i normativa sobre solucions en el transport de matèria referent a diversos mètodes de subjecció de càrrega (ganxos, pinces balancins, caixes...). Realització de càlculs i simulacions de diferents formés d'estructura i mètodes de subjecció per tal de donar la millor solució seguint criteris de fiabilitat tècnica i resistència. També es resoldrà .
6	Disseny de l'estructura de subjecció de la càrrega	35 Hores	Disseny de l'estructura del transportador que subjecta els elements que contenen la càrrega, la selecció d'elements i solucions corresponents, definició dels límits de càrrega màxima admissible, càlcul dels punts crítics i sistema d'acoblament amb la resta de components. Finalment redactar l'informe detallat corresponent i el disseny software dels components i el conjunt.
7	Acoblament motor via	30 Hores	Prèviament a definir una estructura definitiva del motor es va realitzar un estudi de les diferents opcions d'acoblament motor – via i com s'havien de disposar els elements per al correcte funcionament del conjunt. Tasca realitzada paral·lelament amb el disseny preliminar.

8	Disseny de l'estructura i estudi del motor	60 Hores	Definició de l'estructura del motor al complet amb els elements corresponents, estudi i càlcul de les peces crítiques i acoblament dels diferents elements. Dimensionat de gruixos i cargols. Redacció del document i disseny de les peces i el conjunt amb software 3D.
9	Disseny de la via	60 Hores	Definició de l'estructura i concepte de via, estudi i càlcul dels esforços peces crítiques i components i acoblaments entre elements. Inclou també el dimensionat de columnes i elements estructurals. Realitzat paral·lelament amb el disseny de l'estructura del motor. Redacció del document i disseny de les peces i el conjunt amb software 3D.
10	Exemple d'implantació	30 Hores	Aplicació del sistema a la planta dessaladora de Tordera. Estudi dels fluxos de materials, fluxos de persones, identificació de necessitats, possibles opcions d'optimització de processos de transport, etc. Vista de planta amb un circuit concret de transportador aeri. Definició del cost d'implantació i avantatges econòmics i operatius. Redacció de la documentació pertinent.
11	Disseny virtual del sistema al complet	50 Hores	Tot i que aquesta tasca es va realitzant al llarg de tot el procés del P.D, un cop dimensionats i definits tots els components definitius del transportador per separat es farà un disseny virtual dels conjunts i subconjunts de totes les parts i el seu acoblament amb els components estandarditzats (cargols, femelles, xavetes).
12	Elaboració i edició del document Memòria	100 Hores	Elaboració del document memòria que inclourà totes les tasques anteriorment esmentades. Aquesta tasca consisteix en l'agrupació de tota la informació que ha de contenir la memòria (i realitzar la que no apareix definida en las tasques anteriors) i la

			edició de tot el document per al seu lliurament.
13	Elaboració del document de plànols	40 Hores	Elaboració dels plànols de totes les peces per separat, de conjunts i subconjunts, i del sistema al complet amb el seu dimensionament corresponent. Es tracta d'un document independent que anirà indexat amb l'arbre de producte que es correspondrà amb l'arbre de plànols. Cada subconjunt del arbre de producte tindrà el seu plano associat. Elaboració dels plànols no realitzats aleshores i del document.
14	Elaboració del document Estudi Econòmic	15 Hores	Aquest punt representa un document independent en el total del treball. S'agruparà en un document tota la informació extreta en la tasca J (Estudi de costos) incloent també la viabilitat econòmica d'aquest avantprojecte, el pressupost d'aquest i tota la informació associada amb costos i balanços econòmics.
15	Elaboració del document Annexos	25 Hores	Elaboració i edició de tota la informació amb la qual es sostenen les dades del projecte. La tasca contempla la classificació i edició de tota la informació d'interès que no apareix en altres documents.
16	Elaboració del tancament del projecte	15 Hores	Elaboració del document del tancament del projecte. Aquest document inclourà les desviacions en la planificació, desviacions en el pressupost, fortaleces debilitats i propostes de millora, coneixement no previst, objectius assolits, resultats de la gestió del risc, i conclusions finals del projecte.

Taula 6.1 Tasques realitzades en el P.D.

Nom de la tasca	Duració	Començament	Final	Tasques predecessores
Avantprojecte	60 hrs	Dijous. 29/12/15	Dimarts 14/01/16	
Correcció i millora de l'avantprojecte	30 hrs	Dimarts 21/01/16	Divendres 29/01/16	1
Reunions i presa de decisions	20 hrs	Dimecres 30/03/16	Dilluns 04/04/16	
Disseny preliminar	40 hrs	Dimecres 30/03/16	Dissabte 09/04/16	
Disseny del sistema de transport de càrrega	30 hrs	Dilluns 11/04/16	Dimarts 19/04/16	4;3
Disseny de l'estructura de subjecció de la càrrega	35 hrs	Dimarts 19/04/16	Divendres 29/04/16	5
Acoblament motor via	30 hrs	Divendres 29/04/16	Dissabte 07/05/16	6;4
Disseny de l'estructura i estudi del motor	60 hrs	Dimecres 25/05/16	Dissabte 11/06/16	7
Disseny de la via	60 hrs	Dissabte 07/05/16	Dimecres 25/05/16	7
Exemple d'implantació	30 hrs	Divendres 08/07/16	Dissabte 16/07/16	8;9
Disseny virtual del sistema al complert	50 hrs	Dissabte 11/06/16	Mon 27/06/16	7;8;9
Elaboració i edició del document Memòria	100 hrs	Dissabte 16/07/16	Mon 29/08/16	10



Elaboració del document de plànols	40 hrs	Dilluns 27/06/16	Divendres 08/07/16	11
Elaboració del document Estudi Econòmic	15 hrs	Dilluns 29/08/16	Divendres 02/09/16	12
Elaboració del document Annexos	25 hrs	Divendres 02/09/16	Divendres 09/09/16	14
Elaboració del tancament del projecte	15 hrs	Divendres 09/09/16	Dimecres 14/09/16	15
Preparació de la defensa	20 hrs	Dimecres 14/09/16	Dimarts 20/09/16	16

Taula 6.2 Taula execució de la planificació.

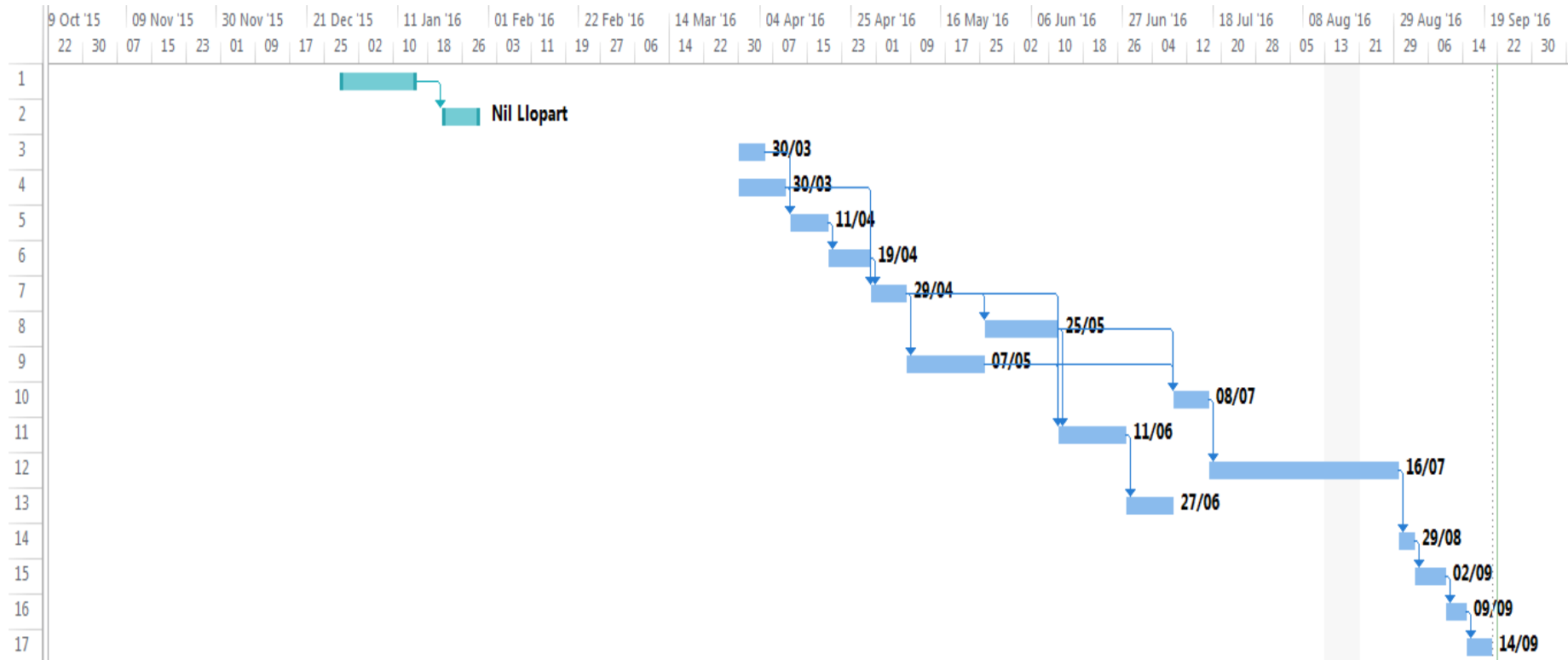


Fig 6.1 Diagrama de GANTT execució de la planificació amb MS- Project.

## 7 Conclusions.

En el projecte s'han definit les línies generals i superficials per a la creació d'un nou model de transportador aeri que trenca amb les dinàmiques actuals. S'ha definit un re-dimensionament d'un motor ja existent tot i que possiblement es veies alterat amb l'aparició d'elements electrònics i els components del motor lineal com ara els bobinats, part de la que no s'inclou en aquest projecte, tot i que s'ha realitzat de la forma més semblant al seu predecessor respectant els espais per a la electrònica. S'ha definit un tipus d'estructura modular i altament adaptable pel que fa el circuit, amb la possibilitat d'afegir suports allà on es desitgi o convingui en funció de l'espai o l'aplicació, donant una solució al problema de l'adaptabilitat. Finalment el disseny ha diferit substancialment de com es va proposar al avantprojecte, s'han suprimit algunes parts ( canvis d'alçada i canvis de via) i s'han realitzat algunes parts que no es contemplaven inicialment (càlcul de eixos i rodes, per exemple) .

Un dels punts flacs del projecte ha sigut la eliminació dels canvis d'alçada, tot i que no suposa un gran problema ja que es podria solucionar fàcilment amb l'ús d'un ganxo amb corda elevadora que regulés l'alçada de la caixa, ja que el sistema de subjecció proposat es molt adaptable. Un altre punt feble ha sigut l'absència de simulacions que donessin resultats concloents, per aquest motiu s'ha decidit eliminar-les del projecte.

La màquina s'ha dissenyat per a poder ser aplicada en qualsevol espai garantint sempre la bona funcionalitat. Destaquen la seva modularitat pel que fa el circuit i l' utilització d'elements estructurals estandarditzats tant a les vies com al motor, la matricialitat de les operacions per al conformar dels components, fet que abarateix substancialment els costos de producció del conjunt.

Les futures línies de treball haurien d'incloure necessàriament un estudi de la electrònica i la part elèctrica del motor. Els passos següents per a la continuació del desenvolupament d'aquesta màquina inclourien la creació d'un prototip per a verificar la resposta estàtica i dinàmica del sistema i la seva homologació.

Actualment la indústria sol·licita de màquines amb una gran adaptabilitat i fiabilitat, el nou concepte de transportador respon a aquestes necessitat, aportant un disseny exclusiu d'una màquina molt més simple, amb unes millors prestacions.



## 8 Referències

- [1] THOR WINDBERGS. *Germany's Transrapid: Gliding into the future of mass transportation?* Disponible a:  
<http://web.archive.org/web/20110928000224/http://cem.colorado.edu/archives/fl1997/thor.html> (última revisió 20/02/2016)
- [2] IRVING L. KOSOW (1975). *Máquinas eléctricas y transformadores. Vehículos de levitación magnética*. Naucalpan de Juárez, México. Prentice-hall hispanoamericana, S.A.
- [3] DANIEL GONZÁLEZ GARCÍA (2011). *Diseño. Cálculo y análisis de la aplicación de un motor lineal síncrono con imanes permanentes*. Universidad Carlos III de Madrid. Disponible a:  
<http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11777> (última revisió 20/02/2016)
- [4] CARLOS PEREZ RODRIGUEZ (2011). *Caracterización de un motor lineal de inducción (L.I.M.), Aspectos fundamentales de los motores lineales asíncronos. La máquina asíncrona*. Universidad Carlos III de Madrid .Disponible a:  
[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13575/PFC\\_CARLOS\\_PEREZ\\_RODRIGUEZ.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13575/PFC_CARLOS_PEREZ_RODRIGUEZ.pdf?sequence=1) (última revisió 20/02/2016)
- [5] GABRIEL PERREN (2003), *Estudio de las aplicaciones prácticas de la levitación magnética*. Disponible a: <http://www.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/MagLev.pdf> (última revisió 20/02/2016)
- [6] DAVID GIL ALBALAT (2012), *Diseño y simulación de una máquina eléctrica lineal de reluctancia conmutada con un programa informático*. Universitat Rovira i Virgili. Disponible a: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1853pub.pdf> (última revisió 20/02/2016)
- [7] BITTOR LARRIOZ ARISGUIETA(2012), *Recursos actuales para automatizar movimientos*, Larrizoz Electrónica industrial . Disponible a:

<http://www.interempresas.net/%20Componentes%20Mecanico/Articulos/98309-Recursos-actuales-para-automatizar-movimientos.html> (última revisió 20/02/2016)

[8] MECALUX LOGISMARKET. *Transportador aéreo CMAT*. Disponible a: <https://www.logismarket.es/cmat/transportador-aereo/1640607590-9476128-p.html> (última revisió 25/02/2016)

[9] POWDERTRONIC. *Transportador aéreo*. Disponible a: <http://powdertronic.com/transportadores-aereos/> (última revisió 25/02/2016)

[10] J. HERNANDO. *Sistemas de transporte aéreo* Disponible a: <http://www.jhernando.es/sistemas-de-transporte-aereo> (última revisió 22/02/2016)

[11] FROST EUROPE. *Productos para la Industria. Trolleys Aéreos*. Disponible a: <http://www.frosteurope.com/site/productos.shtml> (última revisió 25/02/2016)

[12] CONVOYNORT *Manual Monorraíl manual: Serie 700* Disponible a: <http://www.convoynort.com/img/pdf/es/Convoynort-monorrail-manual-serie-700.pdf> (última revisió 25/02/2016)

[13] MECALUX ESMENA. *Catálogo de productos. Transportador aéreo para cargas ligeras. Especificaciones de producto*. Disponible a: <https://13.cdnwm.com/ip/mecalux-transportador-aereo-para-cargas-ligeras-catalogo-transportador-aereo-para-cargas-ligeras-1068442.pdf> (última revisió 25/02/2016)

[14] MECALUX LOGISMARKET. *Transportador aéreo de cuerda CMAT*. Disponible a: <https://www.logismarket.es/cmat/transportador-de-cuerda/1640170180-9476128-p.html> (última revisió 25/02/2016)

[15] MECALUX LOGISMARKET. *Transportador aereo de cable CMAT*. Disponible a: <https://www.logismarket.es/cmat/transportador-de-cable/1640588498-9476128-p.html> (última revisió 25/02/2016)

[16] CARLES RIBA ROMEVA (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona. Edicions UPC.

- [17] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO (2010) *Eslingas de cadena*. Barcelona. Centro nacional de condiciones de trabajo.
- [18] HIBBELER, R. C. (2010) *Ingeniería mecánica – estática decimosegunda edición*. México D. F. Pearson educación.
- [19] RICHARD G. BUDYNAS, J. KEITH NISBETT (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shygly 8ª edición*. Mexico D.F. McGraw hill.
- [20] MILARIUM *Ingeniería civil y medio ambiente, vigas estáticas*. Disponible a: <http://www.miliarium.com/> (última revisió 2/09/2016).
- [21] VEOVERDE. *Reciclaje de acero*. Disponible a: <https://www.veoverde.com/2013/11/reciclaje-de-acero/> (última revisió 2/09/2016).