Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FINAL DE CARRERA

TÍTOL: Arqueologia Industrial.
El Museu del Ferrocarril de Catalunya

AUTORS: Admetlla Marimon, Oriol
Escolà Fernández, Marc

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Industrial Especialitat en Mecànica

DIRECTOR: Manuel López Membrilla

DEPARTAMENT: Expressió Gràfica

DATA: 26 de Juny de 2013

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TÍTOL:

Arqueologia Industrial. Museu del Ferrocarril de Catalunya.

COGNOMS: Admetlla Marimon
Escolà Fernández

NOM: Oriol
Marc

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Industrial

ESPECIALITAT: Mecànica

PLA: 1995

DIRECTOR: Manuel López Membrilla

DEPARTAMENT: Expressió Gràfica

QUALIFICACIÓ DEL PFC

TRIBUNAL

PRESIDENT	SECRETARI	VOCAL
Juan José Aliau Pons	Pedro Andrada Gascon	Dolores López Membrilla

DATA DE LECTURA: 9 de Juliol de 2013 a les 10:00 h

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: o **Sí** ● **No**

PROJECTE FI DE CARRERA

RESUM (màxim 50 línies)

Aquest projecte consisteix bàsicament en la realització d'un estudi d'arqueologia industrial de les instal·lacions ferroviàries i sobretot d'un pont giratori de principis del segle XX fabricat per l'empresa MZA (Madrid, Zaragoza, Alicante) que es troben ubicades al Museu del Ferrocarril de Catalunya, a Vilanova i la Geltrú.

La funció principal d'aquest pont giratori era la de adreçar les locomotores, que venien diàriament al dipòsit de locomotores de Vilanova, a les diferents vies de la cotxera o taller, per poder realitzar les tasques de manteniment rutinàries.

L'objectiu del projecte ha estat recopilar el màxim d'informació possible sobre aquestes instal·lacions i realitzar-ne un model tridimensional, analitzant i comprenent tots els seus mecanismes i el seu funcionament, i poder realitzar vàries simulacions i animacions del modelat.

Paral·lelament a la realització dels diferents models tridimensionals, també s'ha realitzat una recerca de documentació històrica en diferents arxius per mirar d'entendre millor els mecanismes de l'època i els corresponents aspectes tècnics.

Per poder il·lustrar millor el projecte s'han renderitzat alguns dels models obtinguts per donar una imatge més realista dels mecanismes que composen el pont i les altres instal·lacions estudiades, ja que molts d'aquests estan ocults i no poden ser fotografiats des de cap angle que mostri la seva complexitat.

Una altre cosa que s'ha fet per entendre millor el funcionament dels mecanismes i la relació entre aquests han estat una sèrie de simulacions de moviment, en les que es pot veure perfectament la relació que hi ha entre els diferents components d'un mateix sistema.

Finalment, també s'han realitzat alguns càlculs mecànics per verificar tant el moviment de la placa com la resistència dels components o les sol·licitacions a les que aquesta està sotmesa.

Paraules clau (màxim 10)

Pont giratori	Rotonda	Modelat 3D	Transmissió
Dipòsits ferroviaris d'aigua	Arqueologia Industrial	Patrimoni tècnic	Simulacions
Museu del Ferrocarril de Catalunya	Mecanismes ferroviaris		

Index

1. Introducció 8
2. Objectius 9
3. Antecedents històrics 10
3.1. Context històric 10
3.1.1. Història del ferrocarril a Catalunya 10
3.1.2. L'arribada del ferrocarril a Vilanova 10
3.1.3. Història del Museu del Ferrocarril de Catalunya 11
3.2. Instal·lacions del Museu 13
3.2.1. Pont giratori 13
3.2.2. La Rotonda o cotxera de les locomotores 14
3.2.3. Dipòsits d'aigua 14
3.3. La MZA: Madrid, Zaragoza y Alicante 16
3.4. La Electricidad 17
4. Situació geogràfica 18
5. Descripció del pont giratori 19
5.1. Classificació del pont giratori del MFC 19
5.1.1. La placa giratòria 19
5.1.2. El pont giratori 20
5.1.3. El pont placa 21
5.2. Descripció dels components i les parts mecàniques 24
5.2.1. El Pont 24
5.2.2. Les rodes del Pont 24
5.2.3. El fre o bloqueig del pont 25
5.2.4. La fixació del pont i palanca de gir 25
5.2.5. L'eix central 25
5.2.6. La Cabina 26
5.2.7. El mecanisme de transmissió 26
5.2.8. El fre de la cabina 27
5.2.9. El fossat i el carril circular 27
5.3. Descripció de les parts elèctriques 28
5.3.1. Motor asíncron de rotor bobinat i anells fregants 29
5.3.2. Parts del motor asíncron 31

5.4. Principi de funcionament 32
6. Justificació del model presentat 33
6.1. Primer contacte amb les estructures del projecte 33
6.2. Recerca documental 34
6.3. Entrevista 35
6.4. Visites 36
6.4.1. Lleida 36
6.4.2. Móra la Nova 36
6.5. Patrimoni industrial. 38
7. Eines per al modelat, animació i simulació 41
7.1. Instruments de mesura 41
7.2. Eines CAD 44
7.2.1. El Sòlid Edge ST2 44
7.2.2. El Catia V5R20 44
7.2.3. El Luxion Keyshot 2 45
8. Desenvolupament del model tridimensional i de l'animació dels conjunts 46
8.1. Obtenció de les mesures dimensionals 46
8.2. Modelat dels diferents components 48
8.2.1. La cabina 48
8.2.2. Pont giratori 52
8.2.3. Fossat 55
8.2.4. Conjunt de la cabina, el pont giratori i el fossat 56
8.2.5. Rotonda 57
8.2.6. Dipòsits d'aigua 58
8.2.7. Conjunt de totes les instal·lacions modelades 59
8.3. Renders 60
8.4. Animacions 65
9. Determinació del material del pont giratori 66
9.1. Obtenció de les mostres 66
9.2. Preparació de les mostres 67
9.3. Observació de les mostres 69
9.4. Determinació del material 77
9.5. Conclusions de l'anàlisi dels materials 78
10. Càlculs i simulacions 79
10.1. Càlculs de la dinàmica del sistema 79

10.1.1. Càlculs en condicions òptimes 80
10.1.2. Càlculs en les condicions més desfavorables 82
10.2. Càlcul de sol·licitacions de la estructura del pont 84
10.2.1. En condicions optimes 84
10.2.2. En condicions desfavorables 87
10.3. Càlculs de la cinemàtica dels engranatges i la relació de transmissió 90
10.3.1. Mecanisme de transmissió 90
10.3.2. Disseny dels engranatges 91
10.3.3. Càlculs cinemàtics 91
10.3.3.1. Velocitats angulars de la transmissió 92
10.3.3.2. Càlculs experimentals 94
10.4. Càlculs del parell motor del sistema motriu 96
10.4.1. Càlculs teòrics 96
10.4.2. Càlculs experimentals 98
10.5. Dimensionament de l'eix central 101
10.5.1. Compressió 101
10.5.2. Torsió 102
10.6. Simulació d'elements finits de l'eix central 103
10.6.1. Primera hipòtesi 103
10.6.2. Segona hipòtesi 105
10.6.3. Conclusions 107
11. Plànols 2D de les diferents instal·lacions i components modelats 108
12. Pressupost 109
13. Conclusions 112
14. Bibliografia 113
14.1. Publicacions escrites 113
14.2. Planes Web 114
15. Agraïments 115
Annexes 116

1. Introducció

En aquest projecte es mostra una extensa recerca històrica sobre el Museu del Ferrocarril de Catalunya i les seves instal·lacions ferroviàries. Els elements que s'han estudiat són: el pont giratori ubicat al centre de la Rotonda, la cotxera o hangar que envolta el pont, i els dipòsits d'aigua, que es troben a la part posterior de la rotonda I que servien per a les tasques de manteniment diàries de les locomotores.

Després d'estudiar aquests tres elements se n'ha realitzat un model tridimensional. Aquests models han desenvolupats a partir de mesures extretes directament sobre aquestes instal·lacions, per això podem dir que són uns models fidels a la realitat.

En el cas del pont giratori, a part de realitzar el model tridimensional, també se li han realitzat anàlisis i simulacions, tant d'esforços com de moviment, per poder comprendre millor el funcionament dels mecanismes i la relació entre aquests. Per veure també el dimensionament de les peces i el components que el formen s'han realitzat alguns càlculs per verificar analíticament els resultats obtinguts.

La realització d'un projecte final de carrera sempre ha de servir per poder utilitzar tot el coneixement adquirit durant el període d'estudis de la titulació. També serveix per poder desenvolupar una metodologia de treball i una planificació. En el cas d'aquest projecte apareixen molts dels coneixements adquirits en la titulació, la gran majoria en els càlculs desenvolupats durant el projecte, però també apareixen en l'anàlisis dels resultats, la recerca i recopilació d'informació i en la utilització d'eines de mesura.

La realització d'aquest projecte és un elogi i una manera d'agrair l'enginyeria que es duia a terme fa més de cents anys, que sense els coneixements ni medis que hi ha avui en dia, es podien construir estructures i mecanismes que suposaven grans avenços i revolucionaven el mon sencer.

2. Objectius

L'objectiu principal del projecte és la realització d'un estudi i anàlisi de les instal·lacions ferroviàries del Museu de Vilanova i la Geltrú amb la posterior reconstrucció virtual en tres dimensions.

Per poder realitzar aquesta tasca s'han de seguir un seguit de passos que donguin com a resultat l'obtenció del model tridimensional. El model del pont giratori serà utilitzat per realitzar una sèrie d'anàlisis de sol·licitacions i simulacions de moviment per veure la relació entre els diferents mecanismes del pont. Tot aquest procés es realitzarà amb un software avançat de modelat en tres dimensions, el CATIA V5R20.

A part també es realitzarà un modelat de la cotxera i els dipòsits d'aigua per tenir el conjunt del que suposa l'espai exterior del museu.

Per un altre costat es durà a terme una recerca de documentació històrica sobre els elements a estudiar, sobretot el pont giratori, per intentar extreure'n informació tècnica de tots els elements i plànols.

Si no es trobessin les suficients mesures en la recerca de documentació històrica, aquestes seran preses directament sobre els objectes reals a modelar.

Finalment es realitzaran renderitzats de les peces i els conjunts obtinguts per donar un major realisme de les peces obtingudes.

3. Antecedents històrics

3.1. Context històric

3.1.1. Història del ferrocarril a Catalunya

Els orígens del ferrocarril a Catalunya es remunten a la primera meitat del segle XIX. El primer ferrocarril que es va construir a l'estat Espanyol es va fer a Cuba, entre Güines i l'Havana, que aleshores era una colònia espanyola.

Miquel Badia, un mataroní que va fer "Les Amèriques", va ser convidat a la inauguració i va copsar els avantatges d'aquest nou mitjà de transport. Arrel d'això, es va proposar connectar la seva vila natal, Mataró, amb Barcelona.

Al principi el seu projecte no va ser rebut amb gaire interès i es va veure obligat a recórrer a capital estranger per obtenir el finançament necessari. A través d'un comerciant amic seu, Josep Maria Roca, van aconseguir el finançament necessari i finalment, al 6 de Juny de 1845, es va constituir la Companyia del Ferrocarril de Barcelona a Mataró.

Finalment el primer ferrocarril de la Península Ibèrica fou inaugurat el 28 d'Octubre de 1848 sota una gran expectació.

Els veritables protagonistes dels ferrocarrils de via ampla a Catalunya són personatges i companyies privades que van haver de fer esforços titànics, a banda de gastar gran part de les seves fortunes, per aconseguir veure construïts els seus somiats ferrocarrils ja que no es disposava de subvencions públiques a Catalunya.

3.1.2. L'arribada del ferrocarril a Vilanova

El Ferrocarril de Vilanova i la Geltrú va estretament lligat al nom de Francesc Gumà i Ferran. Gumà, de la mateixa manera que Badia, va tornar de Cuba amb una gran fortuna i tenia en ment connectar Barcelona amb Vilanova i la Geltrú per la costa mitjançant el ferrocarril.

Aquesta població va ser durament maltractada durant el segle XIX ja que les autoritats no veien necessària aquesta unió donat que la capital ja estava connectada amb el centre i el sud del territori català a través d'altres línies de ferrocarril. Veient aquest fet, i que el port de Vilanova entrava en decadència, Francesc Gumà es va envoltar de persones influents com Victor Balaguer, Pau Soler i Martorell, Joan Torrents i Agusí Pujol entre d'altres; i amb ells es va embarcar en la complexa missió de la construcció del nou traçat ferroviari.

Imatge 1 Francesc Gumà

Al 1877 va arribar la anhelada concessió de la llicència de construcció de la línia, això sí, sense cap ajuda estatal. Francesc Gumà va buscar recursos en el seu patrimoni i en grups inversors i van encarregar a l'enginyer Cels Xauradó la creació del projecte.

Així dons, al 1878 es va fundar la Companyia dels Ferrocarrils de Valls a Vilanova i Barcelona (VVB) amb Gumà com a director gerent.

Entre el barri marítim i el centre de Vilanova es va reservar una gran extensió de terreny per a la construcció de l'estació, els molls, els tallers, els magatzems i les vies. Aquest projecte va provocar una profunda revolució a la ciutat fins el punt de convertir-la en un centre ferroviari destacat de l'època.

Les empreses assignades per aportar els materials van ser la Maquinista Terrestre i Marítima i Rogers Locomotive and Machine Works.

Una de les grans problemàtiques que va haver de viure Francesc Gumà van ser els constants problemes financers que va patir el projecte fins el punt que la companyia va ser absorbida per la Companyia de Tarragona a Barcelona i França (TBF) i posteriorment per la Compañia Ferroviaria de Madrid, Zaragoza y Alicante (MZA), amb la que es va acabar de configurar el dipòsit de locomotores de vapor i les naus de l'anomenat Recorrido. La rotonda del dipòsit es va construir a l'any 1917.

Tot això va provocar que Vilanova s'erigís com a centre d'una gran activitat ferroviària a Catalunya i va provocar una forta contractació de treballadors especialitzats d'arreu de tot l'estat, més de 900 treballadors treballant com a maquinistes, fogoners, fusters, etc.

Amb els anys, el Recorrido, s'acabaria convertint en el que es coneix avui en dia com Taller Central de Reparaciones (TCR), que des de 1994 s'encarrega, a més a més, del manteniment dels trens de rodalies. En aquells anys, també es va fer la construcció d'un edifici que funcionaria com a economat i que avui en dia és l'edifici de serveis i recepció del Museu del Ferrocarril de Catalunya.

L'arribada del ferrocarril va revolucionar els usos, activitats, valors i una estructura urbana secular de la població, que en aquell temps estava aïllada per la barrera orogràfica del Massís del Garraf, però que a partir de l'arribada del tren es va obrir al mon connectant-se, mitjançant una gran estructura ferroviària, amb Barcelona, i degut a això, el sector industrial a Vilanova i la Geltrú es va desenvolupar de forma notable.

Finalment el centre es va clausurar al 1967, i va quedar en estat d'abandó, sent utilitzat exclusivament sent utilitzat exclusivament per a dipositar locomotores antigues a mesura que s'anaven jubilant.

3.1.3. Història del Museu del Ferrocarril de Catalunya

A l'any 1972, la Associació d'Amics del Ferrocarril de Barcelona va ser la institució encarregada de celebrar el XIX Congrés de la Unió Europea de Modelistes Ferroviaris i Amics del Ferrocarril (MOROP). Per a celebrar l'esdeveniment, es va pensar en utilitzar les antigues instal·lacions abandonades del dipòsit de Vilanova i la Geltrú per a realitzar una gran exposició de locomotores de vapor, ja que el recinte disposava d'una fabulosa rotonda amb 12 vies cobertes, un pont giratori i tres dipòsits d'aigua.

Quan es va acabar el congrés, els vehicles exposats, restaurats especialment per a l'esdeveniment, van quedar novament abandonats fins que al 1981, any del centenari de la línia Barcelona-Vilanova es va promoure, arran d'unes converses entre Renfe i la Generalitat de Catalunya, la idea de la creació d'un Museu del Ferrocarril. Al cap de poc temps l'Ajuntament de Vilanova i la Geltrú va incorporar-se al conveni de col·laboració i es va començar a preparar el projecte.

Imatge 2 Plaça de la Rotonda del Museu abans de la restauració

Finalment la Generalitat va rehabilitar l'edifici de la rotonda i Renfe es va encarregar de restaurar els vehicles i adequar l'espai.

El Museu es va inaugurar el 5 d'Agost del 1990 amb la denominació de Museu del Ferrocarril de Vilanova i la Geltrú, tot i que en aquell moment no disposava de pressupost ni personal assignat i no disposava de d'elements museogràfics adequats.

Al 1993 Renfe, que era l'empresa titular de les instal·lacions i dels vehicles, va encarregar la gestió del museu a la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, moment en que es va començar a obrir regularment al públic, fixant un sistema de tarifes i activitats. Al 1999 el museu es va inscriure al Registre de Museus de Catalunya, i poc després, va entrar a formar part de la xarxa de museus del Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica de Catalunya.

En els últims anys, s'ha presentat un projecte d'ampliació del museu per adaptar les instal·lacions a les noves necessitats i adequar-lo als nous temps.

Imatge 3 Logotip del Museu del Ferrocarril

Amb aquesta finalitat, al 21 d'Octubre de 2010 es va signar un conveni entre l'Ajuntament de Vilanova i la Geltrú, la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya i el Museu de la Ciència i la Tècnica de Catalunya per a definir programes conjunts d'activitats i inversions, recerca i patrocini i es va iniciar, en col·laboració amb la Universitat Politècnica de Catalunya, un Màster en Sistemes Ferroviaris i de Tracció Elèctrica al Campus de Vilanova i la Geltrú.

3.2. Instal·lacions del Museu

En la recerca i documentació de les instal·lacions, s'ha centrat en els elements que es troben a l'exterior del museu, que són: la placa giratòria, els dipòsits d'aigua i la rotonda o cotxera de les locomotores.

3.2.1. Pont giratori

El pont giratori es troba situada al mig de la plaça de la rotonda, i servia per encarar les diferents locomotores a les diferents vies de la rotonda.

Als inicis del ferrocarril eren més petits que el que es troba al Museu, però paulatinament, de la mateixa manera que les locomotores augmentaven la seva grandària, va ser necessari fer construccions cada vegada més grans. En el cas del pont que es troba al Museu, era suficient per a girar les locomotores del segle XIX i començaments del XX. Però a partir de la dècada del 1930 es van començar a fabricar locomotores de majors dimensions i aquest tipus d'elements van quedar poc a poc en desús en detriment dels ponts placa.

Aquest pont servia tan per a girar locomotores com per portar rodes o altres peces de la rotonda o dels fossats baixa-rodes cap al taller i viceversa. Sempre estava en moviment ja que entraven i sortien màquines constantment les 24 hores del dia. Originàriament s'accionaven manualment amb palanques o altres elements que en facilitessin la transmissió de força per a provocar-ne moviment, tot i que cap al final, es van començar a dissenyar ponts en els que s'hi acoblava un motor elèctric controlat des de una cabina situada a un dels seus extrems. En el cas del pont del Museu del Ferrocarril, que fa 23 metres de llarg, es tracta d'un pont del segon tipus, és a dir, accionat per un motor elèctric que actualment encara funciona i que transmet el moviment a través d'un sistema d'engranatges cap a una roda motriu que es desplaça a través d'un carril circular. La placa la feia anar un sol operari, que tenia una caseta al costat de la placa que ara ja no existeix.

Imatge 4 El pont giratòri, la caseta de l'operari i la rotonda de fons

Aquests ponts estaven situats en uns fossats amb un encofrat circular on s'assenta un eix central i on s'hi disposava un carril circular al llarg del seu perímetre per on hi podien reposar les rodes situades als extrems del pont tot i que en principi no hi havia d'haver contacte.

Actualment la placa està operativa, tot i que se l'hi ha de fer un manteniment per a que torni a funcionar tan bé com funcionava abans.

3.2.2. La Rotonda o cotxera de les locomotores

La Rotonda està formada per unes vies situades de forma radial amb centre a la placa giratòria i per una nau circular que cobreix gran part d'aquestes vies. A sota de les vies hi ha unes fosses que servien per a que els operaris poguessin manipular el mecanisme inferior de les locomotores.

Antigament, la rotonda disposava d'unes xemeneies situades a la teulada, tal i com es pot veure a la imatge 5, que servien per a que el fum i el vapor expulsat per les locomotores sortís directament l'exterior i no s'acumulés a l'interior. Posteriorment aquestes xemeneies es van retirar.

Imatge 5 Interior de les naus de la rotonda

En la Rotonda es feien les reparacions diàries de les locomotores, és a dir, s'hi feia el manteniment. El maquinista arribava i li deia al mecànic corresponent què s'havia de mirar. Normalment, es feien petites reparacions de menys d'un dia, com ara fuites de vapor o canviar les anelles del pistó. Posteriorment, degut al gran nombre de locomotores que hi anaven, es van habilitar algunes fosses més a fora de la nau per tal d'abastir totes les reparacions.

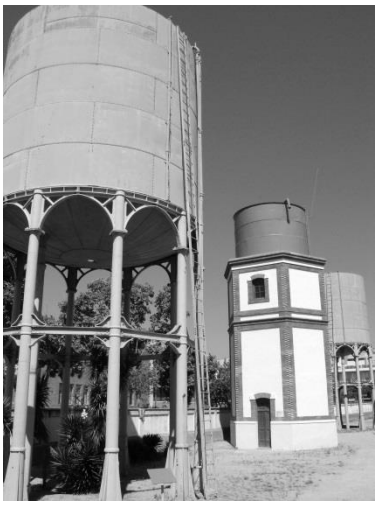
Les reparacions més llargues es feien al taller, i les reparacions generals de la màquina es feien als tallers centrals com ara La Maquinista Terrestre i Marítima de Barcelona, d'on sortia la màquina pràcticament nova.

3.2.3. Dipòsits d'aigua

Els dipòsits d'aigua estan situats a la part posterior de la rotonda i se'n van construir tres, dos de grans i un de més petit situat al mig amb una estructura de maons i formigó, a diferència dels altres que reposen sobre una estructura d'acer.

Els tres dipòsits es van fer d'acord a la resta d'edificacions amb un disseny seriat que era similar al de moltes altres instal·lacions.

Se'n van posar tres degut al gran nombre de locomotores a les que se'ls havia de proporcionar aigua cada dia.



Imatge 6 Dipòsits d'aigua del Museu del Ferrocarril

Els dipòsits servien com a reserva d'aigua. Aquesta arribava de Santa Oliva mitjançant unes canonades destinades expressament a aquesta finalitat. Així dons servien per a garantir un volum d'aigua considerable en qualsevol moment, ja que de vegades l'aigua de la xarxa no era suficient per a abastir totes les necessitats.

L'arribada d'aigua era constant, i per tan, els dipòsits sempre estaven plens. No hi havia cap mecanisme per omplir-los, sinó que s'omplien directament per gravetat, ja que el municipi d'on provenia estava situat a més alçada.

Els dipòsits tenien dues sortides d'aigua, una que connectava amb el taller i l'altre amb l'estació de tren.

A l'estació s'abastia un dipòsit que servia per omplir les calderes de les locomotores que hi feien parada.

Al taller servia per a netejar l'interior de les calderes de les màquines mitjançant aigua a pressió amb la ajuda d'una bomba, i a través d'uns orificis específics de les calderes, treien les incrustacions de calç que s'havien format a l'interior. Després omplien la caldera amb una presa d'aigua que hi havia al mateix pati de la rotonda.

Arran dels problemes de calcificació que donava l'aigua i de l'ebullició que es produïa a la caldera i que falcejava el nivell d'aigua, es va instal·lar una màquina de tractament de l'aigua a l'interior del peu del dipòsit central per a descalcificar l'aigua.

3.3. La MZA: Madrid, Zaragoza y Alicante

Tan el pont giratori com els dipòsits d'aigua que es troben a les instal·lacions del Museu del Ferrocarril de Catalunya van ser encarregats a la empresa ferroviària *Compañia de los Ferrocarriles de Madrid, Zaragoza y Alicante*, coneguda com la MZA.

Aquesta empresa va ser fundada al 31 de Desembre de l'any 1856 per José de Salamanca Mayol i no va parar de créixer fins a fer-se un de les majors empreses del sector ferroviari a España, rivalitzant amb la *Compañia de los Caminos de Hierro del Norte de España*.

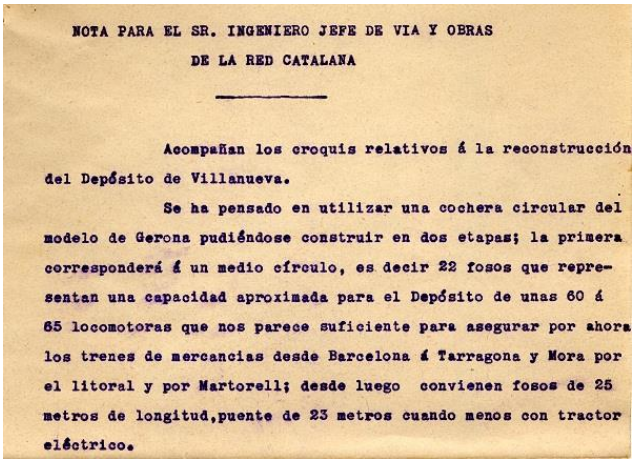
La empresa es dedicava a la fabricació de locomotores i a la gestió de les línies de ferrocarril però també construïa estacions de tren i les diferents estructures que es trobaven als tallers de reparació i manteniment com el de Vilanova i la Geltrú.

A partir de l'any 1885, i un cop consolidada a la resta d'Espanya, es va començar a interessar en Catalunya, on veia la possibilitat de fusionar-se amb la Companyia dels ferrocarrils de Tarragona a Barcelona i França per unificar la línia de Barcelona a Saragossa amb la de Madrid a Saragossa i unificar les dues metròpolis més importants d'Espanya, fusió que finalment va aconseguir en detriment de la *Compañia de los Caminos de Hierro del Norte de España.*

Amb la arribada de la Guerra Civil i el posterior estat franquista es va decretar la nacionalització de tots els ferrocarrils, i la empresa MZA va desaparèixer oficialment a l'1 de Juliol de l'any 1941, entrant a formar part de la recent creada RENFE.

10 anys abans, al Març de 1913, es va encarregar el disseny del pont giratori de 23 metres que es troba avui en dia al Museu de Vilanova fet a semblança del que ja hi havia a Girona. El projecte incloïa la construcció del pont juntament amb la ampliació de la rotonda, per tal de donar cobertura a la reparació de les locomotores de la línia de Barcelona a Tarragona i Mora tan per la línia que recorria el litoral com per la línia que passava per Martorell.

Compañia de los ferrocarriles de Madrid á Zaragoza y á Alicante
Red Catalana.
Servicio de Via y Obras
Puente giratorio de máquinas de 23 metros de diametro.


NOTA PARA EL SR. INGENIERO JEFE DE VIA Y OBRAS
DE LA RED CATALANA

Acompañan los croquis relativos á la reconstrucción del Depósito de Villanueva.

Se ha pensado en utilizar una cochera circular del modelo de Gerona pudiéndose construir en dos etapas; la primera corresponderá á un medio círculo, es decir 22 fosos que representan una capacidad aproximada para el Depósito de unas 60 á 65 locomotoras que nos parece suficiente para asegurar por ahora los trenes de mercancias desde Barcelona á Tarragona y Mora por el litoral y por Martorell; desde luego convienen fosos de 25 metros de longitud, puente de 23 metros cuando menos con tractor eléctrico.

Imatge 7 Plànols d'un pont giratori de 23 m de la MZA i encàrrec de la reconstrucció del dipòsit de Vilanova

La empresa també es va encarregar de la construcció dels dipòsits d'aigua, amb un disseny estàndard que es pot trobar a vàries instal·lacions d'arreu del país però de la qual no n'hem trobat cap tipus d'informació.

3.4. La Electricidad

Tant el comandament del pont giratori com el motor elèctric tenen plaques identificatives de La Electricidad Sabadell, i imaginem que la primera instal·lació elèctrica que va tenir el pont també la va fer la mateixa companyia.

Joan Brujas Pellisser va ser un empresari del sector tèxtil d'aparells i acabats que va ser pioner de l'electricitat a Sabadell.

L'any 1894 va construir una central elèctrica a la plaça del Duc de la Victòria (ara plaça del Gas), moment en què aconseguí un contracte amb l'Ajuntament de Sabadell per il·luminar els carrers del centre de la ciutat. Aquest primer enllumenat públic va conviure amb la il·luminació preexistent dels fanals de gas i de petroli.

Imatge 8 Joan Brujas Pellisser

Joan Brujas Pellisser va ser un personatge molt reconegut en el món empresarial, social i financer sabadellenc: president del Gremi de Fabricants entre els anys 1897 i 1898, també fou president de l'Orfeó de Sabadell (1911-1913) i entre els anys 1912-1920 exercí el càrrec de director president de la Caixa d'Estalvis de Sabadell.

El 1897 l'empresari tèxtil Joan Brujas Pellisser va fundar junt amb l'enginyer Emilio Fréne i amb E. Rafael Agazzi la empresa anomenada La Electricidad, que es dedicava a instal·lacions i maquinària elèctrica per als rams de l'enllumenat elèctric, la producció i la transmissió de força i telefonia.

Imatge 9 Fabrica de La Electricidad

El 1977 treballaven a l'empresa uns 500 treballadors. El 2000 la fàbrica de Sabadell va deixar la seva activitat industrial. La nau que es conserva va ser construïda als anys 40 del segle XX i, en l'actualitat, acull la Fira de Sabadell.

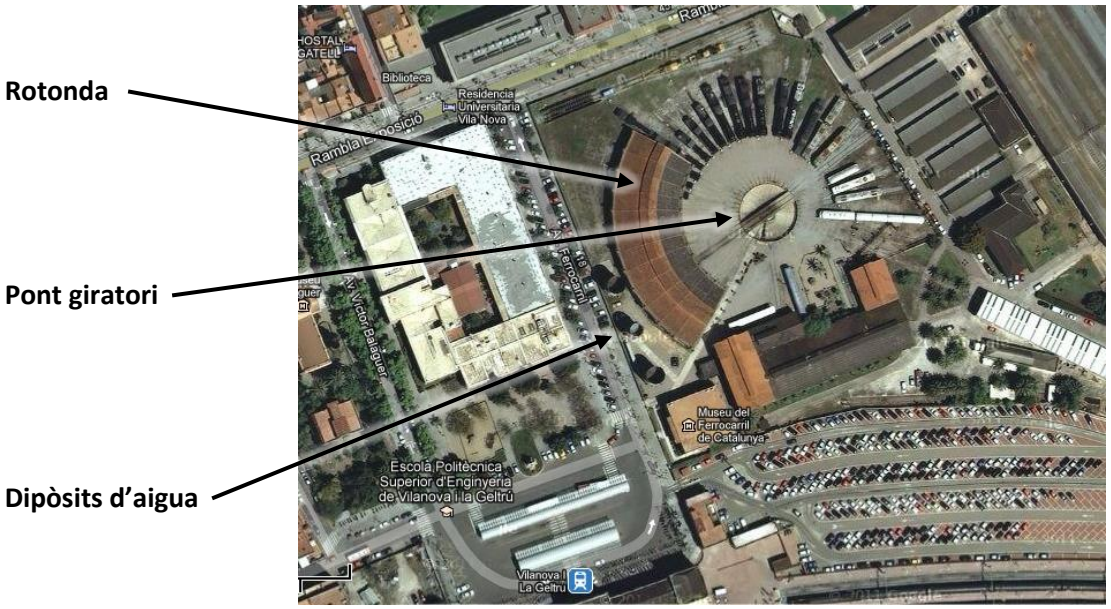
La Electricidad, des de la fundació fins al tancament definitiu quan va passar a formar part de l'actual corporació multinacional Asea Brown Boveri (ABB), l'any 2000, ha estat una de les empreses emblemàtiques més importants de producció de motors i maquinària elèctrics en l'àmbit local, català i espanyol.

4. Situació geogràfica

El pont giratori i les instal·lacions estudiades estàn situades a les antigues instal·lacions del dipòsit de locomotores de Vilanova i la Geltrú, on actualment es troba el Museu del Ferrocarril de Catalunya. Aquest museu es troba a la Plaça Eduard Maristany de Vilanova i la Geltrú, a 75 metres de la estació de Renfe i de la Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú.

Situació del Museu dins de Vilanova i la Geltrú

Dins de les instal·lacions del museu, el pont giratori es troba a la zona exterior, al mig de la Rotonda que antigament servia com a dipòsit de locomotores per al seu manteniment i reparació.



Vista en planta del Museu del Ferrocarril

5. Descripció del pont giratori

5.1. Classificació del pont giratori del MFC

De mecanismes de gir de vehicles ferroviaris n'hi havia de tres tipus diferents, que són: les plaques giratòries, els ponts giratoris i els ponts placa. Cada tipus de mecanisme té les seves particularitats i característiques, així que abans d'entrar a definir el pont giratori de Vilanova s'han definit aquests tres mecanismes.

5.1.1. La placa giratòria

Les plaques giratòries eren els mecanismes de gir més petits. La mida màxima que tenien aquests elements era de 6 metres i només servien per a girar vagons, ja sigui per a encarar-los cap a una via perpendicular que es dirigís per exemple a uns tallers com per invertir-ne la direcció.

Estaven formats per una placa circular amb quatre rails entrecreuats formant dues vies perpendiculars. Aquesta placa era rígida i reposava sobre varis rails circulars concèntrics, repartits al llarg de la superfície d'aquesta per a repartir el pès que suportava. Com que es tractava d'elements bastant reduïts i recolzats en diferents punts de forma concèntrica, no es necessitava una estructura gaire robusta per a suportar el pès i per tan no es requeria de fossat, n'hi havia prou amb un forat de menys d'un metre de profunditat que quedava totalment cobert per la placa.

En aquest cas l'accionament solia ser manual, i es realitzava directament aplicant una força als vagons o mitjançant un cabrestant que s'enganxava directament al vagó per un extrem i es feia girar.

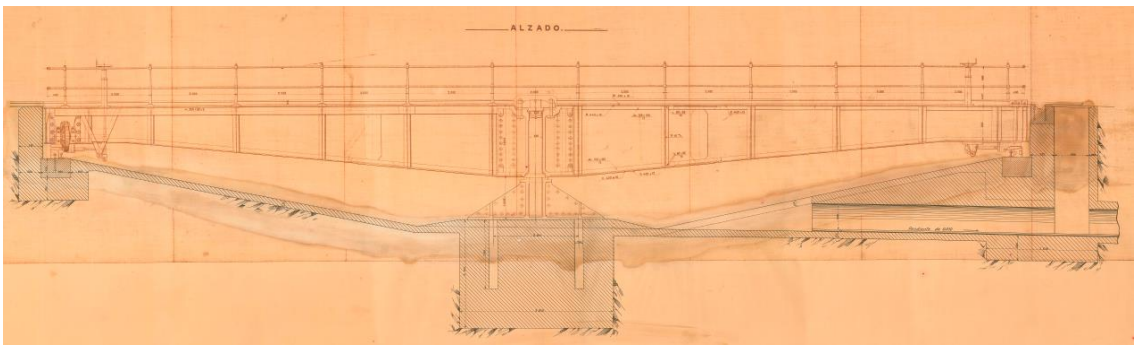
Tot i que aquests elements estaven dissenyats per a girar vagons i no locomotores, en països que es troben en un territori elevat com ara Suïssa, on hi neva freqüentment i amb abundància, aquest tipus de mecanismes es feien servir també per a girar les locomotores, ja que en cas d'una nevada intensa, un pont giratori podria quedar inutilitzat en cas que el fossat s'omplís de neu, en canvi, com que les plaques cobreixen totalment el forat on estan instal·lades, no hi ha aquesta possibilitat. En aquest cas, l'accionament era motoritzat.

Imatge 10 Esquerra: Placa giratòria convencional. Dreta: Placa giratòria de grans dimensions de Suïssa per a vagons i locomotores

5.1.2. El pont giratori

Els ponts giratoris es van construir amb la finalitat de girar locomotores, per tan, el seu diàmetre havia de ser major al de les plaques. De ponts giratoris se'n van construir de 15, 17 i 23 metres progressivament com a mides més esteses. Aquestes mides estaven regulades i estipulades per normativa, que establia una mida estàndard de diàmetre però no com es resolia el mecanisme, és a dir, el disseny del pont.

Aquests elements estaven formats per una estructura formada principalment per dues mono-bigues rígides de perfil variable amb un únic punt de suport al centre de l'estructura. Aquest perfil augmentava a mesura que s'acostava al centre ja que és on es produeix la major sol·licitació de tensions degut al propi pes de al estructura i al de les locomotores. La raó de recolzar tota la estructura en un sol punt de suport és que es tractava de mecanismes d'accionament manual, i per tan, per a poder moure-la amb relativa facilitat, ja que els més grans arribaven a pesar unes 70 tones, s'aprofitava la llargada dels braços per a augmentar el moment de la força aplicada als extrems respecte de l'eix central o eix de rotació, és a dir, la llei de la palanca. D'aquesta manera, si el pont estava ben equilibrat i engrassat, amb 1 o 2 operaris es podia fer girar el pont i amb 6 o 8 es podia fer girar el pont amb una locomotora al damunt.



Imatge 11 Plànol d'un pont giratori de 23 m de la companyia MZA

Pràcticament tots els elements de la estructura estaven units de forma permanent mitjançant reblons, com la majoria d'unions que es realitzaven a l'època, tot i que quan es va restaurar, la majoria d'unions es van substituir per soldadures.

Al tractar-se de bigues rígides, el pont requeria d'un fossat prou profund per a que el perfil de les bigues, que al centre podia arribar a fer més de 1,5 metres d'ànima, pogués girar sense trobar obstacles, així que els fossats s'acostumaven a construir amb una profunditat igual o major als 2 metres de profunditat.

Als extrems dels ponts també s'hi instal·laven unes rodes que servien per a evitar que el pont s'inclinés massa quan hi entrava una locomotora o en el cas de que el pes d'aquesta no quedés ben repartit a l'estructura i no es recolzés únicament al centre. Juntament amb les rodes, també s'instal·lava un rail circular al llarg del perímetre del fossat per a que les rodes hi llisquessin si es donava el cas esmentat, tot i que en principi no hi havia d'haver cap tipus de contacte entre aquest i les rodes.

A la part central de la estructura, s'hi col·locava una peça circular massissa, que és l'element que recolzava la estructura sobre l'eix central. Aquesta anava unida amb vàries barres roscades que la unien amb la estructura del pont i que permetien elevar-lo o baixar-lo per tal d'equilibrar-lo o per a altres necessitats. La part que feia contacte amb l'eix que sosté el pont, variava segons el disseny d'aquest. Un dels més utilitzats eren la cassoleta, és a dir, l'eix tenia un forat a la part superior on s'hi encaixava la tapa. L'altre era al revés, es a dir, l'eix acabava amb un arrodoniment a la part superior i encaixava amb la tapa que tenia un forat amb el mateix arrodoniment. Aquest contacte no es feia directament entre les peces, sinó que s'hi col·locava una funda de bronze a cada peça que minimitzava el fregament. Tot i això, aquest contacte anava engrassat i lubricat per a evitar-ne el desgast i millorar el moviment relatiu entre les dues.

A mesura que aquests elements van anar creixent, es van començar a motoritzar per a facilitar-ne l'ús. Així dons, es van acoblar diferents mecanismes, elèctrics o de vapor, a un dels extrems dels ponts que substituïen la força feta pels operaris però seguint el mateix principi de funcionament que en el cas d'actuació manual, pel que el motor no s'unia de forma fixa al pont sinó que es permetia que basculés per a que la roda motriu toqués al rail circular però les rodes dels extrems del pont continuessin elevades.

La electrificació dels ponts motoritzats es feia o bé per sota la estructura, a través de l'eix, o bé per sobre, col·locant una estructura a la part superior que contactés amb una línia de corrent aèria. Per tal de permetre que el pont pogués girar sense cap obstacle, la connexió entre la presa de corrent i el pont es feia mitjançant tres anelles de coure que rebien el corrent elèctric de la xarxa i mitjançant tres elements que feien contacte amb aquestes anelles, es transmetia el corrent a través de la estructura del pont fins al motor, situat a un dels extrems.

A aquest grup, és al que pertany el Pont Giratori del Museu del Ferrocarril de Catalunya, un pont giratori de 23 metres.

Imatge 12 Pont giratori del Museu del Ferrocarril de Vilanova i la Geltrú

5.1.3. El pont placa

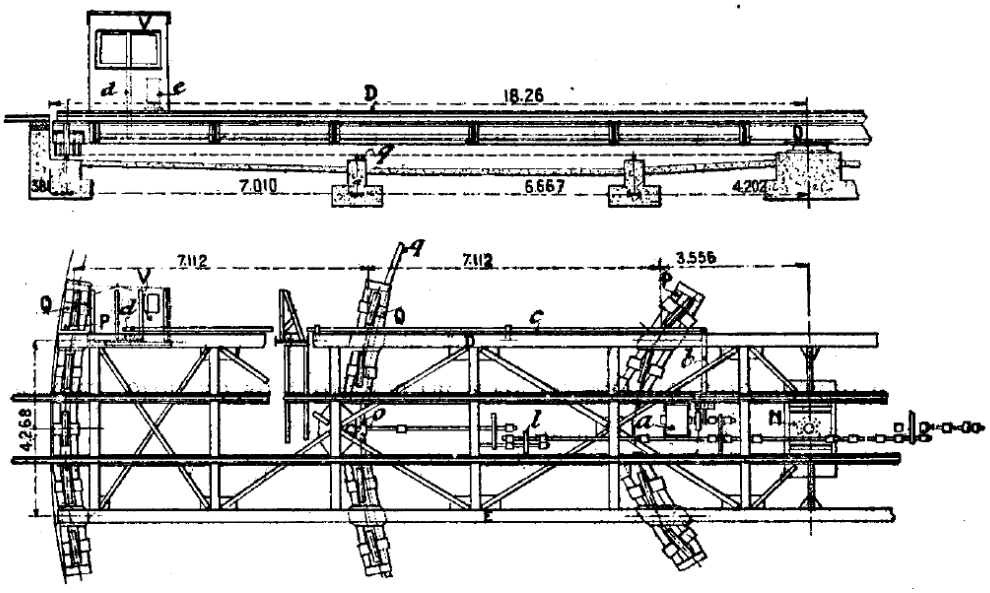
Un cop les locomotores van superar la mida màxima per a poder girar en ponts de 23 metres, es va estipular la mida estàndard de 25 metres per a aquest tipus de mecanismes. Arran d'això es va dissenyar un nou tipus de mecanisme que combinava els dos anteriors, el pont placa.

Com que les tensions que havien de suportar eren més elevades elevades que en els ponts giratoris, es va decidir canviar la estructura rígida per una estructura flexible que es recolzés als extrems del pont, i d'aquesta manera es repartís el pes en diferents punts. Degut a aquest canvi, tots els ponts placa es van dissenyar per a funcionar amb tracció motoritzada, ja que es perdia el principi físic d'aplicació d'un moment a l'extrem d'una estructura recolzada per un únic punt central, i s'havia de fer una força molt més gran per a poder girar la estructura.

Així dons, la estructura d'aquests mecanismes, esta formada per dues bigues de secció constant i més reduïda que en el cas dels pont giratoris ja que no patien tants esforços a flexió ni a tallant. Aquestes bigues però no són rígides, sinó que estan dividides en dues parts, cada una forma un braç del pont, i van unides a una peça central de tal manera que els braços puguin flexionar i recolzar-se sobre els extrems. Per tan, aquesta estructura esta recolzada per tres punts de suport, un a cada extrem i un altre a la part central, que també servia per a guiar el moviment giratori del mateix.

Imatge 13 Unió flexible entre la part central del pont placa i el braç

A mesura que van anar creixent, se'ls hi van incorporar rodes en diferents trams de la longitud dels braços que es desplaçaven a través de rails concèntrics a l'exterior i que permetien recolzar la estructura en més punts.



Imatge 14 Pont placa amb varis punts de suport (en aquest cas 7: tres a cada braç i un a l'eix central)

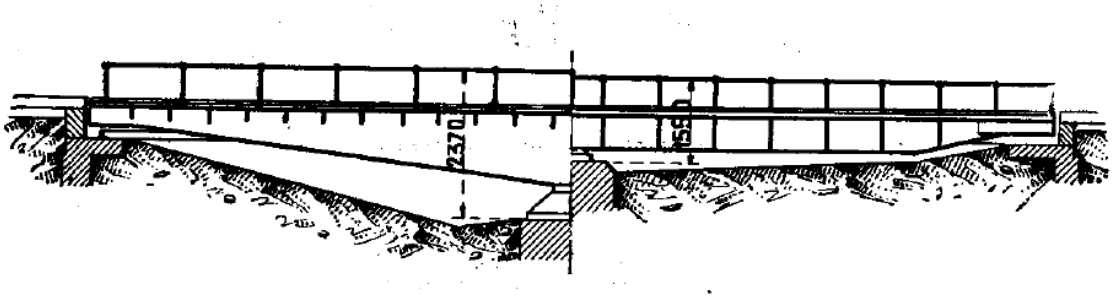
La tracció que li atorgava el moviment giratori es feia per un dels extrems del pont i de forma totalment motoritzada ja que es requeria fer molta més força que en el cas dels ponts giratoris degut a la pèrdua de l'efecte palanca.

Com a conseqüència de la reducció de la mida de les bigues de la estructura, també es va reduir la mida dels fossats que arribaven a un màxim de 1,55 metres de profunditat.

Imatge 15 Pont placa amb presa de corrent aèria

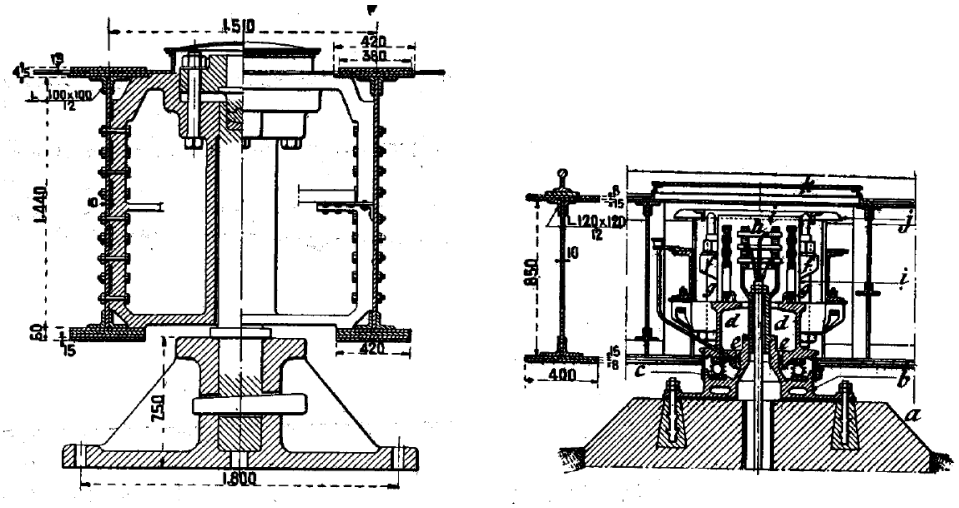
A continuació es pot veure de forma gràfica les principals diferències pel que fa a dimensions entre els ponts giratoris i els ponts placa:

- Mida dels perfils i dels fossats
  En la il·lustració següent, es pot veure la comparativa entre els perfils dels ponts giratoris i dels ponts placa així com la diferència entre els seus fossats.



Imatge 16 Esquerra: pont giratori. Dreta: pont placa

- Eix central
  Degut a que els ponts placa no recolzaven tot el pes a l'eix central, aquest es feia més petit, i tal i com es pot observar en les il·lustracions, també més sofisticat.



Imatge 17 Esquerra: eix central d'un pont giratori. Dreta: eix central d'un pont placa

5.2. Descripció dels components i les parts mecàniques

El Pont giratori de Vilanova pertany als grup dels ponts giratoris motoritzats construïts per la MZA. A continuació es fa una descripció de les diferents parts i mecanismes característics d'aquest element en concret.

5.2.1. El Pont

El pont es l'element central del pont giratori. Té una llargada de 23 metres de punta a punta i disposa d'un rail a la part superior per on hi circulen les locomotores.

Es tracta d'un element format per una estructura que descansa sobre de un eix sobre el qual efectua el moviment giratori. Aquesta estructura consisteix en dues grans bigues rígides de perfil variable. Les bigues estan formades per tres xapes diferents, una situada de forma vertical que fa de ànima i dues més situades a la part superior i inferior d'aquesta, tot unit amb reblons. Aquestes bigues estan unides principalment per la part central, pels extrems i amb una successió de perfils entrecreuats units a les bigues al llarg d'aquestes. Sobre d'aquestes bigues s'hi troben els rails per on circulen les locomotores, i tota la estructura queda coberta per unes xapes soldades a la mateixa i a dos perfils en U que recorren els laterals per a poder deixar una plataforma als costats exteriors dels rails.

A la part central, hi ha una tapa que és la que es recolza directament a sobre de l'eix central. Aquesta va unida a la estructura amb uns grans turmells que la uneixen a una peça situada a la part inferior. Aquesta turmells també s'utilitzen per a regular la alçada del pont, permetent regular-la per tal d'equilibrar el pont.

5.2.2. Les rodes del Pont

Les rodes del pont estan situades als seus extrems, per la part exterior de les bigues. Les grans peces que les sustenten, disposen d'un encaix on hi van col·locats els coixinets, un a cada costat de la roda. Es tracta de coixinets de fricció fets de bronze, i estan formats per dues peces.

Els coixinets disposen d'uns greixadors que permeten la constant lubricació de la part que fa contacte amb l'eix. Aquests greixadors estan formats per una caixa situada a la part superior dels coixinets. Al seu interior hi ha un petit orifici que comunica amb la part interior dels coixinets. El pas del lubrificant cap a l'eix es feia mitjançant un fil de cotó que s'unia a una vareta situada a dins del forat. Aquest fil absorbeix el lubricant i el va conduint de mica en mica cap a la vareta i d'aquesta manera entra al forat gota a gota.

La cara superior del coixinet presenta una lleugera inclinació per on s'hi desplaça una falca. Mitjançant un sistema roscat, es pot regular la posició de la falca per tal de que el coixinet quedi més ajustat a l'eix o tingui més joc, per tal d'ajustar-lo segons convingui.

5.2.3. El fre o bloqueig del pont

El pont disposa d'un mecanisme de bloqueig per a fixar-lo quan queda encarat a la via d'accés corresponent. Aquest mecanisme es troba a la part inferior de la estructura i consta de dues sabates que es desplacen a través d'una guia situada a la part inferior de les bigues.

Al desplaçar les sabates, aquestes s'encaixen a uns suports que es troben al perímetre del fossat. Tan les sabates del fre com els suports tenen una superfície inclinada. Al recolzar-se la sabata sobre aquesta superfície inclinada, el pont queda fixat i també s'eleva, de tal manera que permet al pont recolzar-se sobre els extrems quan està parat. Gràcies a això, quan una locomotora entra o surt del pont la seva càrrega no es recolza únicament en els eixos de les rodes dels extrems del pont.

Aquest mecanisme s'accionava mitjançant una maneta circular o una palanca que feia girar l'eix on anaven fixades les sabates i aquest moviment es transmetia a les sabates de manera lineal.

5.2.4. La fixació del pont i palanca de gir

A la part superior del pont, als extrems d'aquest, es troba la palanca que es feia servir per a girar el pont de forma manual. Aquesta palanca tenia una forma que permetia encaixar-la a uns forats que es troben a la part exterior del fossat i que també servien com a fixació del pont per a que no es mogués quan estava parat.

Al motoritzar el pont, aquesta palanca ja no tenia cap utilitat pel que fa al moviment del pont, així que es va adaptar per a que només servís com a element fixació tallant-la a la distància justa per a que encaixi en els forats.

5.2.5. L'eix central

L'eix central del pont giratori és una peça massissa situada al centre del fossat. Esta format per un peu format per un cilindre amb 6 punts d'ancoratge que serveix per a fixar-lo a terra mitjançant 6 rosques. D'aquest peu en surt un eix d'uns 2 m d'alçada i totalment massís, ja que ha de suportar tot el pes de la estructura del pont. La part superior, té una forma arrodonida que encaixa amb la forma de la tapa de l'eix de la estructura, que és la que es recolza directament a aquest i aguanta tota la estructura.

El contacte entre aquestes dues parts, es fa mitjançant dues peces de bronze que en disminueixen el fregament. Tot i aquesta disminució del fregament, aquest contacte ha d'estar perfectament engrassat i lubricat en tot moment, per evitar la seva degradació i el millor lliscament entre els dos components. Aquesta lubricació es realitza des de la tapa superior, que disposa d'un forat al centre per on s'introdueix el lubricant corresponent.

La estructura, també disposa de un centrador a la part superior, just a sota de la tapa de l'eix, que evita que el pont es pugui decantar, i el manté sempre alineat amb l'eix.

5.2.6. La Cabina

A un dels extrems de la estructura del pont hi ha una cabina que s'uneix amb la estructura mitjançant l'eix d'una de les dues rodes laterals.

Aquesta cabina és on es troba el sistema de transmissió del moviment del pont i des d'on l'operari el manejava. Així dons al seu interior s'hi troba el motor elèctric i el respectiu mecanisme de transmissió i els controls del pont, des d'on l'operari controlava el sentit i la velocitat de gir del pont i el fre.

Imatge 18 Cabina de control del pont giratori

Com s'ha esmentat anteriorment, la cabina no va unida de forma fixa al pont, sinó que està formada per dues barres que s'uneixen a l'eix d'una de les rodes laterals de la estructura i per tan es permet un moviment relatiu entre la cabina i la estructura, de manera que la roda motriu, a diferència de les rodes de la estructura, toca el rail sense forçar a les rodes del pont a fer-ho.

La cabina reposa sobre la roda de transmissió de moviment del pont i també disposa d'una rodeta de seguretat situada a l'extrem oposat a la estructura per si es desenganxés del pont, de manera que no permetria que la cabina caigués.

Imatge 19 Unió mòbil de la cabina amb la estructura

5.2.7. El mecanisme de transmissió

El mecanisme de transmissió està format per un motor elèctric que transmet el moviment a una roda que està en contacte amb el rail del fossat a través d'un sistema d'engranatges.

Es tracta d'un motor elèctric trifàsic asíncron de rotor bobinat amb anells fregants. Aquest motor s'alimenta directament de la xarxa a 230 v i una intensitat de 32 A.

Per tan, proporciona una potència de 12 cv.

En total hi ha 6 engranatges, tres que transmeten el moviment i tres que el reben. Els tres que el transmeten són els tres més petits, i transmeten el moviment giratori a tres engranatges més grans, cosa que en redueix la velocitat de gir.

Finalment el moviment es transmet a una roda amb un perfil que encaixa amb el rail per assegurar-se que no descarrilarà i que es troba a la part inferior de la cabina.

Imatge 20 Esquerra: interior de la cabina: Controls, motor i sistema de transmissió.
Dreta: Roda motriu

5.2.8. El fre de la cabina

En el mecanisme de transmissió també hi trobem una roda de frenada. Aquesta roda està envoltada per una xapa circular amb uns tacs de fusta units a la part interior i que apreten la roda quan l'operari pitja el pedal de frè. Al pitjar aquest pedal, es transmet el moviment del pedal a través d'un sistema de palanques fins a la cinta de frè.

Aquest sistema disposa d'un contrapès que fa que el pedal torni a la seva posició inicial quan es deixa de pitjar.

5.2.9. El fossat i el carril circular

El pont està situat en un fossat amb un encofrat circular on al centre s'hi assenta un eix sobre el qual hi reposa la estructura del pont.

Al perímetre del fossat hi ha un rail circular que és per on es recolza el pont per els seus extrems en el cas que sigui necessari.

En un punt de la paret del fossat hi ha un forat on es col·locaven els treballadors per a poder fer el manteniment o reparació dels elements que queden amagats entre la estructura i la paret.

5.3. Descripció de les parts elèctriques

En aquesta apartat es fa una petita pinzellada sobre els components elèctrics que hi ha en el pont giratori, ja que el mecanisme que fa girar el conjunt del pont està accionat per un motor elèctric.

La instal·lació elèctrica del pont giratori que es troba actualment és força més simple del que era antigament.

En l'actualitat hi ha una caixa de contactes a la paret del fossar que envia un cable amb el corrent elèctric fins a una estructura metàl·lica d'uns 5 metres de diàmetre que dona la volta a l'eix del pont. El cable va unit al voltant d'aquesta estructura i té dos endolls en els que es pot connectar un altre cable que va cap a la cabina a través de la estructura. El principal problema d'aquest sistema és que el pont no pot donar una volta sencera, ja que sinó el cablejat s'enredaria al voltant del eix. Per això hi ha els dos endolls, un a cada banda, per anar connectant a un costat i a l'altre manualment per no enredar el cablejat.

Antigament el cablejat elèctric anava connectat directament a l'eix del pont. Les tres fases es connectaven cadascuna d'elles a unes platines de coure circular que donaven tota la volta a l'eix. En el pont hi havia unes altres tres platines que estaven en contacte amb les de l'eix en tot moment. Les tres platines del pont anaven connectades amb un cablejat a través de la estructura del pont fins a la cabina. Aquest sistema permetia que el pont donés tantes voltes com volgués sense enredar el cablejat. Però pel tema de seguretat hi havia un problema, ja que estem parlant d'uns contactors per on i circula una alta intensitat de corrent trifàsica que estaven en contacte amb una estructura totalment metàl·lica.

Un cop s'entra a la cabina el primer component elèctric que es troba és un magnetotèrmic encarregat de protegir el motor. Aquest és l'encarregat de tallar la llum en el cas de que hi hagi una pujada de tensió que pugui malmetre el motor elèctric o causar ferides a l'operari o simplement permet tallar el corrent manualment per a desconnectar-lo.

Aquest magnetotèrmic alimenta el comandament de control de la cabina que disposa de varies posicions. Aquestes diferents posicions fan que les diferents platines que hi ha en el seu interior facin diferents contactes permetent canviar la velocitat i el sentit de gir del pont.

Antigament aquests contactes feien que el motor revés una sola fase o que s'anés incrementant el nombre de fases, augmentant així el rendiment del motor i per tant transmetent una major velocitat i parell motor.

En l'actualitat però, després d'algunes remodelacions, aquest comandament únicament serveix per escollir el sentit de gir del pont, però la potencia sempre és la mateixa. Això fa que la tracció entre la roda i la via disminueixi a causa de l'alta acceleració que pateix al arrancar.

Imatge 21 Comandament del pont giratori

Aquest comandament envia el corrent a una caixa de contactors que alimenta els anells del motor i al propi motor.

Aquests contactors com ja hem comentat alimenten directament el motor i els seus components. Tota la informació sobre el motor elèctric asíncron de rotor bobinat o anells fregants apareix en el següent punt del projecte per completar la informació sobre aquest.

Finalment tenim un quadre de resistències connectat al motor elèctric. La funció d'aquest quadre és la de mantenir un potencial i corrent continuo en els tres anells fregants que fan girar el eix motor. També té la funció d'absorbir el corrent que generarà el motor a l'hora de frenar el pont. Quan es para el pont aquest encara té una inèrcia degut al seu pes elevat. Aquest moviment fa que el motor rebi un parell i amb aquest generi un corrent elèctric. El que fan les resistències és absorbir aquest corrent per a que el magnetotèrmic no salti en el moment de la frenada.

Imatge 22 Quadre de contactors i resistències respectivament

Per a més informació cal comentar que aquest quadre i les resistències que hi ha en el seu interior han estat elaborades en la seva totalitat manualment per un voluntari del museu.

5.3.1. Motor asíncron de rotor bobinat i anells fregants

El motor elèctric encarregat de donar el parell motor i la velocitat angular necessàries per a moure la transmissió i amb ella el pont giratori és un motor elèctric asíncron de rotor bobinat i anells lliscants.

El motor conté una placa a la part superior, que es pot veure en la imatge 23, de la que hem pogut extreure algunes dades tècniques. Aquestes dades es resumeixen a la taula 1.

Imatge 23 Motor del pont giratori i placa amb les dades tècniques del motor

Fabricant	La Electricidad, Sabadell
Velocitat angular (rpm)	6526
	725
Intensitat (A)	32
Tensió (V)	210
Protecció (IP)	12
Freqüència (Hz)	50
Potència (cv)	12

Taula 1 Dades tècniques del motor elèctric

Els motors asíncrons són màquines rotatives de flux variable i sense col·lector. El camp inductor està generat per corrent altern. Generalment, l'inductor està en l'estator i l'induït al rotor.

Són motors que es caracteritzen perquè són mecànicament senzills de construir, la qual cosa els fa molt robustos i senzills, tot just requereixen manteniment, són barats i, en el cas de motors trifàsics, no necessiten arrencadors, arrenquen per si sols al connectar-la xarxa trifàsica de alimentació, i no es veuen sotmesos a vibracions per efecte de la transformació d'energia elèctrica en mecànica, ja que la potència instantània absorbida per una càrrega trifàsica és constati i igual a la potència activa. Aquestes són les principals avantatges que fan que sigui àmpliament utilitzat en la indústria.

Com a inconvenients, podem esmentar que són motors que tenen baixos parells d'arrencada, que presenten una zona inestable de funcionament i que el control de velocitat en rangs amplis és complex.

El motor asíncron funciona segons el principi d'inducció mútua de Faraday. En aplicar corrent altern trifàsic a les bobines inductores, es produeix un camp magnètic giratori, conegut com a camp rotant, la freqüència serà igual a la del corrent altern amb la qual alimenta el motor. Aquest camp al girar al voltant del rotor en estat de repòs, induirà corrents en el mateix que produiran al seu torn un camp magnètic que seguirà el moviment del camp estatòric, produint un parell motor que fa que el rotor giri.

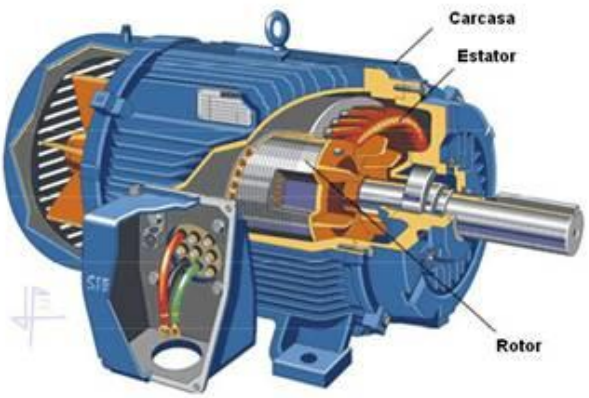
Elèctricament parlant, es pot definir al motor asíncron com un transformador elèctric en el que els bobinats de l'estator representen el circuit primari, i els debanats del rotor equivalen al secundari d'un transformador en curtcircuit.

Per invertir el sentit de gir d'un motor asíncron trifàsic, només cal invertir el sentit de gir del camp magnètic giratori, per la qual cosa cal intercanviar dues fases qualsevol entre elles.

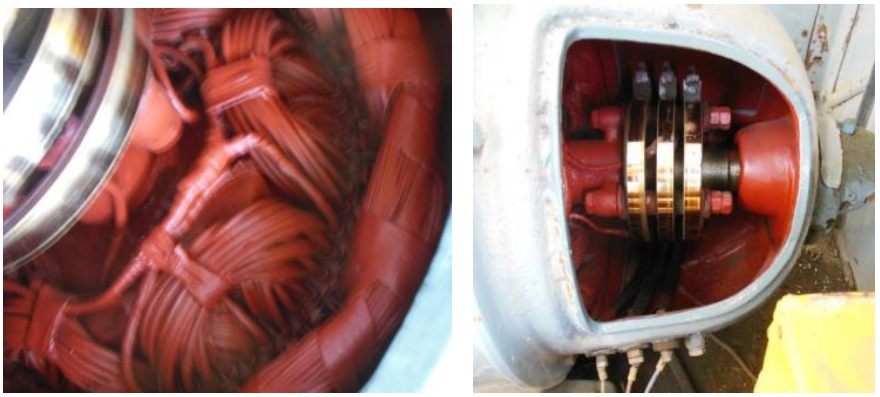
5.3.2. Parts del motor asíncron

- Estator: debanat trifàsic distribuït en ranures de 120 °. Té tres debanats en l'estator. Aquests debanats estan desfasats $\frac{2\pi}{3P}$ sent "p" el nombre de parells de pols de la màquina.

- Rotor: en aquest trobarem dos tipus bobinatge i Gàbia d'esquirol. En el cas del motor del museu és un rotor Bobinat: el debanat dels rotors són similars a l'estator amb el què està associat. El nombre de fases del rotor no té perquè ser el mateix que el de l'estator, el que si ha de ser igual és el nombre de pols. Els debanats del rotor estan connectats a anells lliscants muntats sobre el mateix eix del motor.



Imatge 24 Esquema d'un motor elèctric asíncron



Imatge 25 Esquerra: estator del motor. Dreta: Rotor amb anells fregants del motor

5.4. Principi de funcionament

El funcionament del pont giratori, com s'ha mencionat anteriorment, es porta a terme mitjançant un motor elèctric que transmet el moviment a un sistema d'engranatges que finalment, transmeten aquest moviment a una roda que es desplaça pel carril circular del perímetre del fossat.

Però aquest tipus de ponts estaven pensats per a poder ser accionats manualment, així que havien d'aconseguir que el pesat mecanisme es pogués moure de la manera més fàcil possible i sense necessitar grans forces. Aquí és on entra en joc la llei de la palanca.

En aquest cas en concret, el que interessa és el moment de la palanca creat al aplicar una força en un punt allunyat del centre de rotació, ja que la força que el provoca és directament proporcional a la distància del punt d'aplicació de la força a l'eix de rotació.

Aprofitant aquesta llei física, al reposar tota la estructura en un sol punt que, al ser simètric, coincideix amb el centre de masses, qualsevol força que s'apliqui a una certa distància d'aquest punt es multiplicarà per la distància que els separa, i d'aquesta manera, si el mecanisme es feia girar pels extrems del pont, amb pocs operaris es podia fer girar amb relativa facilitat.

Com es pot observar en els plànols originals del pont, abans que es motoritzés, als extrems dels braços hi havia dues barres d'uns 2 metres de llargada que servien tan per a fixar el pont un cop estava encarat a les vies corresponents som per a fer-lo girar, augmentant encara més la distància respecte l'eix central. Després, un cop motoritzat, el pont es va modificar lleugerament i aquestes barres es van escurçar servint només per a fixar la posició del pont. Però tot i la motorització del pont, es va seguir aprofitant aquest fenomen del parell per a realitzar el moviment, de tal manera que la cabina anava unida al pont per un eix, d'aquesta manera la cabina estava en contacte amb el rail i no provocava que els extrems del pont toquessin, i per tan es requeria menys potència per a fer-lo girar.

6. Justificació del model presentat

6.1. Primer contacte amb les estructures del projecte

Quan es va entrar al Museu del Ferrocarril de Catalunya per primer cop, el primer cop de vista sobre les instal·lacions que s'han estudiat en aquest projecte és que estaven molt ben conservades. Però un cop es va realitzar una inspecció més exhaustiva de les estructures es va poder observar clarament que la majoria dels elements metàl·lics s'havien rovellat degut als efectes que provoca el pas del temps i sobretot la proximitat geogràfica al mar.

El primer objectiu va ser començar el projecte per el pont giratori, ja que aquest és el que més destacat del projecte i el que més components té.

Al baixar al fossat on es troba aquest mecanisme, es va tenir una bona sensació al veure que feia poc s'havia realitzat un manteniment als principals elements que el formen, com ara les rodes, engreixadors i els coixinets. Aquests havien estat extrets, netejats i engreixats per facilitar la rodadura.

El següent pas va ser comprendre el funcionament del pont giratori i dels seus components. En aquest punt es van trobar els punts més crítics de l'estat actual del pont. El pont no girava del tot bé ja que la roda tractora lliscava en certs punts i no hi havia gens de tracció, cosa que provocava que el pont quedés totalment encallat.

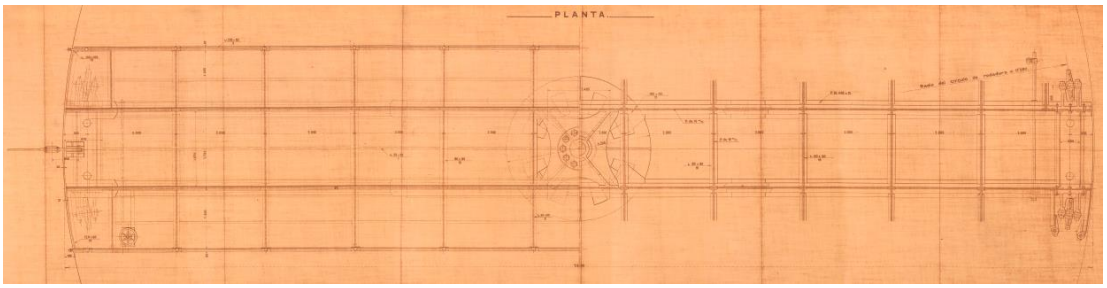
Mica en mica es van anar solucionant alguns d'aquests problemes, tal i com s'explica en el punt de patrimoni industrial.

Pel que fa a la resta d'instal·lacions, es va constatar que necessiten algun manteniment o restauració ja que des de la reutilització de l'espai com a museu del ferrocarril, no s'hi ha desenvolupat cap projecte important. Si que s'ha de dir que just al acabament d'aquest projecte ha començat la restauració de la Rotonda.

6.2. Recerca documental

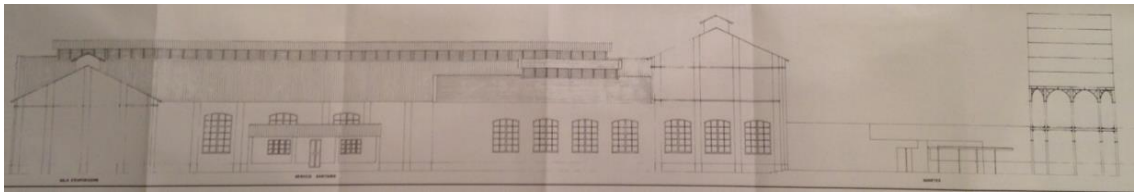
En aquest projecte s'ha dut a terme una gran investigació històrica sobre els ponts giratoris, les cotxeres i els dipòsits, ja que es tracta d'un projecte d'arqueologia industrial. Per aquest motiu, per a obtenir més informació abans de començar amb la presa sobre el terreny de les mesures de les diferents instal·lacions, es va decidir de realitzar una recerca d'informació històrica per conèixer millor les estructures que s'havien d'analitzar, per tal de veure si en aquesta informació se'n podia extreure alguna informació que ens facilités la tasca, sobretot pel que fa a la informació tècnica d'aquests elements i els seus components.

El primer lloc on es va buscar informació va ser en el propi Museu del Ferrocarril, ja que aquest disposa d'un arxiu històric. Aquí es va fer evident una cosa sobre la història ferroviària, i es que hi ha moltíssima informació sobre les diferents màquines, vagons i fins i tot de les rutes i estacions de tren, però no hi ha pràcticament cap informació sobre les instal·lacions ferroviàries. Finalment el museu ens va aconseguir alguns arxius i documents molt importants, com ara els plànols d'un pont giratori de 23 metres de la companyia ferroviària MZA molt semblant al que hi ha al museu. Aquests plànols antics els podem trobar en l'Annex nº 1 d'aquest projecte. Però com que el de Vilanova i la Geltrú te algunes modificacions respecte el representat en els plànols, es va decidir agafar totes les mesures sobre el terreny.



Imatge 26 Plànol en planta d'un pont giratori de 23 m de la companyia MZA

Per aconseguir obtenir més documentació sobre el museu i les seves instal·lacions, es va decidir en anar a fer una recerca a l'Arxiu comarcal del Garraf, ubicat al barri de la Geltrú, a Vilanova i la Geltrú. Allà es va trobar un projecte sobre una antiga remodelació de les instal·lacions, del que en vàrem fer copies d'alguns dels plànols per tenir algunes referencies dimensionals, en aquest cas dels dipòsits d'aigua. Aquests plànols també apareixen en l'Annex nº1 d'aquest projecte.



Imatge 27 Plànols extrets de l'Arxiu Comarcal del Garraf

Finalment també s'ha anat realitzant paral·lelament una recerca històrica per internet i en publicacions i revistes especialitzades en aquest camp.

6.3. Entrevista

Per a poder obtenir més informació sobre el funcionament i la utilització diària del pont giratori, es va entrevistar al senyor Pedro Jiménez Parra, el qual va explicar anècdotes i informacions sobre el seu pas pel dipòsit de locomotores durant els anys que va estar treballant en els tallers de la RENFE de Vilanova i la Geltrú, actual Museu del Ferrocarril de Catalunya. La entrevista va ser gravada amb una gravadora digital per a poder transcriure posteriorment les dades que consideràvem interessants per el desenvolupament del projecte.

Pedro Jiménez Parra, va treballar als tallers de RENFE de Vilanova i la Geltrú des dels 18 anys fins als 33. Treballava unes 12 hores diàries, algunes vegades va arribar a treballar 24 hores seguides. Les condicions de treball eren molt dures, ja que treballaven a altes temperatures a l'estiu i a molt baixes a l'hivern, sobretot si et tocava fer reparacions a l'aire lliure o fent feines de reparació i manteniment en les naus, ja que només disposaven d'una única estufa.

Una de les coses que més va sobtar sobre l'explicació del pont giratori va ser que una única persona era l'encarregada de fer girar el pont. Aquesta persona vivia en una caseta que estava ubicada just al costat del pont. Una curiositat que va explicar en Pedro és que quan aquest encarregat del pont no tenia feina, i algun dels treballadors li demanava, anava darrere de les cotxeres i tallava els cabells als seus companys.

Com anècdota, en Pedro va explicar que durant els anys que ell va treballar, van succeir molts talls de llum a tota Vilanova i la Geltrú. Això suposava un greu inconvenient donat que era inadmissible parar les tasques que es duien a terme als tallers per culpa d'aquests talls de llum. Per aquest motiu, es van enginyar un sistema per a poder tenir corrent. El sistema consistia en l'ús d'una màquina de vapor situada al costat de la rotonda convenientment fixada per impedir el seu moviment. En una fossa ubicada a sota el tren van posar una roda, amb un eix connectat a un generador, que estava en contacte amb una de les rodes de la locomotora, i posant en marxa la locomotora generaven l'electricitat necessària per realitzar les tasques diàries.

Per últim també va explicar que a la rotonda s'hi realitzaven les reparacions diàries i més senzilles. El maquinista arribava i explicava als mecànics els problemes que havia vist o sentit ell, tal i com s'explica en la contextualització històrica del projecte.

6.4. Visites

Al llarg del projecte s'han realitzat dues visites a diferents instal·lacions ferroviàries per comprendre millor el funcionament d'aquestes instal·lacions i seguir recopilant la màxima informació possible sobre les infraestructures ferroviàries.

6.4.1. Lleida

Aprofitant que un cop a l'any es realitza EXPOTREN, saló de l'oci ferroviari, i s'obren les portes de l'ARMF, Associació de Reconstrucció de Material Ferroviari, ubicada a l'estació del Pla de la Vilanoveta, a Lleida, es va fer una visita a aquestes instal·lacions. Tenien una gran quantitat de locomotores extraordinàries en plena restauració, però en quan a les instal·lacions no se'n va poder extreure massa informació.

Tot i això, una de les coses per les que es va anar a Lleida va ser per veure un dels emblemes més importants del Museu del Ferrocarril de Catalunya, la Mataró, una reproducció del primer tren que va realitzar el trajecte Barcelona – Mataró, que va ser construïda l'any 1948 als tallers de la Maquinista Terrestre i Marítima de Barcelona.

6.4.2. Móra la Nova

Buscant més informació es va trobar que al Centre d'Interpretació del Ferrocarril de Móra la Nova, administrat per APPFI - Amics del Ferrocarril de Móra la Nova, havien transportat i restaurat, feia relativament poc temps, un pont giratori de 23 metres de diàmetre provinent de Granada. Després de parlar amb el president, Jordi Sasplugas i Deu, van accedir a que s'hi fes una visita.

Imatge 28 Edifici Principal del Centre d'Interpretació del Ferrocarril de Móra la Nova

El president del centre, Jordi Sasplugas, ha adquirit molts coneixements sobre plaques, ponts giratoris i ponts-plaques, ja que ha estat anys fen recerca del pont giratori adequat per a transportar al centre. Va proporcionar moltíssima informació tècnica sobre aquests elements que està reflexada en el desenvolupament d'aquest projecte, tan en document escrit com en les pròpies instal·lacions del museu. També es van posar en comú els problemes detectats en el pont giratori de Vilanova, i veient el pont de Móra, es van poder copsar i determinar els possibles problemes que el de Vilanova podria tenir i que impedien el seu correcte funcionament.

Imatge 29 Panoràmica del pont giratori de Móra la Nova

El pont giratori de Móra la Nova està en perfectes condicions, ja que ha estat totalment restaurat fa relativament poc temps i s'hi realitza un manteniment constant. Es va poder observar que, a diferència del de Vilanova, les seves rodes no reposen sobre la via quan el pont esta en equilibri, i d'aquesta manera, tota l'estructura reposa sobre l'eix.

Quan aquesta no està en funcionament s'accionen manualment uns frens que recolzen dues platines sobre la via per sostenir el pes de l'estructura i que així aquesta no pateixi les flexions del seu propi pes i les de les locomotores al entrar-hi.

Imatge 30 Bloqueig del pont giratori de Móra la Nova

El pont giratori de Móra la Nova funciona extraordinàriament bé i tots els components estan perfectament ensamblats i lubricats. Una prova del seu bon funcionament és que dues persones espitjant les bigues de l'estructura del pont giratori van ser capaces de moure'l, i aquest, amb la inèrcia, va donar tota una volta abans l'aturar-se.

En Jordi va comentar que això es possible bàsicament gràcies a que la estructura només es recolza en un punt central, i per tan, la força que s'aplica a un dels seus extrems, augmenta proporcionalment a la distància a la que s'aplica respecte del punt de suport.

Actualment estan restaurant el sistema d'accionament del pont, que també estava motoritzat. En aquest cas però no disposava de cabina, sinó que simplement es tracta d'una estructura unida a un dels extrems del pont que sostenia el sistema motriu.

Aquest pont giratori no és de MZA, sinó que és de Norte, una altre companyia de la època, però gracies a aquesta visita es van comprendre quins són els principis fonamentals de funcionament dels ponts giratoris.

6.5. Patrimoni industrial.

Durant el desenvolupament del projecte es va detectar el principal problema que presentava el pont giratori, la seva dificultat a l'hora de girar. En aquell moment es va decidir intentar fer alguna millora per ajudar a que el pont funcionés millor, aplicant per una banda els nostres coneixements en mecànica, i per altre, la experiència de la visita al pont de Móra la Nova.

Per intentar esbrinar el problema principal del seu mal funcionament es va parlar amb gent que havia treballat en el pont giratori, les seves explicacions eren que la via no estava ben anivellada i per això hi havia punts de la via en el que la roda motriu no traccionava bé.

El problema real que tenia el pont giratori es va detectar arran de la visita al Museu de Móra la Nova. Allà es va comprovar que tot el pes del pont reposa sobre l'eix central. Les quatre rodes del pont de Móra estan alçades uns centímetres de la via, mentre que les de Vilanova reposen totalment sobre aquesta.

Imatge 31 Comparativa de la separació entre la roda del pont i la via circular del fossat

Això representava que, mentre el pont de Móra pivota sobre l'eix central, el pont de Vilanova reposava gran part del seu pes o la seva totalitat sobre les rodes laterals. Aquestes rodes únicament haurien de tocar sobre el perfil de la via en el cas de carregar una locomotora molt pesada o que no estigués ben centrada a la estructura. Quan aquestes rodes suporten parcialment el pes de l'estructura significa que la llei de la palanca no intervé quan s'aplica la força per a moure la estructura, i per tan, no es capaç de girar.

Si el pont es recolzés únicament per l'eix central, en un pont de 23 metres de diàmetre la força estaria aplicada a uns 11 metres del punt de suport. Això significa que la força exercida per la roda tractora per a vèncer el fregament en aquest punt es multiplicaria per 11, contribuint així a que sigui més fàcil desplaçar el pont.

En canvi, quan el pont recolza el pes sobre les rodes, la llei de la palanca no existeix, ja que les rodes que sustenten el pont i la tractora es troben exactament en la mateixa trajectòria, i per tan, la força aplicada és la força directa que intenta moure el pont.

Un cop detectat el problemes, es va determinar que hi havia dues possibilitats per a millorar el funcionament del pont giratori: la primera era la de utilitzar els turmells que es troben al voltant de l'eix central per a elevar tota la estructura mitjançant les femelles de la cúpula superior, fent que l'estructura es recolzés sobre l'eix central i no sobre les rodes, i la segona era la de intentar alçar d'alguna manera les rodes per a que no fessin contacte amb el rail.

Es van analitzar les dues possibilitats veient els pros i els contres que tenien cadascuna de les opcions.

	Pros	Contres
Opció 1	• Poder netejar, engreixar i veure l'estat de l'eix central.	• Necessitat de maquinaria pesada per maniobrar i aixecar tota l'estructura, com ara una grua de grans dimensions. • Tenir durant un temps inoperatiu el pont i les instal·lacions que l'envolten degut a la restauració que es faria aprofitant el seu aixecament.
Opció 2	• El treball es pot realitzar en un sol dia. • Totalment gratuït. Només caldria sostenir una part del pes durant l'extracció de cada roda mitjançant un gat hidràulic.	

Taula 2 Comparativa de les dues opcions per a la millora del pont

Després d'analitzar les dues opcions es va decidir optar per la segona, ja que era la més senzilla, econòmica i ràpida. A part es va sospitar que a l'hora de realitzar l'últim manteniment de les rodes i coixinets, aquests s'havien apretat massa amb unes falques incorporades al mecanisme i bloquejaven el gir de les rodes.

Imatge 32 Els coixinets, el calçador i les roda en el moment en el que s'estava modificant la posició del calçador

Al extreure les primeres rodes ja es va veure que les falques estaven apretant els coixinets al màxim i fins i tot a alguna roda li costava girar.

La roda que està connectada amb la cabina va ser la més difícil de treure degut a la corrosió dels cargols i a la dificultat per accedir-hi, ja que la cabina ho obstaculitzava.

Per això es va tenir que tallar una de les xapes de la part superior del pont per fer-la més accessible.

Imatge 33 Tall de la xapa per manipular el eix de la roda

Per a poder extreure els cargols es van haver de picar amb un martell per treure gran part de la pintura que els cobria i es van tenir de escalfar amb un bufador per a que es dilatessin. Finalment es van haver d'afluixar amb una palanca connectada a la clau anglesa per exercir una major força en el eix.

Un cop es van haver afluixat totes les falques i es van engreixar de nou tots els eixos i omplert els engreixadors es va comprovar que el funcionament del pont era molt més fluid i la tracció havia millorat força.

El problema que es va detectar posteriorment és que els eixos vibraven molt quan es feia girar el pont, ja que les falques estaven massa fluixes.

Per aquest motiu, per acabar la posada a punt del pont s'aconsella extreure el pont del fossat per poder examinar l'eix i engreixar-lo bé, apretar les femelles de la cúpula per intentar sostenir el màxim de pes sobre l'eix central i un cop elevada la estructura tornar a apretar les falques per a que els eixos no puguin vibrar.

7. Eines per al modelat, animació i simulació

En aquest apartat es detallen les diferents eines utilitzades per al modelat, renderitzat, animació i simulació de les diferents instal·lacions i components estudiats.

Aquestes eines es divideixen en dos grans grups: els instruments de mesura i les eines CAD.

7.1. Instruments de mesura

En aquest apartat es detallen tots els instruments de mesura que s'han utilitzat per realitzar les diferents mesures experimentals.

Els instruments que s'han utilitzat s'han classificat segons les diferents magnituds físiques per els que han estat usats:

- Magnituds dimensionals: aquests aparells s'han utilitzat per mesurar tots els components i objectes que posteriorment hem passat a 2D i 3D en els programes CAD.

    - Mesurador làser

    El làser s'ha utilitzat principalment per realitzar mesures en cotes on no s'hi podia arribar amb les cintes mètriques o que estaven a alçades on no s'hi podia arribar amb l'ajuda d'una escala. L'aparell utilitzat ha estat el GLM-50 de Bosch.

Imatge 34 Mesurador làser Bosch GLM-50

    - Cinta mètrica de 30 metres

    Aquesta cinta mètrica s'ha utilitzat bàsicament per agafar les mesures del pont giratori que no es podien agafar amb la cinta de 3m, com per exemple el diàmetre total del pont o la distancia entre alguns elements.

Imatge 35 Cinta mètrica de 30 metres

- Cinta mètrica de 3 metres

Amb aquesta cinta mètrica s'han agafat la majoria de les mesures que s'han recaptat al llarg de tot el projecte, gràcies a la comoditat d'aquesta eina.

Imatge 36 Cinta mètrica de 3 metres

- Peu de rei

S'ha utilitzat un peu de rei mecànic metàl·lic. Amb el peu de rei s'han mesurat sobretot diàmetres de claus, reblons, tubs, forats, profunditats, etc. i també totes aquelles mesures petites o que necessitàvem un valor amb una major exactitud per la importància d'aquesta en relació amb altres.

Imatge 37 Peu de rei mecànic

- Magnituds elèctriques: aquest aparell s'ha utilitzat per a poder mesurar els diferents paràmetres elèctrics del circuit que alimenta el motor del pont giratori i comprovar la intensitat de corrent que aquest absorbeix.

- Amperímetre i voltímetre

La principal dada que s'ha extret amb aquest instrument és el consum elèctric que del motor elèctric de la cabina. S'han mesurat tant la intensitat que entra en el motor com la que alimenta els anells fregants. Per mesurar la intensitat de corrent elèctric que flueix per un cable únicament s'ha de passar per l'interior de la pinça. La mesura ens vindrà donada en Ampers (A).

Imatge 38 Amperímetre i voltímetre

- Magnituds cinemàtiques: aquest aparell s'ha utilitzat per a mesurar la cinemàtica del sistema motriu i poder-la comparar posteriorment amb els càlculs teòrics.

  - Tacòmetre

    Amb aquest instrument hem mesurat el moviment angular dels eixos del sistema motriu que transmet el moviment del motor a la roda motriu que fa girar el pont i que giren a altes revolucions.

    El tacòmetre té dues opcions de mesura. La primera és posar en contacte un eix, que té a la base. L'altre manera, que és la que hem fet servir, és a partir d'una llum estroboscòpica que emet el tacòmetre. Primer de tot, en un punt de l'eix, s'hi col·loca un paper reflectant. Al incidir la llum estroboscòpica en el paper reflectant cada cop que l'eix fa una volta, el tacòmetre llegeix el numero de voltes que dona l'eix en un període de temps.

    El tacòmetre dona els resultats obtinguts en revolucions per minut (rpm).

Imatge 39 Tacòmetre

7.2. Eines CAD

Aquestes eines s'han utilitzat per a realitzar la recreació virtual de tots els elements estudiats. En total se n'han utilitzat tres: el Solid Edge ST2, el Catia V5R20 i el Luxion Keyshot 2.

7.2.1. El Sòlid Edge ST2

EL Sòlid Edge es un programa parametritzat de disseny bàsic en 2D i 3D assistit per ordinador. Permet el modelat de peces de diferents materials, la simulació de processos de fabricació i representació tècnica en 2D.

Aquest programa l'hem utilitzat per a representar els components i peces mesurades experimentalment per a poder realitzar els posteriors models tridimensionals.

7.2.2. El Catia V5R20

Per a realitzar la recreació virtual del pont giratori s'ha utilitzat un programa avançat de disseny i anàlisi tridimensional, el Catia V5R20, de l'empresa Dassault Systèmes. El programa està creat per proporcionar suport des de la concepció del disseny fins a la producció i l'anàlisi de productes.

És un software reconegut internacionalment, i empreses com Airbus o Porsche l'utilitzen per a dissenyar, modelar i simular els seus productes.

Aquest programa no és només útil per al disseny de peces d'enginyeria, si no que, donat el seu ampli ventall de mòduls, podem realitzar anàlisis complexos de comportaments de les peces, dissenyar processos de fabricació i fer simulacions abans de posar en pràctica un projecte.

7.2.2.1. Funcionament de Catia V5 R20

El Catia V5 té una gran varietat de mòduls que són utilitzats per industries molt variades com l'automoció, aviació, maquinaria industrial, electrònica, etc.

Un dels grans avantatges que té Catia, a diferencia de la majoria de programes similars, és que qualsevol usuari o empresa pot programar nous codis per adequar aquest software a les seves necessitats.

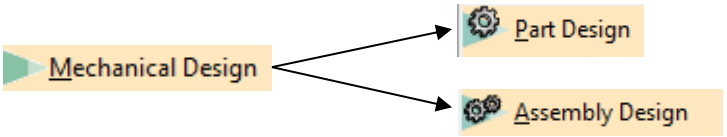
Un altre avantatge seria l'entorn amb el que es treballa en aquest programa, ja que permet treballar en pla des de qualsevol vista (alçada, planta o perfil) o treballar en les tres coordenades alhora podent visualitzar una peça o un conjunt de peces en tres dimensions.

7.2.2.2. Mòduls de Catia utilitzats en el projecte

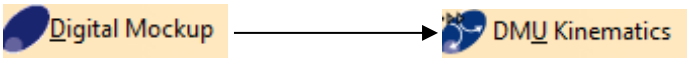
El primer mòdul utilitzat ha estat el ***Part Design***. Aquest mòdul permet crear les peces tridimensionals. Primer es realitza una geometria plana en el pla desitjat i posteriorment se li dona volum. La suma o la resta d'aquests volums entre si donen la geometria final de les peces.

Després aquestes peces s'han d'unir entre elles per obtenir els conjunts. Per això s'utilitza l'***Assembly Design***, el segon mòdul utilitzat. La seva funció és la de unir diferents part design a partir de restriccions geomètriques, com per exemple: superfícies o línies en contacte o eixos concèntrics entre si entre d'altres.

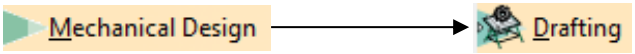
Aquests dos primers mòduls són mòduls del grup ***Mechanical Design***, on apareixen tots els mòduls necessaris per el modelat de sòlids.



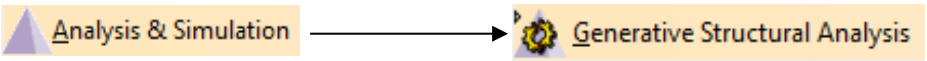
Per altre banda, també hem utilitzat el mòdul ***DMU Kinematics*** , que està al grup ***Digital Mockup*** . Aquest mòdul serveix per donar moviment als mecanismes prèviament modelats.



Per a la realització dels plànols s'ha utilitzat el mòdul ***Drafting***, que es troba dins del grup ***Mechanical Design***. Aquest mòdul permet extreure plànols en 2D a partir dels elements modelats en 3D. Se'n poden obtenir les vistes principal, seccions i talls així com les seves cotes.



Finalment també s'ha utilitzat el mòdul d'anàlisi i simulació ***Generative Structural Analisis***. En aquest mòdul es poden fer simulacions d'esforços, deformacions i tensions, entre d'altres, dels models en 3D. Un cop definides les restriccions, forces, condicions de contorn, etc, el programa fa un seguit de càlculs que es poden observar posteriorment tan per escrit com gràficament.



7.2.3. El Luxion Keyshot 2

Aquest programa serveix per a realitzar renders i animacions de models en 3D. Se'n poden obtenir imatges amb les textures i materials dels elements renderitzats així com la il·luminació i altres paràmetres i col·locar-los en diferents espais per a veure com serien a la realitat.

L'hem utilitzat per a obtenir els renders dels diferents components modelats i veure com són realment.

8. Desenvolupament del model tridimensional i de l'animació dels conjunts

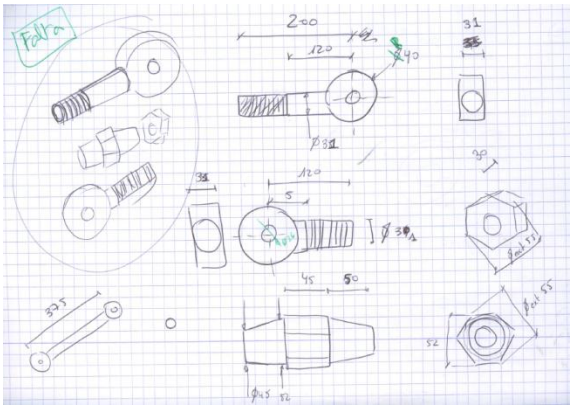
Un cop analitzades les diferents parts del pont giratori, de la Rotonda i dels dipòsits d'aigua, s'ha procedit a modelar aquest mecanisme en 3 dimensions mitjançant el programa informàtic CATIA V5 R20.

Per a poder realitzar aquest modelat, prèviament s'han pres les mesures de tots els elements de manera experimental, ja que no es disposava de plànols detallats.

8.1. Obtenció de les mesures dimensionals

Un dels aspectes més destacats del projecte ha estat la presa de mesures de les diferents instal·lacions estudiades i els seus components.

Primer de tot es van realitzar de forma manual uns croquis a mà alçada de tots els elements que posteriorment van servir per a poder anotar totes les cotes que es necessitarien per a realitzar els models en 3D.

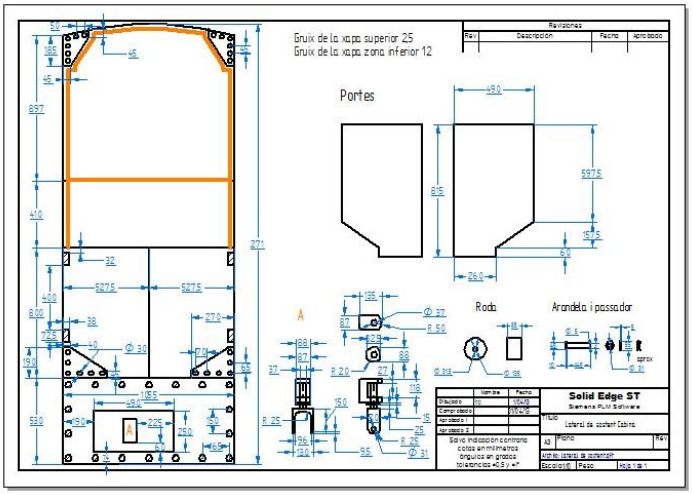


Imatge 40 Mostra de croquis a ma alçada realitzat al Museu del Ferrocarril

Alguns dels croquis dibuixats en el museu han estat escanejats i recopilats en el Annex nº X al final d'aquest projecte.

Per ajudar a comprendre els croquis realitzats a mà alçada o veure alguns dels detalls que podrien no quedar del tot clars en les representacions, s'han realitzat fotografies a tots els elements acotats. En total s'han realitzat més de 375 fotografies. Algunes d'aquestes han estat usades per il·lustrar aquest projecte.

Paral·lelament a aquests croquis es va anar passant a net aquestes cotes en plànols 2D, amb un programa de disseny gràfic, el Solid Edge ST2, en lamines A3. Amb això el que s'aconseguia era veure les peces amb una major claredat. Aquest procés també servia per a veure si en la presa de mesures s'havia passat alguna cota per alt, així al proper dia que es tornés al museu a prendre més mesures, aquestes serien les primeres.



Imatge 41 Mostra Plànol 2D Solid Edge ST2

Tots els models en 2D realitzats en Solid Edge ST2 es troben en el Annex nº 3 ,al final d'aquest projecte.

Un cop obtingudes les mesures, es va procedir a realitzar el modelat en 3D, mitjançant, com ja hem mencionat el programa CATIA V5R20.

8.2. Modelat dels diferents components

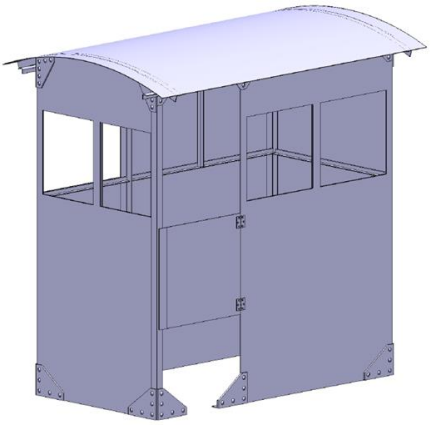
Els diferents components del pont giratori es van fer amb el mòdul de sòlids com a Part Design. Aquests components es van fer fet un per un i després es van ensamblar per a formar els diferents mecanismes i estructures que conformen el pont. Finalment es van ensamblar tots els conjunts per a obtenir un modelat en 3 dimensions de tot el pont sencer i la cabina on hi ha el sistema motriu.

8.2.1. La cabina

El modelat de la cabina es va realitzar en 5 etapes diferents. En cada etapa es va desenvolupar una part d'aquesta i finalment es va ensamblar per a obtenir la cabina sencera. Els passos que es van seguir són:

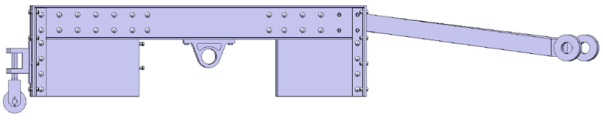
- Estructura superior

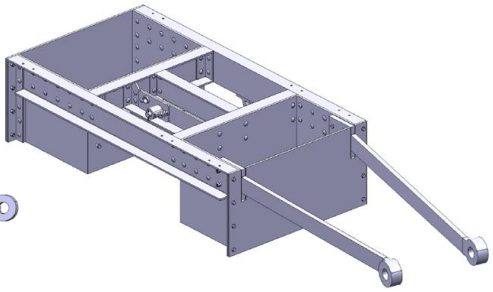
Primer de tot es va definir la estructura superior. Aquesta esta formada per un seguit de perfils units amb reblons i els tancaments que defineixen l'espai interior de la cabina: parets, portes i finestres.



- Estructura inferior

La estructura inferior forma la base on es recolza la estructura superior. Aquesta esta formada per dos grans perfils en U i dues grans caixes que contenen uns pesos per a que la roda faci més tracció. Units a aquests perfils també hi ha dos braços que serveixen per a unir la cabina amb el pont.

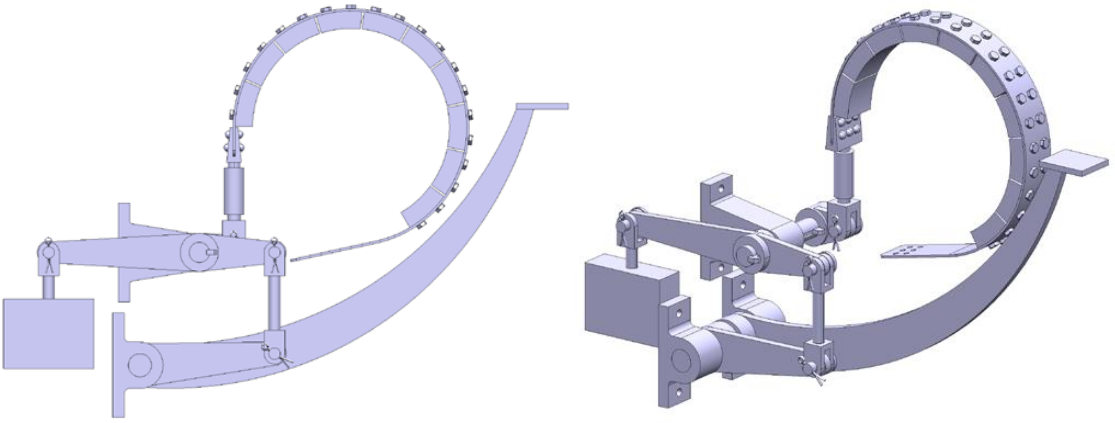




- Sistema de fre

El sistema de fre està format per un pedal i per un mecanisme d'eixos i palanques que transmeten el moviment del fre a una cinta amb uns tacs de fusta que pressionen una roda unida al sistema motriu.

Aquest sistema disposa d'un pes que fa que torni a la posició inicial un cop es deixa de pitjar el pedal.

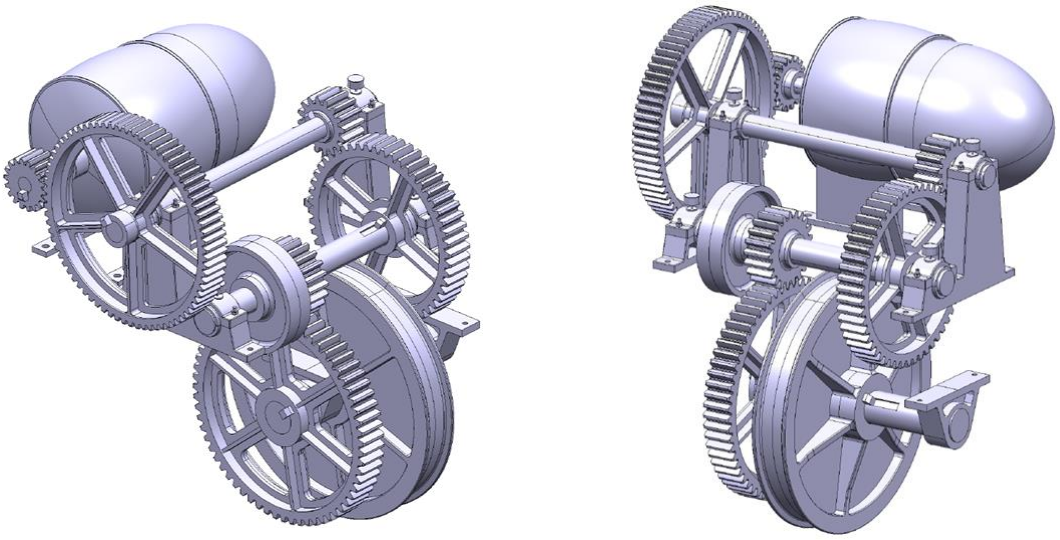


- Sistema motriu

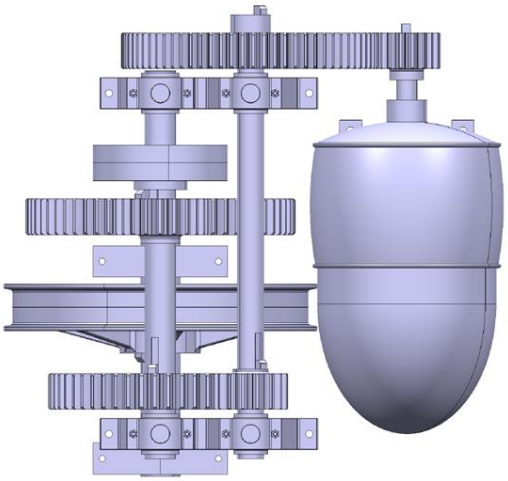
El sistema motriu està format per un motor i un sistema d'engranatges que transmeten el moviment provinent del motor a una roda que llisca per sobre del rail circular del fossat.

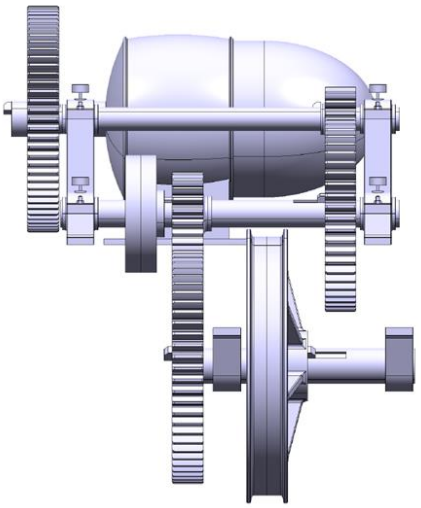
Aquest sistema d'engranatges proporciona una relació de transmissió de reducció, és a dir, alenteixen la velocitat angular proporcionada pel motor.

Perspectives generals del sistema motriu:



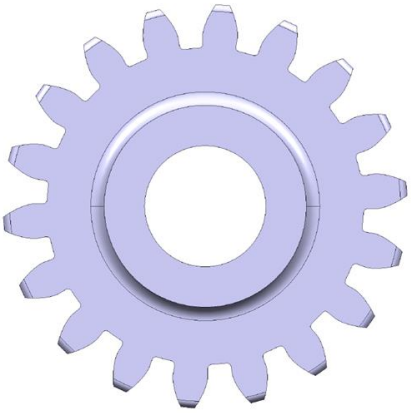
Vistes principals del sistema motriu (superior i lateral):

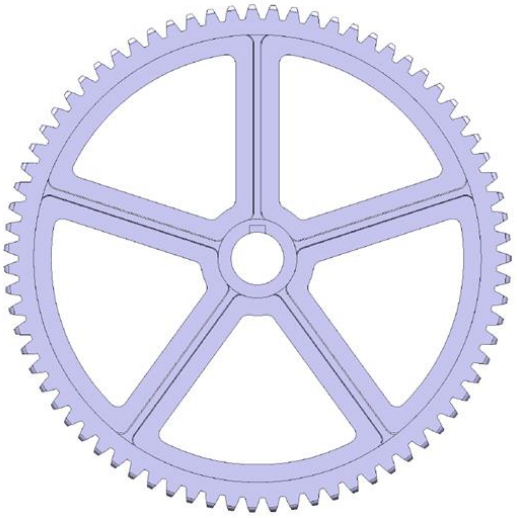


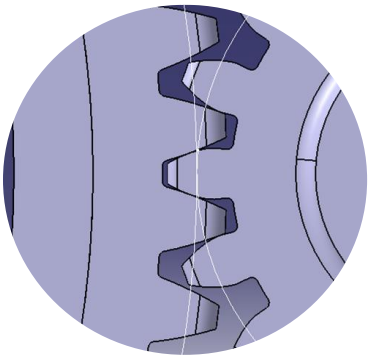


El sistema motriu esta format per engranatges rectes amb dents de perfil evolvent. Al tractar-se d'un mecanisme de reducció de velocitat està format per uns engranatges petits que transmeten el moviment giratori a uns altres engranatges més grans, que giren a menor velocitat.

Detall dels engranatges i les dents amb perfil evolvent i contacte entre els diàmetres primitius:



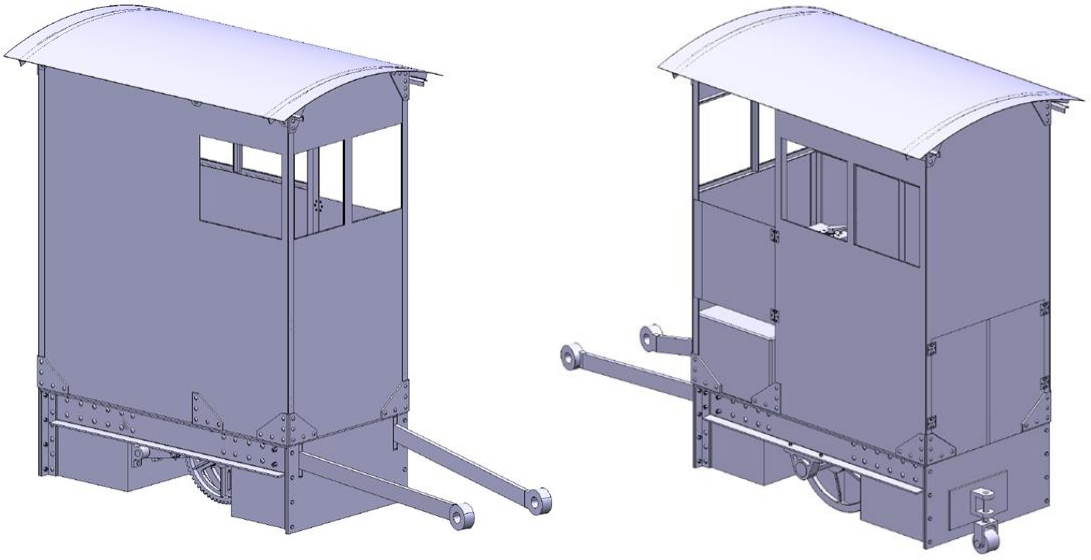




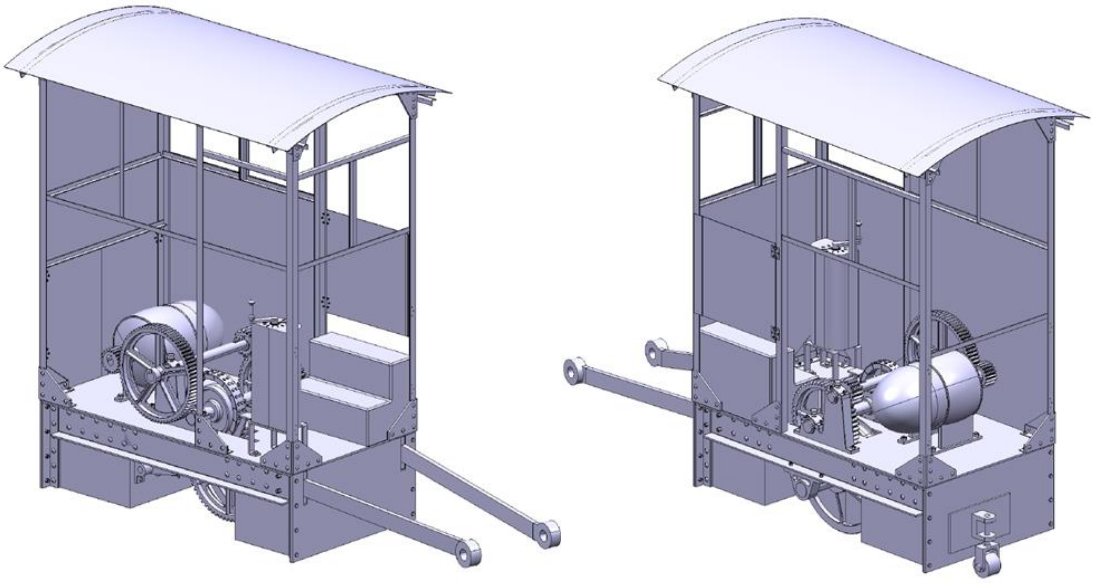
- Ensamblatge final

Finalment, unint tots els conjunts anteriors es va obtenir la cabina del pont giratori en 3 dimensions.

Exterior de la cabina:



Interior de la cabina



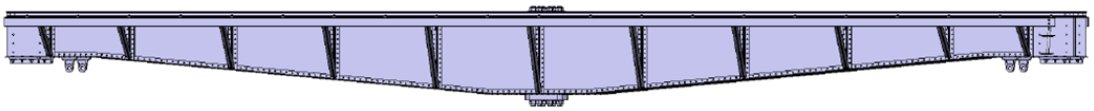
8.2.2. Pont giratori

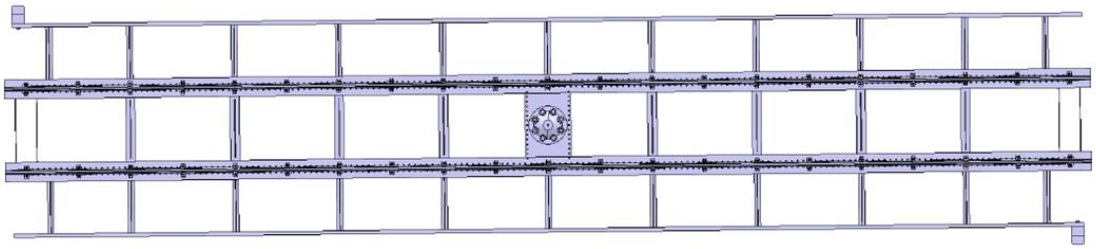
El pont giratori es va realitzar en 5 etapes diferents. En cada etapa es va desenvolupar realitzat una part d'aquest i finalment es van ensamblar per a obtenir el pont sencera. Els passos que es van seguir són:

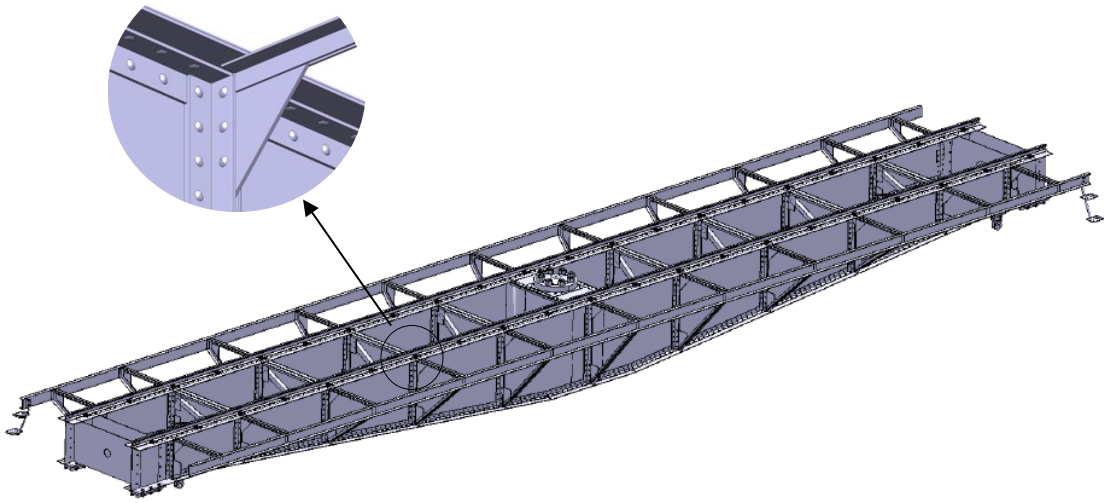
- Estructura

Primer de tot es va realitzar el conjunt de la estructura que forma el pont giratori. Aquesta esta formada per dues bigues rígides i un seguit de perfils que es repeteixen al llarg de les bigues per tal d'unir-les i donar-li més resistència.

Al mig de la estructura, també hi ha un tancament que conté els diferents elements que sostenen la estructura quan aquesta es recolza a sobre de l'eix central.



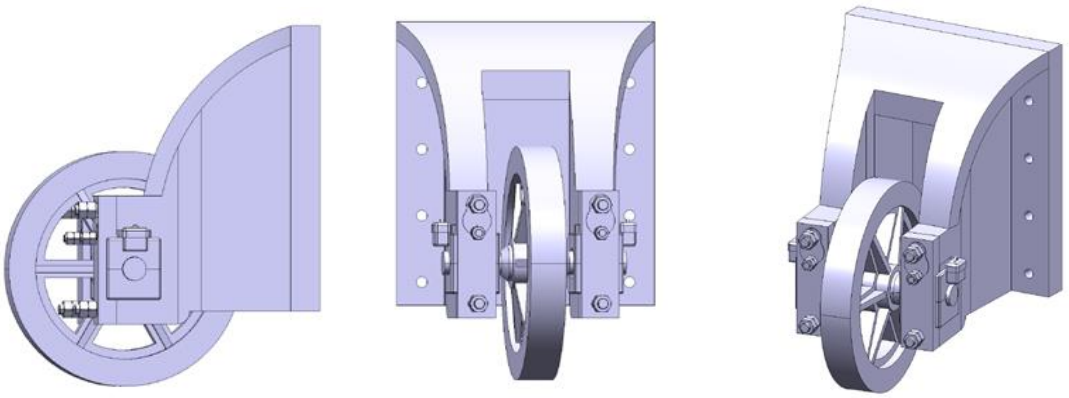




- Rodes

Les rodes estan formades per uns grans suports que van units als extrems de la estructura. A aquests suports s'hi munten uns coixinets amb un sistema de cunyes que sostenen les rodes.

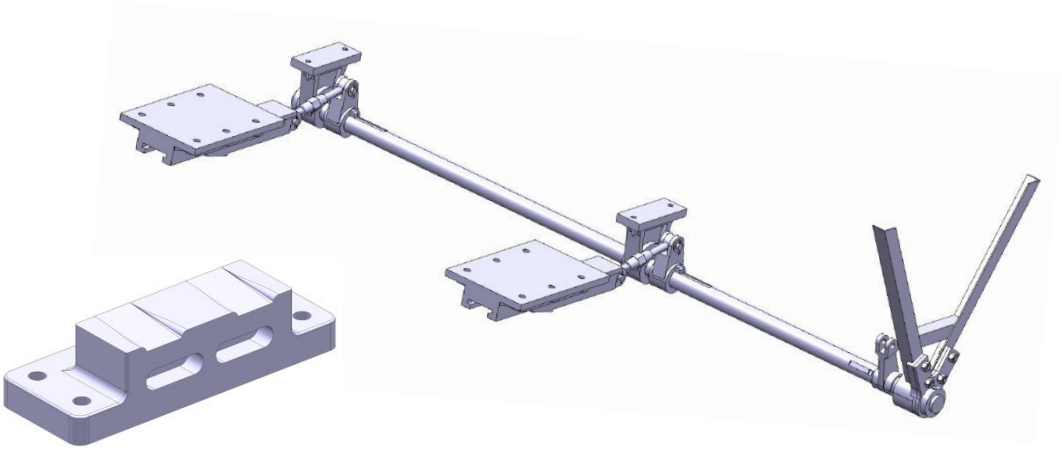
Aquests coixinets disposen d'uns greixadors que lubriquen el seu interior de forma constant mitjançant una metxa.



- Sistema de bloqueig

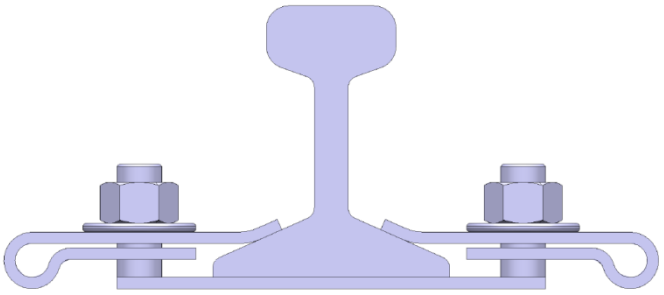
El sistema de bloqueig està format per un eix que transmet el moviment giratori a unes sabates que es desplacen linealment per unes guies i es falquen a unes peces situades al perímetre del fossat. Aquest sistema antigament s'accionava mitjançant maneta circular i un sistema de cargol sense fi, però com que no s'ha trobat cap informació, imatge o detall del mecanisme, no s'ha modelitzat.

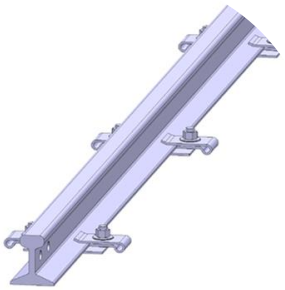
Mecanisme de bloqueig i peça de fixació:



- Vies

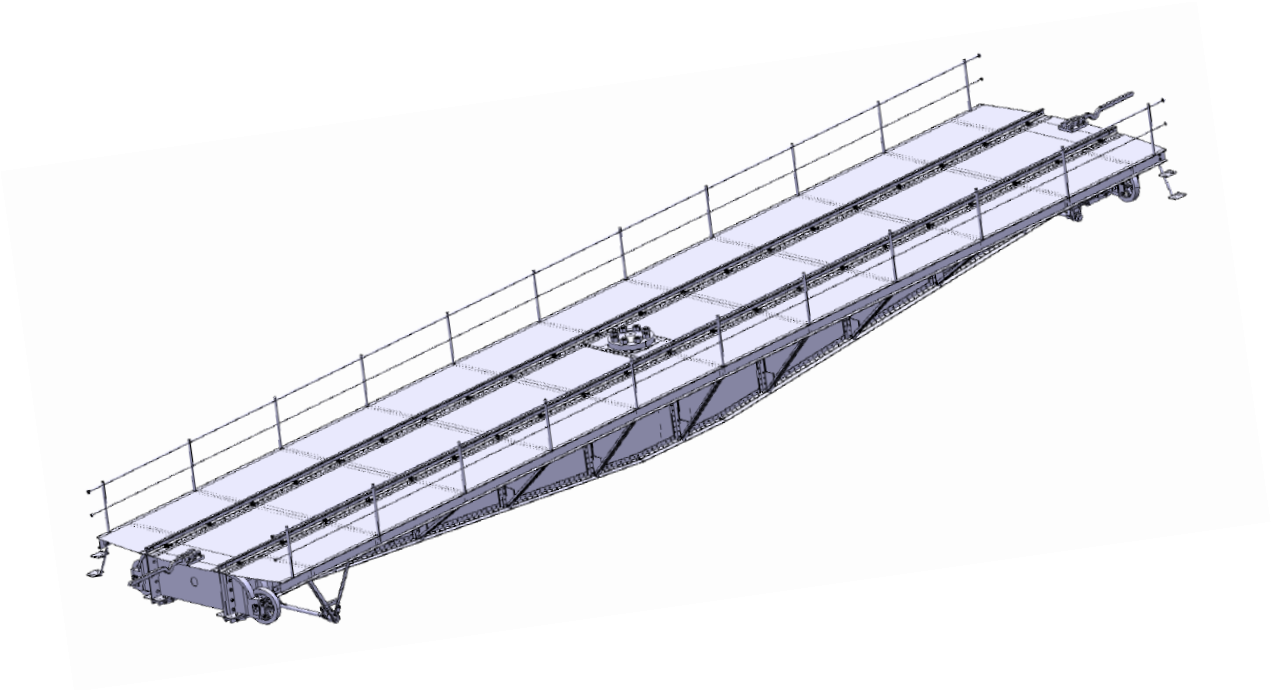
Les vies del pont estan formades per dos rails que recorren les dues bigues del mateix per la part superior. Aquests rails van fixats a la estructura amb unes peces unides a les bigues i amb uns fixadors que l'uneixen a aquestes.





- Ensamblatge final

Finalment, es van unit tots els conjunts per a formar el pont giratori complert.



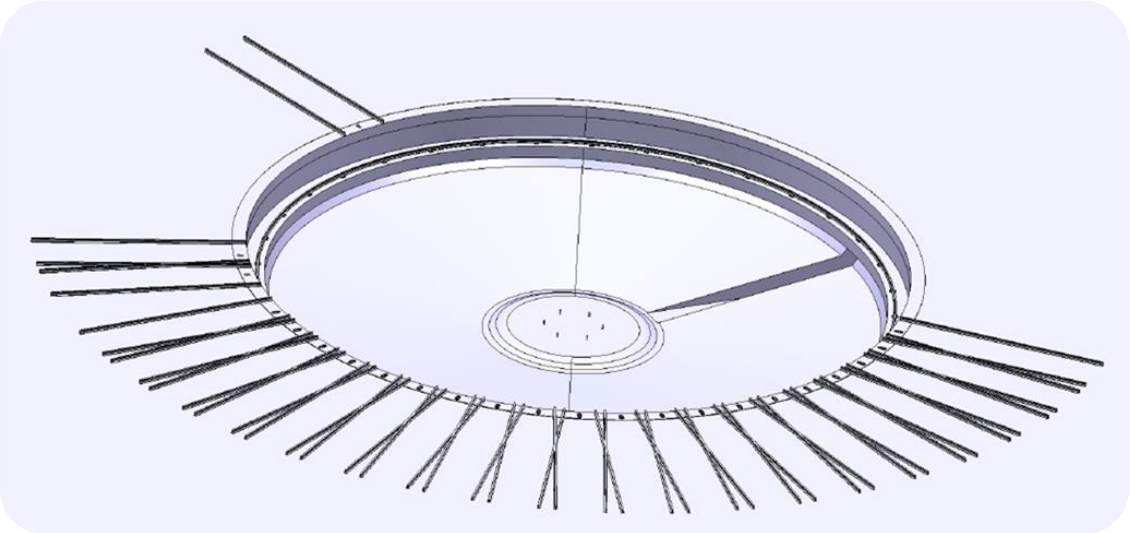
8.2.3. Fossat

El modelat del fossat es va realitzar en 3 etapes diferents. En cada etapa es va desenvolupar una part d'aquest i finalment es va ensamblar per a obtenir el fossat sencer. Els passos que es van seguir són:

- Encofrat del fossat i via

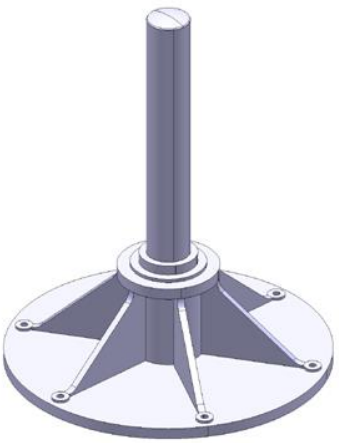
En una primera etapa, es va realitzar el fossat circular i la via que el recórrer al llarg del seu perímetre, per on hi circula la cabina que fa moure el pont.

També s'hi van incorporar les vies que serveixen per entrar i sortir del pont.



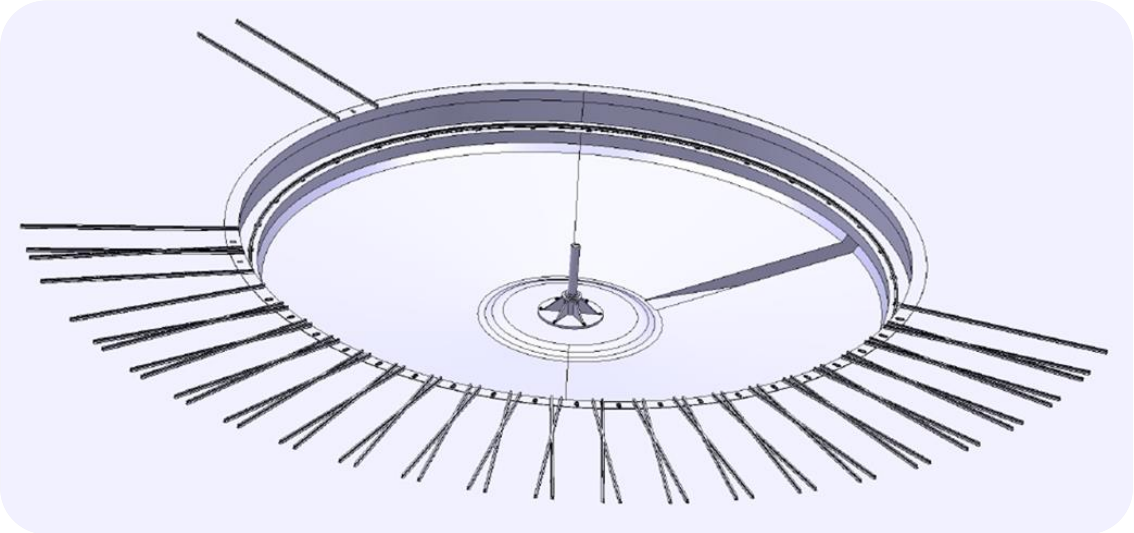
- Eix central

L'eix central esta format per una peça massissa amb una base per a fixar-lo al fossat i un eix que serveix de recolzament per a la estructura. A la part superior té un arrodoniment per a que la estructura hi encaixi i s'hi desplaci de forma circular.



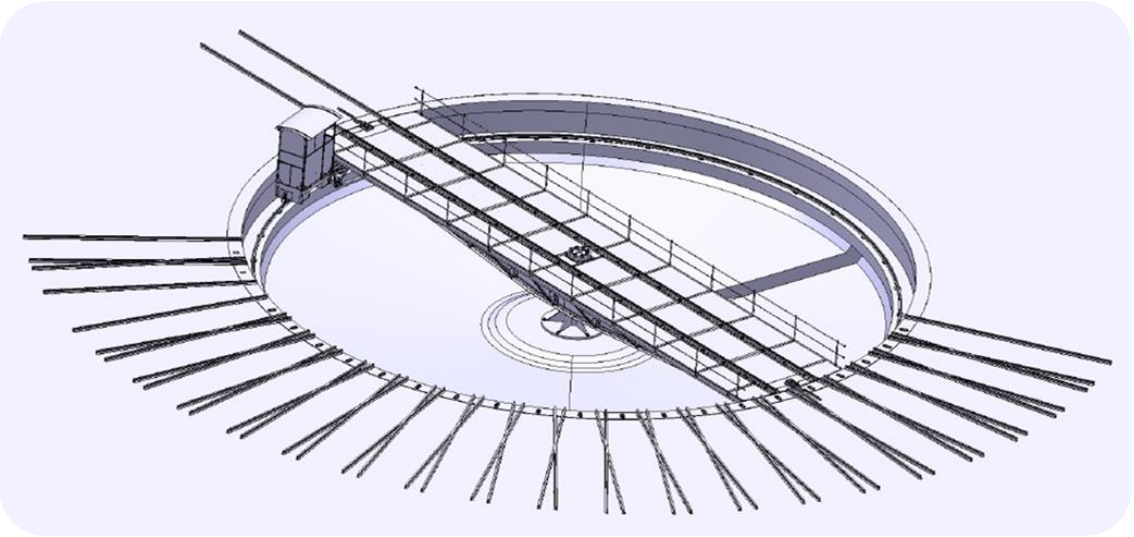
- Ensamblatge final

Finalment es va unir l'eix a l'encofrat per a obtenir el conjunt del fossat on hi descansarà la estructura del pont.



8.2.4. Conjunt de la cabina, el pont giratori i el fossat

Un cop modelats els tres conjunts principals, es van unir per a formar les instal·lacions del pont giratori, situat al mig de la rotonda del museu.

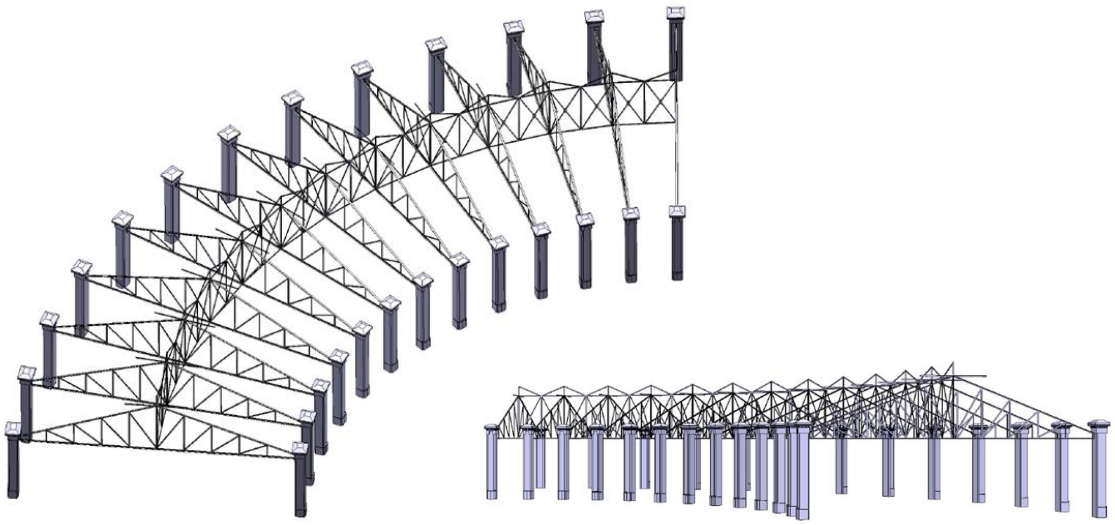


8.2.5. Rotonda

El modelat del fossat es va realitzar en 2 etapes diferents. En cada etapa es va desenvolupar una part d'aquest i finalment es va ensamblar per a obtenir la Rotonda sencera. Els passos que es van seguir són:

- Estructura de la Rotonda

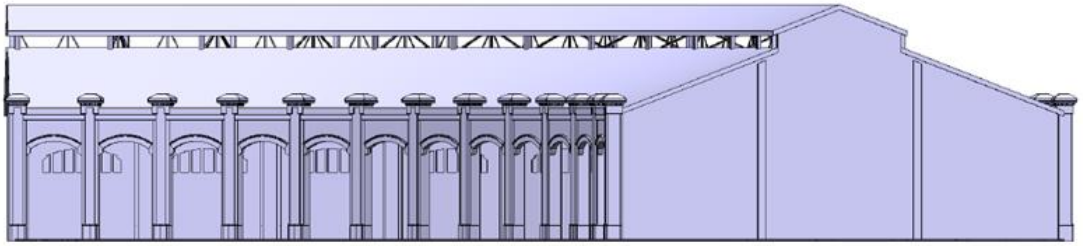
La estructura de la Rotonda està formada per unes columnes i unes gelosies que es disposen en forma semicircular i concèntriques al fossat del pont giratori.



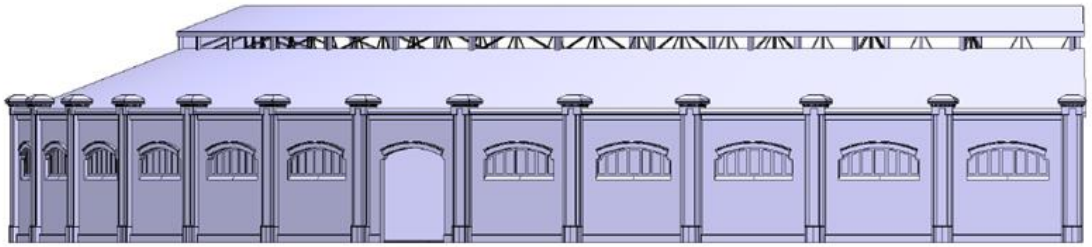
- Edifici de la rotonda

L'edifici de la Rotonda està format per uns pòrtics situats entre les columnes de la estructura. Als laterals està tancat i té un doble sostre que permet la entrada de llum i aire a dins de la nau.

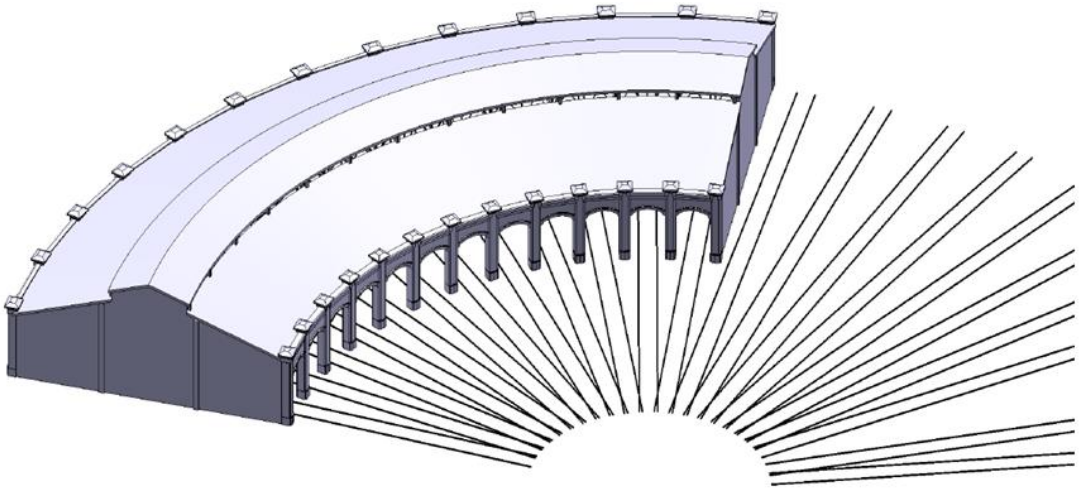
Façana interior:



Façana exterior:



Vista general:

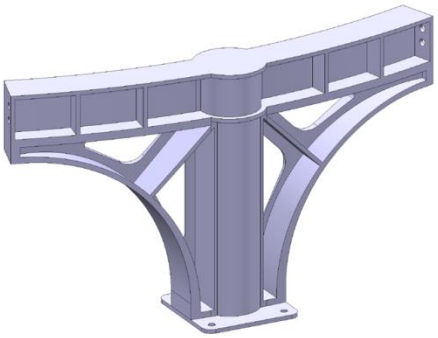


8.2.6. Dipòsits d'aigua

El modelat del fossat es va realitzar en 4 etapes diferents. En cada etapa es va desenvolupar una part d'aquest i finalment es va ensamblar per a obtenir la Rotonda sencera.

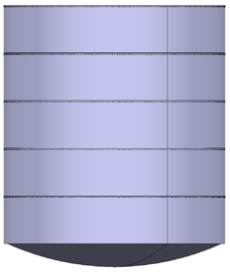
- Potes del dipòsit

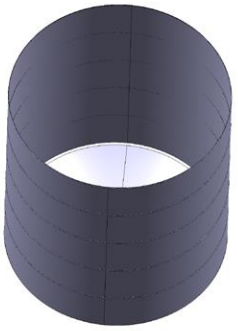
En les dues primeres etapes es van definir les potes que sostenen el dipòsit.



- Dipòsit d'aigua

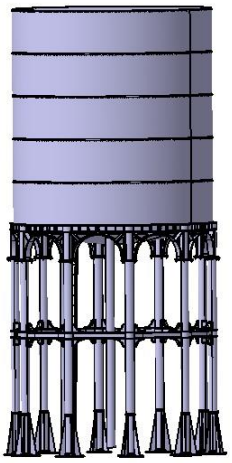
EL dipòsit d'aigua està format per una gran estructura circular formada per unes xapes d'acer unides amb reblons.

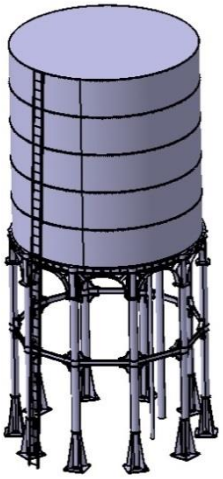




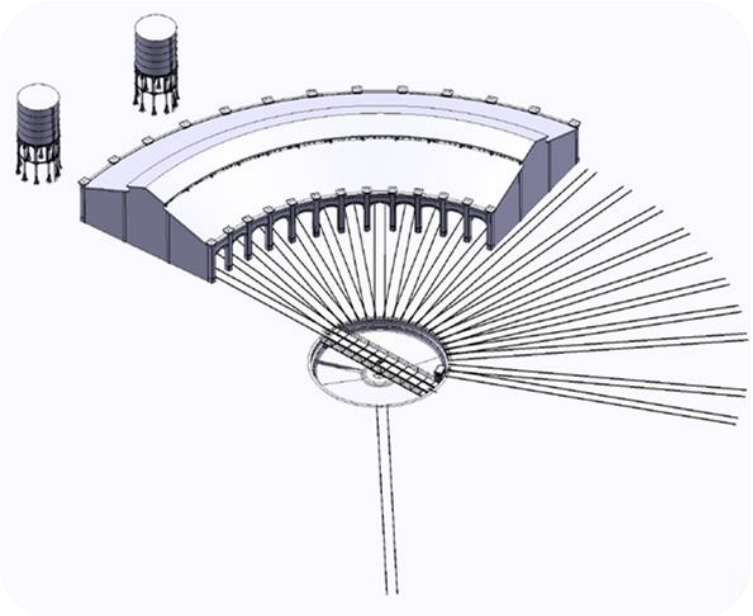
- Ensamblatge final

Finalment s'han unit tots els components. El dipòsit està format per 10 potes situades en disposició circular. A la part superior s'hi recolza el dipòsit d'aigua i la escala recorre un dels laterals des de la part superior fins al terra.





8.2.7. Conjunt de totes les instal·lacions modelades



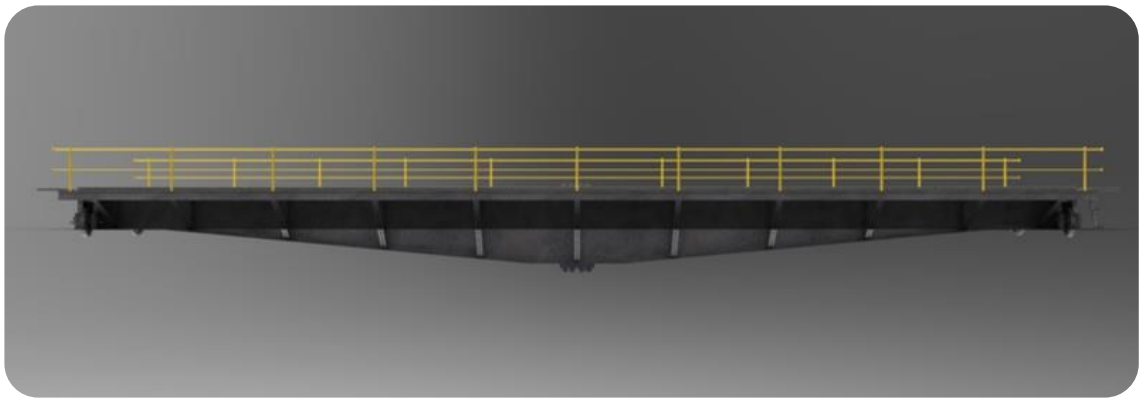
8.3. Renders

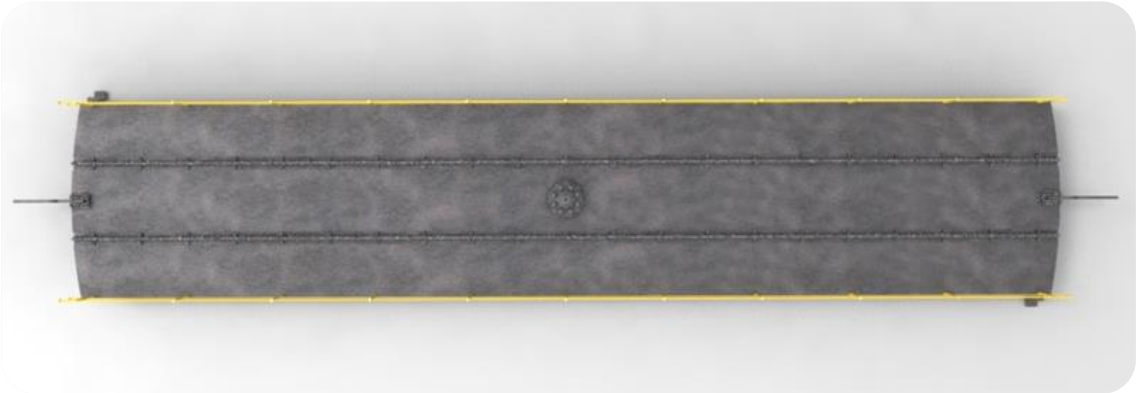
Un cop realitzat el modelat en tres dimensions es van fer un seguit de renderitzats per a poder observar les diferents instal·lacions i components amb els seus respectius materials, tal i com són a la realitat.

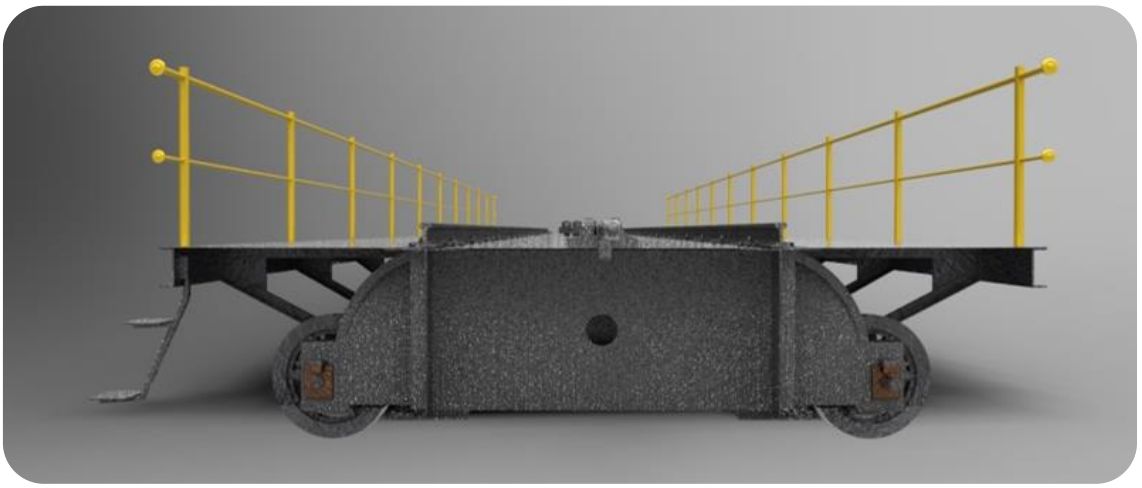
Els resultats han estat els següents:

- Pont giratori

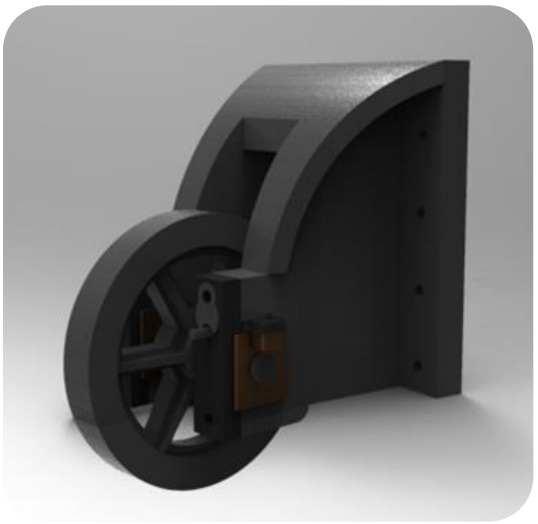
Estructura del pont:





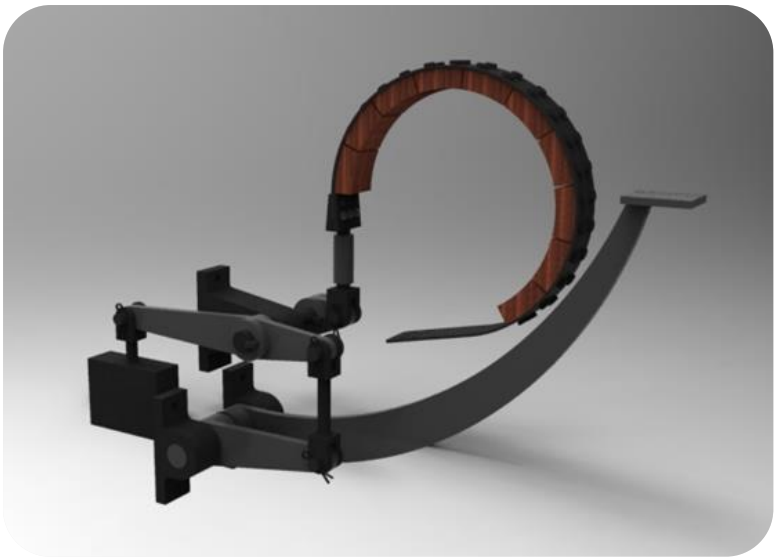


Components del pont:

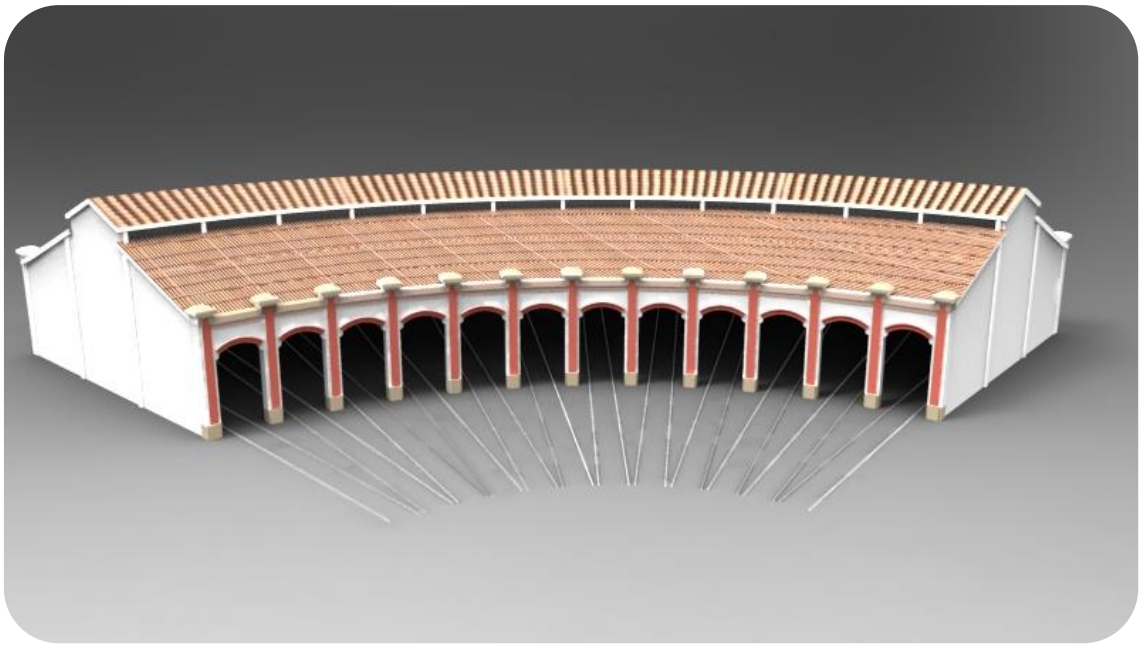


- La cabina:

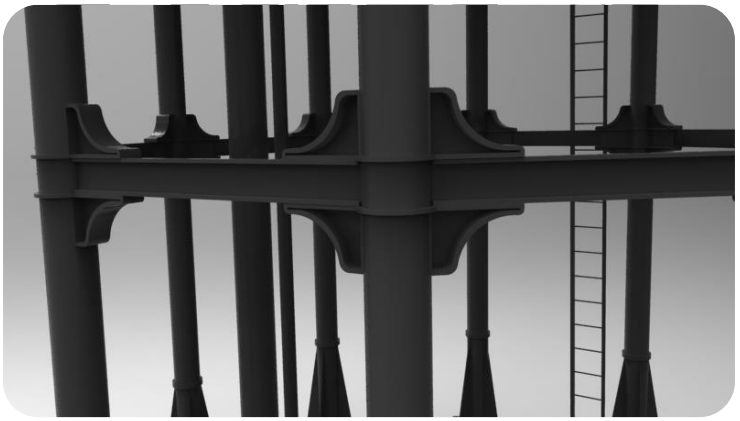
Components de la cabina:



- Rotonda



- Dipòsits d'aigua



8.4. Animacions

Un cop modelats i ensamblats els diferents components del pont giratori, es van realitzar un seguit d'animacions de les principals parts mòbils del mecanisme per a poder observar-ne millor el funcionament.

Els conjunts que es van animar són:

- Pont giratori

Per una banda, es va fer la animació del gir del pont giratori dins del fossat. Per a fer la animació es van tenir en compte els càlculs cinemàtics del temps que tardaria a fer una volta sencera per a definir la velocitat de gir.

Un cop definida aquesta velocitat, es va simular el moviment.

- Sistema motriu

Per altre banda, també es va animar el moviment circular del sistema motriu, on es pot observar la relació de transmissió entre els diferents engranatges, es a dir, la reducció de la velocitat des del primer eix fins a l'últim.

- Fre o bloqueig del pont

Finalment també es va animar el moviment del bloqueig del pont giratori, per a poder observar com s'utilitza el moviment circular d'un eix per a desplaçar les dues sabates que fixen el pont quan està encarat a la via corresponent.

9. Determinació del material del pont giratori

Com que pràcticament no hi ha informació relativa a aquest tipus d'instal·lacions, no es podia saber de quin material esta feta la estructura del pont i els seus principals elements.

Com a primera aproximació, es va poder determinar que en l'època en la qual es va construir aquest element els materials més utilitzats per a aquest tipus de mecanismes i estructures eren els acers i les foses.

Però per ser més precisos i determinar exactament de quin material estan fets els diferents components del pont giratori, es van extreure mostres de diferents elements i es van analitzar al laboratori del Centre Tecnològic per tal de determinar de quins materials està fet el pont giratori de Vilanova.

9.1. Obtenció de les mostres

Les mostres es van obtindre mitjançant una serra manual, amb la qual es van extreure petites porcions dels principals components que conformen la estructura del pont giratori.

Aquestes mostres es van extreure amb la ajuda de l'oficial de manteniment del museu, que ens va proporcionar les eines pertinents, i amb l'aprovació dels responsables del museu.

Imatge 42 Diferents mostres obtingudes

9.2. Preparació de les mostres

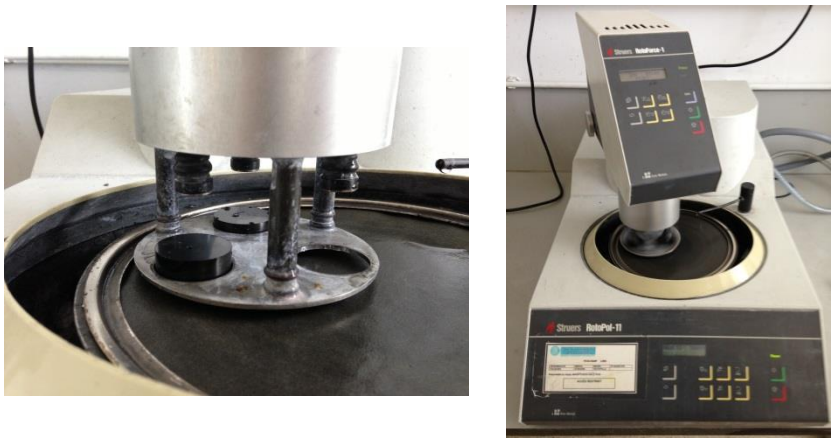
Primer de tot, un cop obtingudes les mostres, es van preparar per a poder ser observades al microscopi SEM (Scanning Electron Microscope). Aquest procés consisteix en preparar unes provetes fetes de Baquelita dins de les quals hi ha les mostres. Aquestes provetes es van fer amb la màquina: Struers LaboPress-3.

Imatge 43 Esquerra: Preparació de les mostres per a fer la proveta. Dreta: Màquina per a fer les provetes

Un cop obtingudes les provetes, es van desbastar i polir les superfícies de les mostres que quedaven exposades a l'exterior per tal de poder observar-les posteriorment al laboratori i veure'n la microestructura.

Imatge 44 Esquerra: Provetes inicials Dreta: provetes polides

Per a polir les superfícies, es va utilitzar una polidora pneumàtica Struers Rotopol 11.



Imatge 45 Esquerra: col•locació de les provetes a la polidora. Dreta: Polidora

Aquest procés es va realitzar en 4 etapes diferents en les quals es va augmentat el temps de desbastat i la concentració de partícules del paper abrasiu. En concret el procediment que es va seguir és el següent:

Primera etapa	
Concentració del paper abrasiu	180
Força aplicada (N)	20
Temps (min)	10
Velocitat de gir (r.p.m)	300
Segona etapa	
Concentració del paper abrasiu	500
Força aplicada (N)	20
Temps (min)	15
Velocitat de gir (r.p.m)	300
Tercera etapa	
Concentració del paper abrasiu	1200
Força aplicada (N)	20
Temps (min)	20
Velocitat de gir (r.p.m)	300
Quarta etapa	
Concentració del paper abrasiu	4000
Força aplicada (N)	20
Temps (min)	20
Velocitat de gir (r.p.m)	300

Un cop les mostres estaven polides, es van atacar amb un reactiu per a poder observar millor les diferents fases que conformen els materials de les mostres. Concretament es van atacar amb Nital, una solució diluïda d'àcid nítric i alcohol que s'utilitza especialment per a atacar acers al carboni.

9.3. Observació de les mostres

Un cop atacades les mostres, es van observar i analitzar al laboratori del Centre Tecnològic. Aquesta observació es va realitzar en dues etapes i amb dos equips diferents.

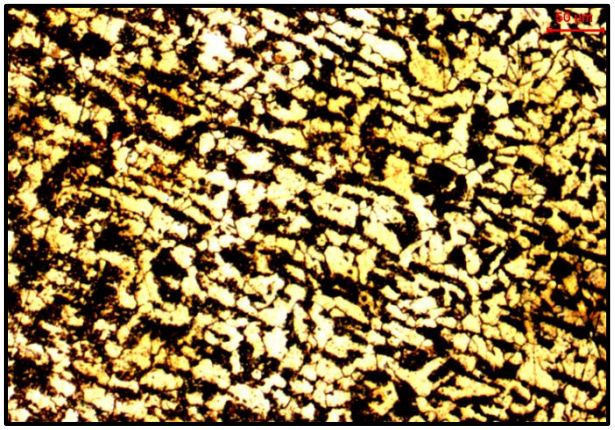
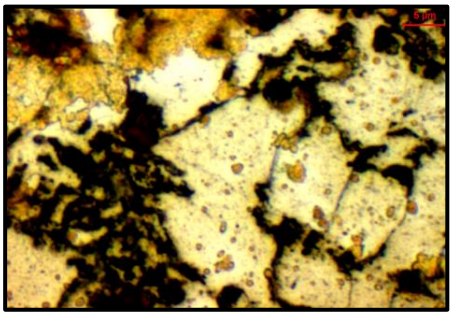
Els equips utilitzats són el Microscopi òptic Leica i el software de tractament i anàlisi d'imatges Lida per l'anàlisi visual de la microestructura i el Microscopi electrònic de rastreig JEOL SEM (Scanning Electron Microscope) per a l'anàlisi de la composició del material de les provetes.

Imatge 46 Esquerra: Microscopi òptic. Dreta: Microscopi electrònic de rastreig

Primer es van observar les mostres amb el microscopi òptic per a observar la microestructura a nivell visual. Amb aquest mètode es van poder observar els diferents grans que conformen la microestructura de les mostres del pont així com les diferents fases que presenta i el percentatge aproximat de cadascuna d'elles.

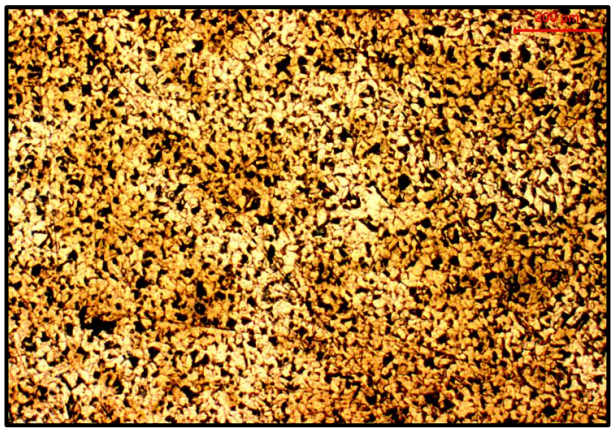
A continuació es mostren algunes de les captures d'imatges preses amb el software on es poden observar aquestes característiques:

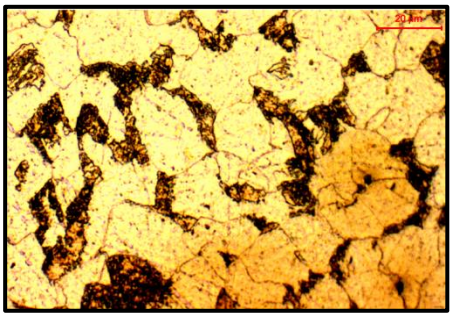
- Bigues del pont

Observació: Grans de ferrita (blanc) i perlita (negre) deformats en la direcció de laminat.

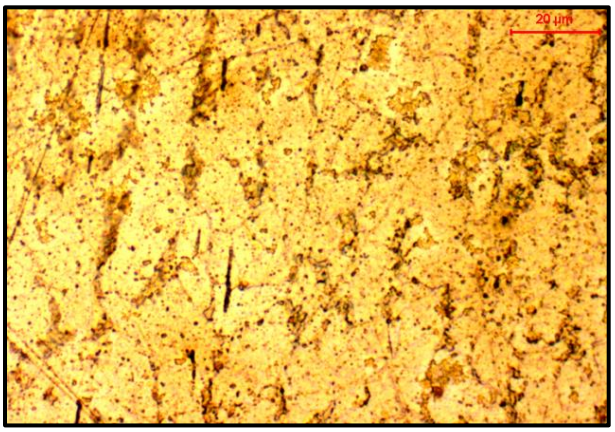
- Tirants de la estructura

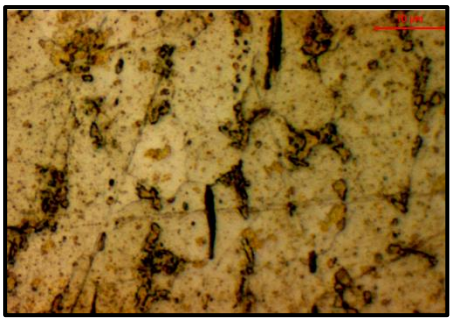




Observació: Grans de ferrita (blanc) i perlita (negre).

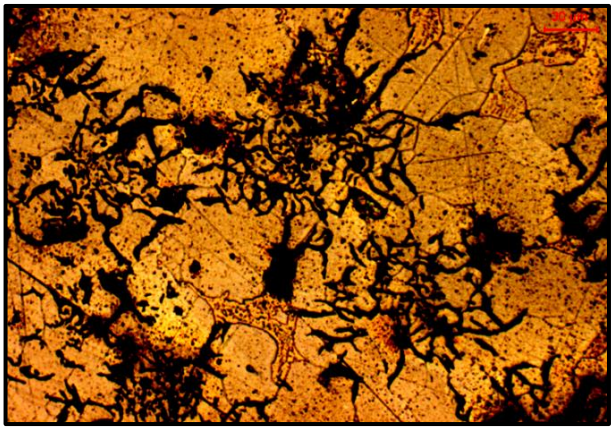
- Xapa superior

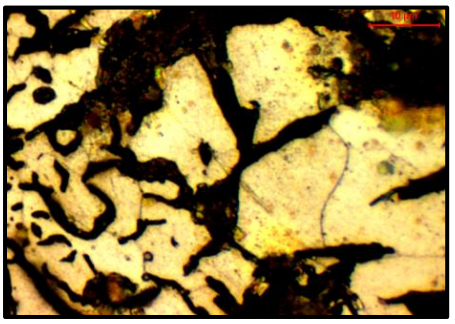




Observació: Grans de ferrita (blanc) i perlita (negre) deformats en la direcció de laminat.

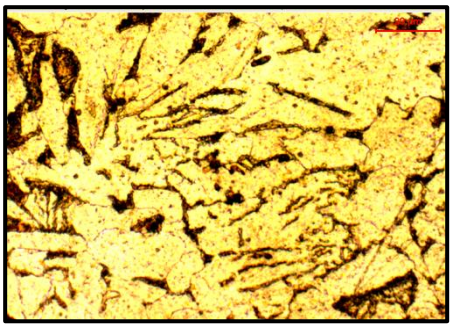
- Eix central





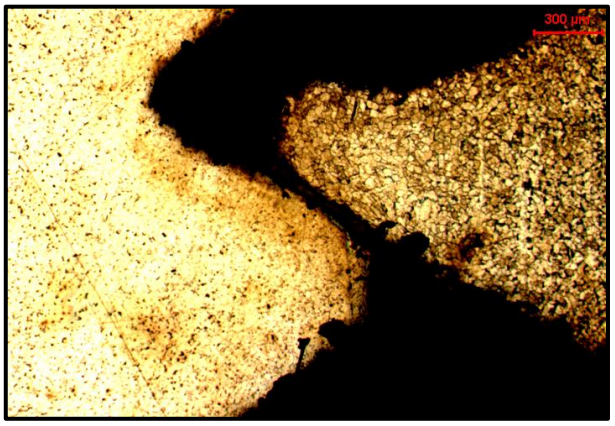
Observació: Grans d'austenita formada per ferrita i perlita (blancs) i plaques de grafit (negre) distribuïdes en forma de rosetes.

- Reblons



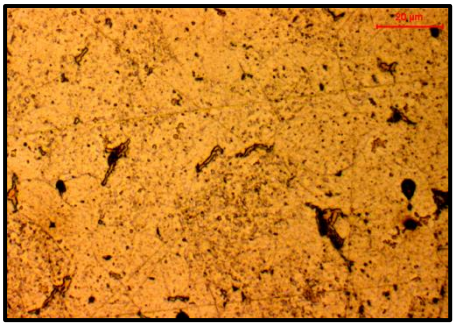
Observació: Grans de ferrita (blanc) i perlita (negre).

- Cargol + femella



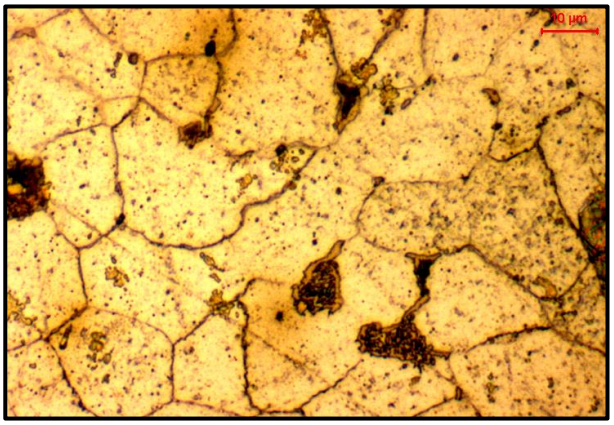
Observació: diferència de carboni entre la microestructura de la femella (més clara) i la del cargol (més fosca).

- Femella



Observació: Grans de ferrita (blanc) i perlita (negre).

- Cargol



Observació: Grans de ferrita (blanc) i perlita (negre).

En la observació de les imatges del microscopi òptic es poden apreciar les diferents fases i cristalls que formen la microestructura de cada mostra. En els diferents casos, es poden apreciar les dues fases que formen aquesta microestructura, la ferrita i la perlita. Per tan podem determinar que es tracta d'Acers hipoeutectoides, és a dir, amb un contingut de Carboni inferior al 0.8%.

En cada cas la ferrita és la part més clara de les imatges, i la perlita són les taques més fosques, formades per làmines de ferrita i cementita.

També es poden apreciar les diferències entre el contingut de carboni entre cada mostra, ja que aquest influeix directament en la quantitat de perlita que conté. Així dons, com més perlita s'observa, més contingut de Carboni presenta la mostra.

Per altre banda, una de les mostres presenta una microestructura diferent a la resta, la de l'eix central. Aquesta presenta una microestructura austenítica amb unes plaques de grafit degut a la precipitació del Carboni, que es troba en un contingut més elevat que en la resta de mostres.

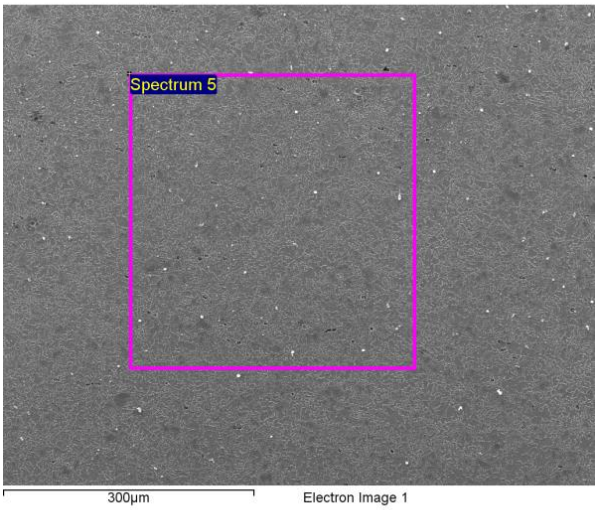
Un cop observada la microestructura es va realitzar una segona etapa d'anàlisi de les provetes mitjançant un microscopi electrònic de rastreig.

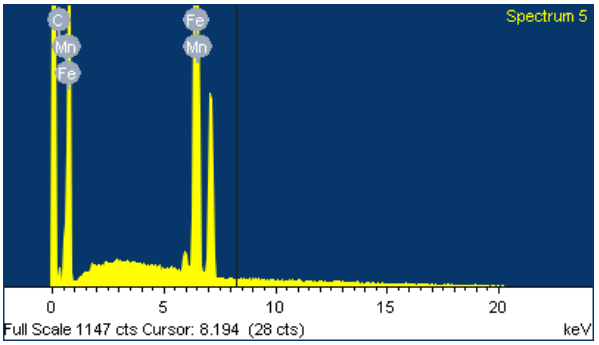
Aquest aparell, es basa en la energia necessària per a separar les diferents partícules del material per a determinar-ne la seva composició, ja que cada component té una energia específica. Mitjançant un feix d'electrons que s'emet termoiònicament s'obté un espectre d'energia de la composició del material així com els percentatges de cadascun dels seus components.

Els resultats obtinguts són els següents:

- Bigues del pont

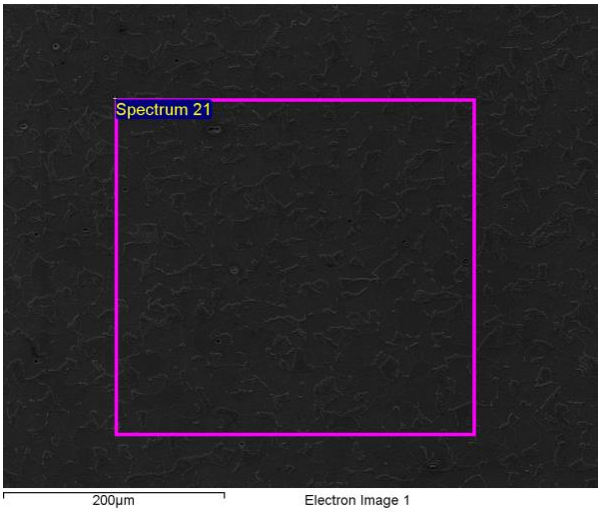
Element	Pes %	Atomic%
C K	0.19	
Mn K	1.08	0.93
Fe K	98.73	
Totals	100.00	

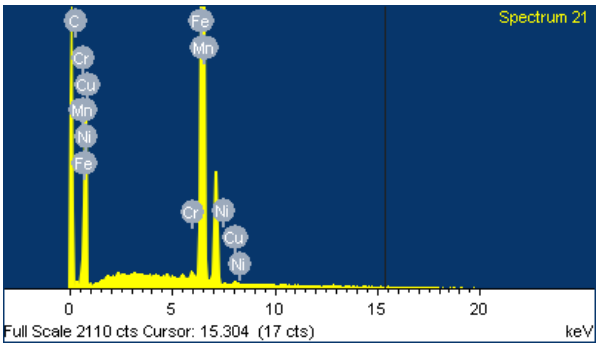




- Tirants de la estructura

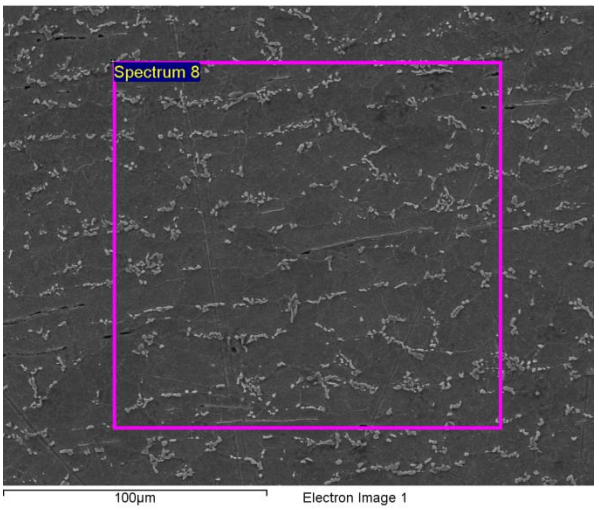
Element	Pes%	Atomic%
C K	0.19	
Cr K	0.26	0.24
Mn K	0.74	0.67
Fe K	97.98	
Ni K	0.34	0.28
Cu K	0.49	0.38
Totals	100.00	

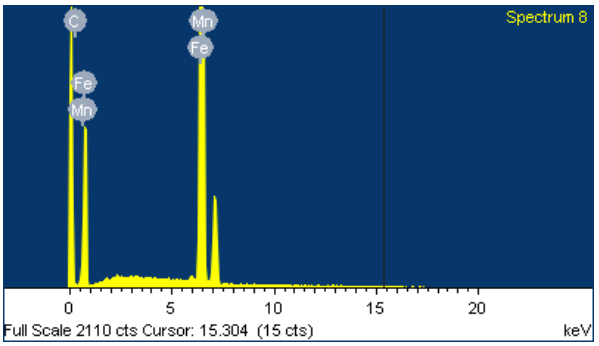




- Xapa superior

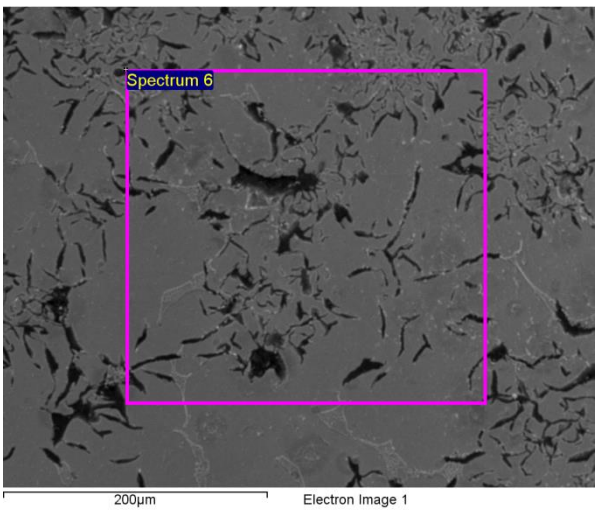
Element	Pes%	Atomic%
C K	0.08	
Mn K	0.73	0.68
Fe K	99.19	
Totals	100.00	

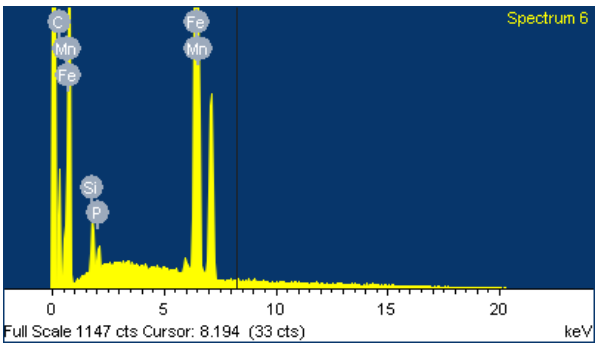




- Eix central

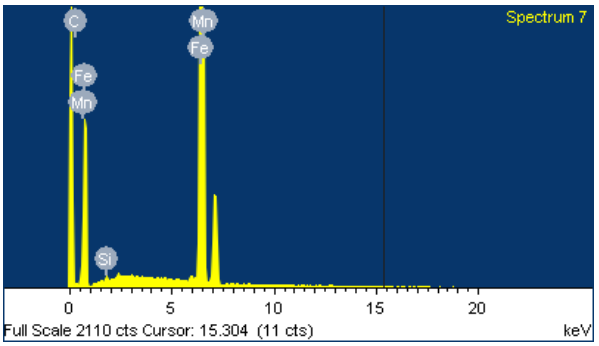
Element	Weight%	Atomic%
C K	3.52	
Si K	1.56	1.57
P K	0.63	0.57
Mn K	0.49	0.25
Fe K	93.8	
Totals	100.00	





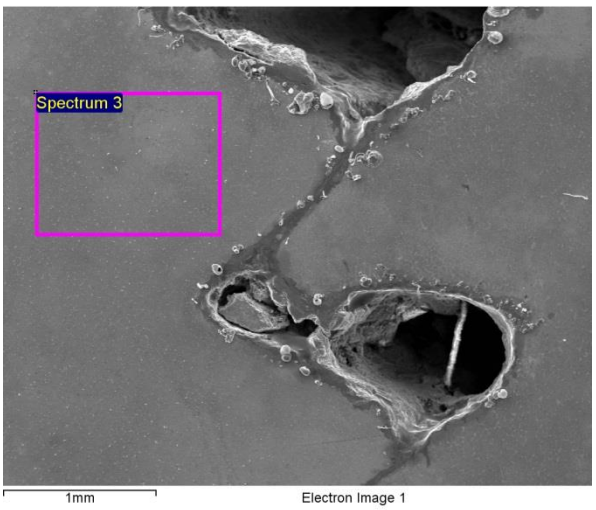
- Reblons

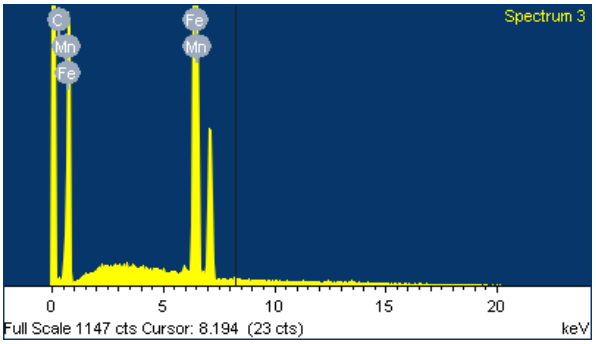
Element	Weight%	Atomic%
C K	0.13	11.37
Si K	0.35	0.63
Mn K	0.52	0.48
Fe K	99	87.52
Totals	100.00	



- Femella

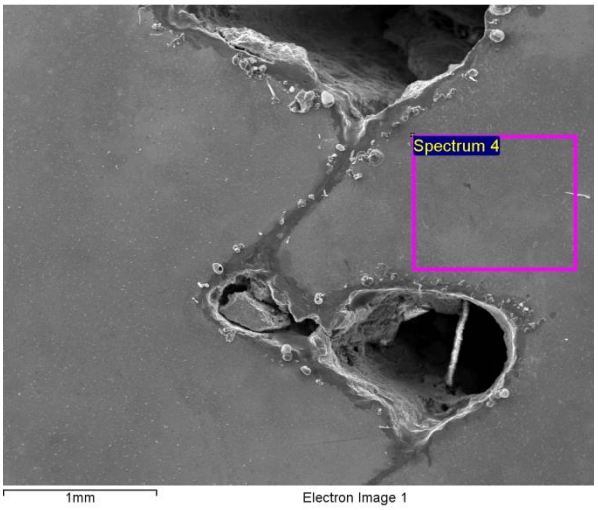
Element	Weight%	Atomic%
C K	0.03	
Mn K	0.48	0.44
Fe K	99.49	
Totals	100.00	

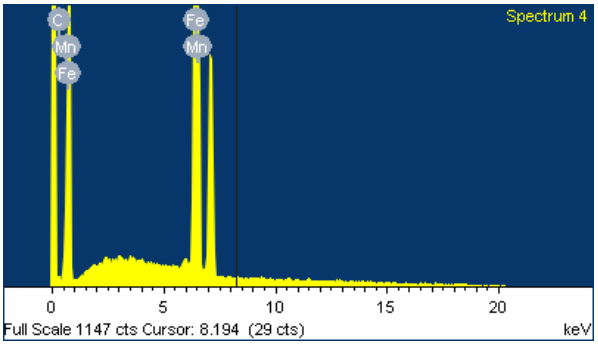




- Cargol

Element	Weight%	Atomic%
C K	0.05	
Mn K	0.35	0.32
Fe K	99.6	
Totals	100.00	





D'aquest anàlisi, es pot observar que com s'havia determinat en l'anàlisi visual, la majoria de components estan formats per un Acer format per un aliatge de Ferro – Carboni i un percentatge de Manganès. En alguns casos però, aquesta composició varia depenent del tipus de component i de les seves característiques, com és el cas dels reblons, que presenten un percentatge de Silici, el dels tirants, que presenten altres elements d'aliatge i de l'eix central, format per un alt contingut de Carboni i Silici, composició que caracteritza les foses grises.

Tot i la precisió de l'aparell per a determinar els diferents components que conformen els materials analitzats, en el cas del carboni, es produeix una variació entre el valor que mostra el resultat de l'anàlisi i el valor real de la concentració dins del material. Així dons, per tal de determinar més exactament el percentatge de carboni de cada component, es va utilitzar l'anàlisi d'imatge realitzat en la primera etapa del procés per a determinar la quantitat de perlita que contenen les diferents mostres i d'aquesta manera, determinar el percentatge de Carboni i de Ferro corresponent, mostrat en els resultats de la segona etapa.

9.4. Determinació del material

Un cop analitzades les diferents mostres, es van cercar els materials que s'acosten més als resultats dels anàlisis realitzats, i el resultat és el següent:

- Bigues del pont: les bigues del pont estan formades per un Acer al Carboni amb un petit percentatge de Manganès (Mn). Aquest element apareix en la gran majoria d'elements analitzats, ja que en millora la resistència i la tenacitat.

- Tirants del pont: En el cas dels tirants que conformen la estructura del pont, s'ha determinat una composició d'un Acer al Carboni però amb alguns elements d'aliatge poc comuns en l'època en que data el pont giratori, com és el cas del Cr, el Ni i el Cu. Aquests elements augmenten la resistència a tracció i la duresa en el cas del Crom, i n'augmenten la tenacitat i el límit elàstic en el cas del Níquel. En general també n'augmenten la resistència a la corrosió, característica important tenint en compte la situació geogràfica on es troba el pont.

- Xapa superior del pont: la xapa superior, també està formada per un aliatge d'Acer al Carboni amb un petit percentatge de Manganès. En aquest cas es pot apreciar que la microestructura està deformada degut al procés de conformació de la xapa, un laminat. Així dons, es pot observar una microestructura de ferrita i perlita estirada en el sentit de la deformació del material en el laminat.

- Eix central: en el cas de l'eix central, tenim un material diferents al de la estructura, ja que les seves característiques així ho requereixen. En aquest cas tenim una fossa gris, coneguda vulgarment com ferro colat. Aquest material és el més utilitzat en la fosa. Té una baixa resistència a la tracció (de 100 a 400 MPa) però per altre banda, la resistència a compressió és de 3 a 5 vegades més gran, característica bàsica per a la elecció del material, ja que ha de suportar tota la càrrega del pont a compressió.

  També es caracteritza per una baixa ductilitat, que evita que es formin deformacions permanents que podrien malmetre la zona de contacte entre el pont i l'eix i per tan, causar el seu mal funcionament, o fins i tot, la seva fallida. Amb la addició de silici, si es refreda a poc a poc, el carboni precipita en forma de grafit, que és el que li dóna el seu color característic.

- Reblons: els reblons estan formats per un aliatge d'Acer al Carboni, però a diferència dels altres, a part de tenir un petit percentatge de Manganès, també el té de Silici. Aquest nou element d'aliatge li atorga als reblons més duresa i rigidesa, característiques importants ja que es tracta d'unions fixes que s'han de comportar com si fossin un sol element, l'equivalent de les soldadures.

- Cargol: els cargols també estan formats per un aliatge d'Acer al Carboni amb un percentatge de Manganès (Mn).

- Femella: les femelles, presenten una composició molt semblant a la dels cargols, però aquestes presenten un percentatge més elevat de Carboni, que li confereix una major resistència.

  Aquesta diferència de percentatge de carboni també es pot apreciar en la imatge ampliada del microscopi, ja que l'element que conté menys carboni, el cargol, és el que s'ha deformat.

9.5. Conclusions de l'anàlisi dels materials

- Com s'ha pogut observar, la majoria de components estructurals estan conformats per un Acer al Carboni aliat amb Manganès. Aquest element d'aliatge, s'ha utilitzat sempre en els Acers ja que neutralitza la influència del sofre i l'oxigen que solen contenir els acers en estat líquid durant els processos de fabricació. Aquesta neutralització és necessària ja que els sofre forma sulfurs de ferro amb baix punt de fusió, i per tan, en processos com la forja o la laminació, fondrien i crearien zones de debilitat a les peces, augmentant-ne la fragilitat.

- En el cas dels tirants, al observar la presència d'elements d'aliatge poc comuns, s'ha determinat que no es tracta dels elements originals de la estructura, sinó que van ser substituïts arran de la restauració que es va fer de les instal·lacions del museu arran de la celebració del centenari de la línia Barcelona – Vilanova, a l'any 1981.

10. Càlculs i simulacions

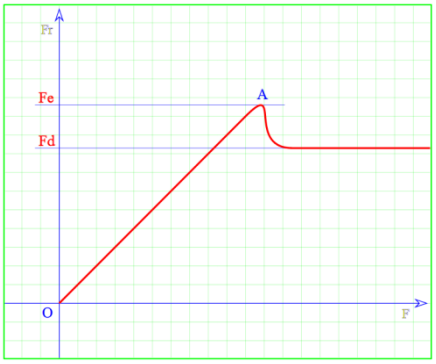
10.1. Càlculs de la dinàmica del sistema

Per a fer l'estudi de la dinàmica, es imprescindible conèixer les dades físiques del pont com ara el pes de tota la estructura o els diferents materials que el conformen, per tal de poder conèixer quins materials estan en contacte en cada punt. Per les dades que s'han obtingut de les diferents fonts d'informació que hem tingut, el pes total de l'estructura és de 70.000 kg, és a dir, unes 70 Tn. A partir d'aquí, veient el volum de la cabina en comparació amb el del pont i els seus components, es va deduir que aquesta devia pesar aproximadament uns 8.000 Kilograms, és a dir, unes 8 Tn.

Però un cop fet el modelat i després d'haver assignat el material a cadascun dels components, el software va calcular que el pes total del pont és de 28.140 kg, dels quals nosaltres considerarem un pes de 30.000 kg per compensar algun possible error en les mesures dels components o la omissió d'algun d'aquests. Per altre banda, el pes de la cabina va calcular que és d'uns 3.094 Kg.

Per tant , a continuació es mostren els càlculs sobre les forces necessàries per a poder moure tota l'estructura amb les dues dades de les que disposem, per tal de fer una comparativa i veure quin és el resultat més coherent.

S'ha de tenir en compte que per poder calcular la força necessària per moure l'estructura haurem de calcular la força de fregament tenint en compte el fregament estàtic, ja que sempre és major que el dinàmic.



Imatge 47 Gràfic dels coeficients de fregament respecta la força aplicada

Per a fer l'estudi s'han fet dues hipòtesis tenint en compte dues condicions de contorn segons l'estat o configuració de la estructura respecte es seu recolzament. Per una banda hem fet l'estudi en condicions òptimes, és a dir, quan el pont només es recolza per la part central, directament sobre de l'eix. Per altre banda, també s'ha fet l'estudi en les condiciona més desfavorables, és a dir, que el pont es recolzi sobre les rodes situades als extrems del pont.

També cal apuntar que en els diferents càlculs s'ha considerat una gravetat de 10 m/s^2, per a simplificar els càlculs i sobredimensionar-los ja que aquests estudis sempre es porten a terme considerant unes condicions òptimes, cosa que a la realitat mai es dóna.

10.1.1. Càlculs en condicions òptimes

Considerem condicions optimes del pont giratori quan l'estructura reposa totalment sobre l'eix central. Amb aquesta repartició del pes, la força necessària per poder moure tota l'estructura és la mínima, ja que s'aprofita la llargada del pont per a exercir el màxim moment a la estructura amb la mínima força possible tenint en compte que s'aplica a una certa distància de l'eix de gir (llei de la palanca).

- Càlculs amb el pes deduït (70.000 kg):

El primer pas que cal fer és calcular la força de fregament que hi ha en la part superior del eix en contacte amb la estructura del pont, ja que és la força que cal vèncer per poder fer-lo girar. Les dues superfícies que estan en contacte en el punt on pivota la estructura són de bronze així que s'ha buscat el coeficient de fricció d'aquest material en estàtica, el qual és de 0,35. Però no és aquest el coeficient que s'aplicarà, ja que aquests components estan totalment lubricats per disminuir el fregament i reduir el desgast de les peces. El coeficient de fregament de dues peces en contacte totalment lubricades és de 0,03. Per tan:

$F_f = N \cdot \mu_e$

N = Pes de l'estructura = 70.000 Kg = 700.000 N

$\mu_e = 0{,}03$

$F_f = N \cdot \mu_e = 700.000\ N \cdot 0{,}03 = 21\ KN$

On:

F_f = Força de fregament (N)

N = Força normal, és a dir, la que exerceix la estructura sobre la superfície de recolzament (N)

μ_e =Coeficient de fregament estàtic

Un cop s'obté la força que s'ha de vèncer es calcula la força que s'ha d'exercir des de la cabina o més concretament, des del sistema motriu. Aquesta força es veu afavorida ja que s'exerceix a una certa distancia del punt de contacte on es troba la F_f i per tan s'aprofita la llei de la palanca.

$F_{SM} \cdot L \geq F_f$

L = 11,1 m

$F_{SM} \geq \frac{F}{L} = \frac{21\ KN}{11{,}1} = 1{,}892\ KN$

On:

F_{SM} = Força exercida pel sistema motriu (N)

L = Distància entre el punt d'aplicació de la força i l'eix de rotació (m)

La força necessària que hauria d'exercir el sistema motriu per a poder fer rotar el pont hauria de ser superior a 1.892 N, és a dir, 189,2 kg.

- Càlculs amb el pes obtingut amb el Catia (30.000 kg):

Igual que en el càlcul anterior, el primer pas que hem de realitzar és calcular la força de fregament en l'extrem de l'eix, tenint en compte el coeficient de fregament estàtic entre dues peces lubricades, que és de 0,03.

$F = N \cdot \mu_e$

N = Pes de l'estructura = 30.000 Kg = 300.000 N

$\mu_e = 0{,}03$

$F = N \cdot \mu_e = 300.000\ N \cdot 0{,}03 = 9\ KN$

Un cop s'obté la força que s'ha de vèncer es calcula la força que s'ha d'exercir des de la cabina o més concretament, des del sistema motriu.

$F_{Tractora} \cdot L \geq F$

L = 11,1m

$F_{Tractora} \geq \frac{F}{L} = \frac{9\ KN}{11{,}1} = 0{,}811\ KN$

La força necessària per poder fer rotar el pont haurà de ser superior a 811 N o el que és el mateix 81,1 Kg.

10.1.2. Càlculs en les condicions més desfavorables

Considerem les condicions més desfavorables quan la estructura no reposa sobre de l'eix sinó que ho fa sobre les rodes situades als extrems del pont, que es desplacen per un carril circular. Amb aquest repartiment del pes es perd la aplicació de la palanca ja que la força s'exerceix directament en el punt de fregament.

Per fer les condicions del càlcul encara més desfavorables es calcularà amb el fregament existent entre el coixinet i les rodes sense greix i desprès amb greix, per veure la diferencia que hi ha entre tots dos.

- Càlculs amb el pes deduït (70.000 kg):

El primer pas, en condicions desfavorables, serà calcular la força de fregament que es pateix en cadascuna de les rodes. Es considera que el pes total del pont reposa en una part proporcional en cadascuna de les rodes, i el fregament entre el coixinet de les rodes de bronze i les rodes de ferro és de 0,18. Per tant en cadascuna de les rodes obtindríem el següent fregament:

El primer pas que cal fer és calcular la força de fregament que hi ha en la part superior del eix en contacte amb la estructura del pont, ja que és la força que cal vèncer per poder fer-lo girar. Les dues superfícies que estan en contacte en el punt on pivota la estructura són de bronze així que s'ha buscat el coeficient de fricció d'aquest material en estàtica, el qual és de 0,35. Però no és aquest el coeficient que s'aplicarà, ja que aquests components estan totalment lubricats per disminuir el fregament i reduir el desgast de les peces. El coeficient de fregament de dues peces en contacte totalment lubricades és de 0,03. Per tan:

$F_f = N \cdot \mu$

$N = \frac{Pes\ pont}{numero\ de\ rodes} = \frac{700.000N}{4} = 175.000N$

$\mu = 0,18$

$F_f = N \cdot \mu = 175.000N \cdot 0,18 = 31.500N$

Per tant, per poder moure una sola roda és necessària una força de 31.500N. Al ser quatre les rodes, el la força necessària per poder moure-les totes és de 126 KN.

La força que ha d'exercir la roda tractora és de 126KN, ja que aquesta circula a la mateixa distancia de l'eix que les rodes de repòs, per tant no hi apareix la llei de la palanca que disminueixi la força a exercir en el punt.

- Càlculs amb el pes obtingut amb el Catia (30.000 Kg.):

El primer pas en els càlculs, en condicions desfavorables, serà el de la força de fregament que es sofreix en cadascuna de les rodes. Es considera que el pes total del pont reposa en una part proporcional en cadascuna de les rodes, i el fregament entre el coixinet de les rodes de bronze i

les rodes de ferro és de 0,18. Per tant en cadascuna de les rodes obtindríem el següent fregament:

$F_f = N \cdot \mu$

$N = \frac{Pes\ pont}{numero\ de\ rodes} = \frac{300.000N}{4} = 75.000N$

$\mu = 0,18$

$F_f = N \cdot \mu = 75.000N \cdot 0,18 = 13.500N$

Per tant, per poder moure una sola roda és necessària una força de 13.500N. Al ser quatre les rodes, el la força necessària per poder moure-les totes és de 54 KN.

La força que ha d'exercir la roda tractora és de 54KN, ja que aquesta circula a la mateixa distancia de l'eix que les rodes de repòs, per tant no hi apareix la llei de la palanca que disminueixi la força a exercir en el punt.

- Càlculs amb els coixinets engreixats ($\mu = 0,03$) :

Amb 70.000 Kg:

$F_f = N \cdot \mu = \left(\frac{700.000\ N}{4\ rodes} \cdot 0,03 \right) \cdot 4\ rodes = 21.000\ N$

Amb 30.000 Kg:

$F_f = N \cdot \mu = \left(\frac{300.000\ N}{4\ rodes} \cdot 0,03 \right) \cdot 4\ rodes = 9.000\ N$

10.2. Càlcul de sol·licitacions de la estructura del pont

En aquest apartat es calculen les sol·licitacions que tindrà l'estructura del pont. Per poder calcular les sol·licitacions es considera que l'estructura en una única biga.

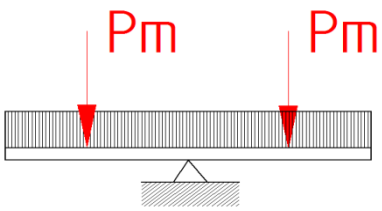
Com en l'apartat anterior, hem considerat dues hipòtesis tenint en compte dues condicions de contorn segons l'estat o configuració de la estructura respecte el seu recolzament. Per una banda hem fet l'estudi en condicions òptimes, que és quan tot el pes d'aquest reposa sobre l'eix central. Per altre banda, també s'ha fet l'estudi en les condicions més desfavorables, que és quan la estructura es recolza per els seus extrems sobre les rodes.

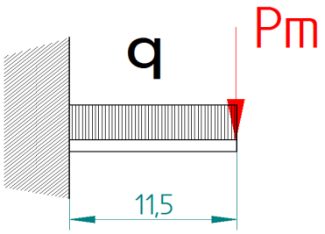
10.2.1. En condicions optimes

Per un costat tenim la carrega repartida (q) que és el pes de la pròpia estructura i per un altre tenim una possible repartició de pesos d'una maquina de vapor.

Per calcular les sol·licitacions d'aquesta estructura s'ha considerat la meitat de la biga com una biga encastada, d'aquesta manera es podran veure les màximes sol·licitacions que tindrà.

S'ha col·locat el possible pes d'una màquina (una part d'ell tenint en compte que un costat és més pesat que l'altre i per tan, s'ha estimat que el pes es repartiria més o menys amb 40.000 kg a la part posterior i 65.000 kg a la part del davant. Per els càlculs s'ha agafat el cas més desfavorable) en l'extrem per calcular la situació més desfavorable.





Pes aproximat de les locomotores més pesades = 105.000 kg

Pm = 65.000 Kg = 650.000 N

q = $\frac{700.000\ \mathrm{N}}{23\ \mathrm{m}}$ = 30.435 N/m

l =11,5 m

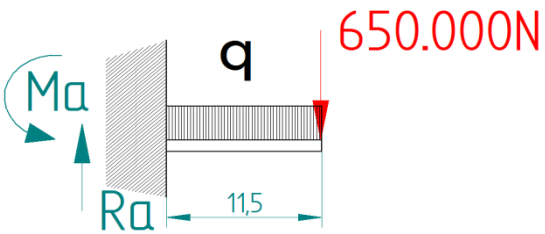
On:

Pm = És una part del pes de la locomotora

q = càrrega repartida al llarg de la estructura deguda al propi pes d'aquesta

l = longitud des de l'eix central a un dels extrems del pont

- Càlcul de reaccions:



$\Sigma Fy = 0$ $\quad -q \cdot L - Pm + Ra = 0$

$Ra = q \cdot L + Pm = 30.435 \cdot 11,5 + 650.000$

$Ra = 1 \cdot 106$ N

$\Sigma Ma = 0$ $\quad q \cdot L \cdot \frac{L}{2} + Pm \cdot L - Ma = 0$

$Ma = q \cdot L \cdot \frac{L}{2} + Pm \cdot L = 30.435 \cdot \frac{11,5^2}{2} + 650.000 \cdot 11,5$

$Ma = 11,5 \cdot 106$ N·m

On:

Ra = Reacció vertical (força) exercida per Pm i q a l'encastament

Ma = Moment exercit per Pm i q a l'encastament

S'ha de tenir en compte que en l'estructura el tallant i el moment màxim es donaran en el punt central del pont. Al representar-ho com una biga encastada (que representa la meitat del pont) obtenim les sol·licitacions de la meitat de la estructura en aquest punt, per tant les veritables reaccions que hi apareixeran en aquet punt seran en doble:

$R_T = 2 \cdot Ra = 2 \cdot 106$ N = 2.000 KN

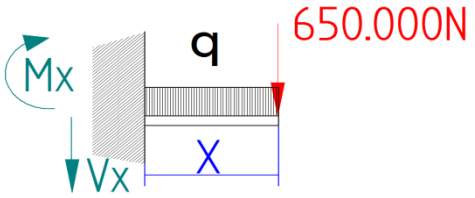
$M_T = 2 \cdot Ma = 23 \cdot 106$ N·m = 23.000 kN·m

On:

R_T = Reaccions totals en el centre de la estructura sencera

M_T = Moment total exercit en el centre de la estructura sencera

- Càlcul de tallants i flectors:



$\Sigma Fy = 0$ $\qquad -q \cdot x - Pm - Vx = 0$

$Vx = -q \cdot x - Pm = -q \cdot x - 650.000$

$\Sigma M = 0$ $\qquad -q \cdot x \cdot \frac{x}{2} - Pm \cdot x - Mx = 0$

$Mx = -q \cdot \frac{x^2}{2} - Pm \cdot x$

- Gràfic de tallants i flectors:

Diagrama de tallants:

$Vx = -q \cdot x - Pm$

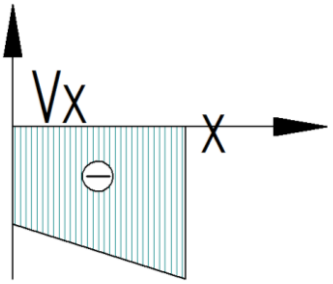
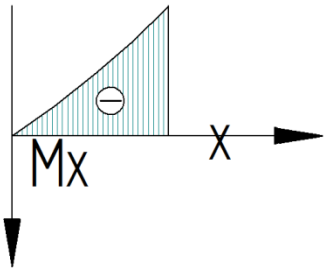


Diagrama de flectors:

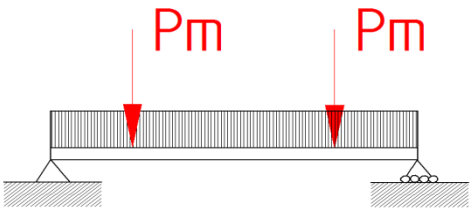
$Mx = -q \cdot \frac{x^2}{2} - Pm \cdot x$



10.2.2. En condicions desfavorables

Per un costat tenim la carrega repartida (q) que és el pes de la pròpia estructura i per un altre tenim una possible repartició de pesos d'una maquina de vapor.

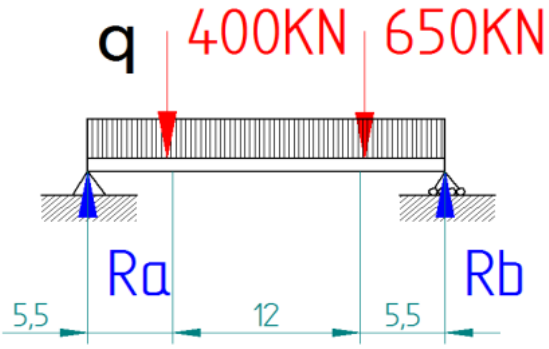
Pes aproximat de les locomotores més pesades = 105.000 Kg



En aquest cas, la repartició no és igualitària, ja que la part frontal d'una maquina pesa més que la posterior. Per aquest motiu, en un del punts aplicarem 65.000 Kg i en l'altre 40.000 Kg.

$q = \frac{700.000\ \mathrm{N}}{23\ \mathrm{m}} = 30.435\ \mathrm{N/m}$

- Càlcul de reaccions:



$\Sigma Fy = 0$ $\quad -q \cdot L - P1 - P2 + RA + RB = 0$

$RA + RB = q \cdot L + P1 + P2$

$RA + RB = 30.435 \cdot 23 + 650.000 + 400.000 = 1.750.000\ \mathrm{N}$

$\Sigma MA = 0$ $\quad q \cdot L \cdot \frac{L}{2} + P1 \cdot 5{,}5 + P2 \cdot 17{,}5 - RB \cdot 23 = 0$

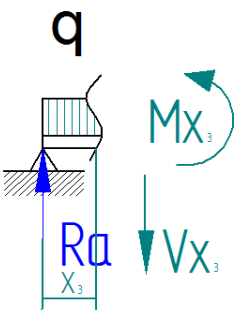
$RB \cdot 23 = 30.435 \cdot \frac{23^2}{2} + 400.000 \cdot 5{,}5 + 650.000 \cdot 17{,}5$

$RB = 940.220\ \mathrm{N}$

$RA = 1.750.000 - RB = 809.780\ \mathrm{N}$

- Càlcul de tallants i flectors:

1. (Vx3 , Mx3) (0 ≤ X3 ≤ 5,5)



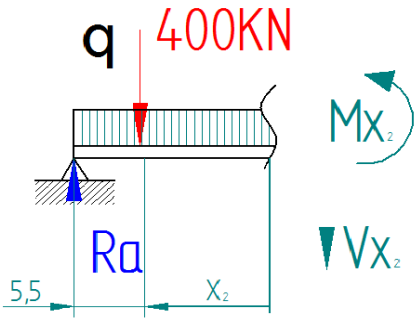
RA – q · X3 – Vx3 = 0 Vx3 = RA – q · X3

-RA · X3 + q · $\frac{X3^2}{2}$ + Mx3 = 0 Mx3 = RA · X3 - q · $\frac{X3^2}{2}$

X3 = 0 - Mx3 = 0

X3 = 5,5- Mx3 = 3.993.460 N·m

2. (Vx2 , Mx2) (0 ≤ X2 ≤ 12)



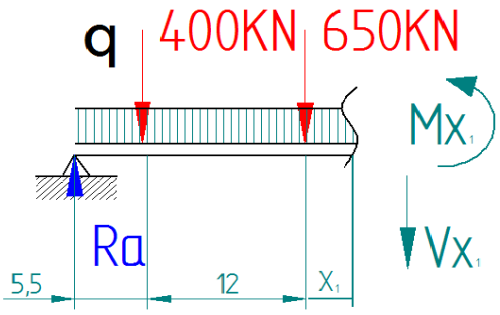
RA – q · X2 – q · 5,5 – P1 – Vx2 = 0 Vx2 = RA – q · X2 – q · 5,5 – P1

-RA · (X2 + 5,5) + q · $\frac{(X2+5,5)^2}{2}$ + P1 · X2 + Mx3 = 0 Mx2 = RA · (X2 + 5,5) - q · $\frac{(X2+5,5)^2}{2}$ - P1 · X2

X2 = 0 - Mx2 = 3.993.460 N·m

X2 = 12 - Mx2 = 6.719.500 N·m

3. (Vx1 , Mx1) (0 ≤ X3 ≤ 5,5)



RA – q · X1 – q · 17,5 – P1 – P2 – Vx1 = 0 Vx1 = RA – q · X1 – q · 17,5 – P1 – P2

$$-RA \cdot (X1 + 17{,}5) + q \cdot \frac{(X1+17{,}5)^2}{2} + P1 \cdot (X1 + 12) + P2 \cdot X1 + Mx1 = 0$$

$$Mx1 = RA \cdot (X1 + 17{,}5) - q \cdot \frac{(X1+17{,}5)^2}{2} - P1 \cdot (X1 + 12) - P2 \cdot X1$$

X1 = 0 - Mx2 = 6.719.500 N·m

X1 = 5,5 - Mx2 = 117 N·m

- Gràfic del tallants i flectors:

Diagrama de tallants:

Vx

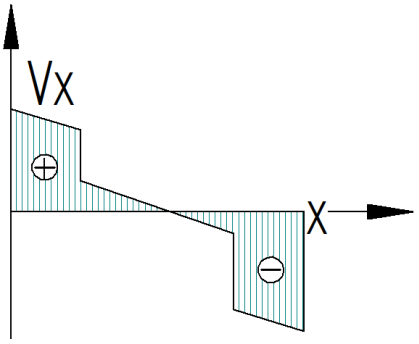
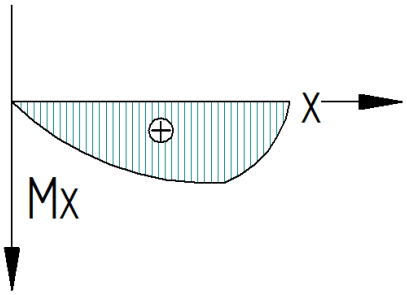


Diagrama de flectors:

Mx



10.3. Càlculs de la cinemàtica dels engranatges i la relació de transmissió

Per a calcular la força que transmet la cabina per a poder moure el pont i la velocitat de gir d'aquest, s'ha d'analitzar el sistema motriu. Aquest està format per un tren d'engranatges rectes que reben el parell d'un motor i el transmeten a la roda tractora, que s'encarrega del moviment del mecanisme.

L'objectiu dels engranatges és transmetre una rotació entre dos eixos amb una relació de velocitats que depèn dels paràmetres de cada engranatge. Així dons es parla de Parell d'Engranatges o Rodes Dentades per referir-se a l'acoblament que s'utilitza per transmetre potència mecànica entre dos eixos mitjançant contacte directe entre dos cossos sòlids units rígidament a cadascun dels eixos.

Els engranatges i les transmissions d'engranatges estan presents en moltes de les màquines que podem trobar al nostre al voltant.

Es daten engranatges de l'any 250 aC., quan Arquímedes va desenvolupar un mecanisme de cargol sense fi – engranatge en els seus dissenys de màquines de guerra. No obstant, la teoria d'engranatges no va millorar fins els segles XV al XVII, quan les teories sobre el disseny dels engranatges i les matemàtiques dels perfils de les dents dels engranatges com ara els perfilis cicloides o els perfils d'evolvent, comencen a ser establerts.

10.3.1. Mecanisme de transmissió

Dintre de la cabina del pont giratori hi trobem el mecanisme de transmissió i tracció del pont. La funció d'aquest sistema és la de transmetre el parell motor giratori que proporciona el motor elèctric a través d'uns engranatges rectes que disminueixen la velocitat angular però augmenten el parell d'aquest. Aquest parell motor acaba en una roda situada sota de la cabina que està en contacte amb una via circular per on es desplaça i provoca el moviment giratori del pont. El moviment circular del pont permet dirigir les vies del pont a les vies corresponents per carregar una locomotora i girar aquesta locomotora enfocant-la a la via de sortida o a l'inrevés.

Les dents dels engranatges del pont giratori estan formades amb perfil d'evolvent, cosa que no és de estranyar ja que el perfil de evolvent data dels segles XV al XVII.

Els principals avantatges del perfil d'evolvent són que la relació entre les velocitats angulars de dos engranatges en contacte es manté constant a mesura que les dents llisquen les unes amb les altres, i aquestes sempre fan contacte al llarg d'una línia recta única per la que es transmet la força de contacte. Per tan, aquest perfil satisfà la llei general de l'engranament i són fàcils de construir ja que es poden dissenyar mitjançant arcs de circumferència. Amb dents d'altres formes, les velocitats i forces augmenten i disminueixen a mesura que les successives dents llisquen entre elles, ocasionant vibració, soroll, i desgast excessiu.

Per accionar el moviment del motor es disposa d'un comandament en forma de maneta. Depenent del sentit de gir que apliquem a la maneta fem que el motor giri en un sentit o en el

altre i per tant fem girar també tot el pont en ambdós sentits.

En l'actualitat el contactor del motor únicament té dues posicions, una per a cada sentit de la marxa, però antigament no era així. En l'interior de la caixa del comandament hi ha uns contactors que al girar l'eix de la maneta entren en contacte amb unes planxes de coure. Això genera que cada vegada que dues planxes fan contacte entra una nova fase de corrent elèctric i així augmenta el rendiment i els cicles del motor.

10.3.2. Disseny dels engranatges

Per a la construcció dels engranatges és molt important el càlcul dels diferents paràmetres dels que dependrà l'engranatge, per al seu posterior ensamblatge i moviment.

Actualment, el disseny d'engranatges està normalitzat per la norma UNE 18016 (creada l'any 1984).

A l'hora d'estudiar la forma, el contacte i la relació que existeix entre els diferents engranatges d'un mateix sistema s'han de tenir en compte les següents mesures i relacions.

- Mòdul (m): es tracta d'una mesura que relaciona el diàmetre primitiu amb el nombre de dents. És una de les dades més important d'un sistema d'engranatges, ja que per a que hi hagi un bon engranament entre dos engranatges en contacte, aquests han de tenir el mateix mòdul.

- Nombre de dents (Z): és el nombre de dents que té un engranatge. Depenent del nombre de dents que tinguin els engranatges en contacte n'obtindrem una reducció o amplificació del parell i la velocitat angular del sistema.

- Diàmetre primitiu (dp): és el diàmetre que haurien de tenir les dues rodes (sense dents) perquè per fricció es mantingui la relació original.

Aquests tres paràmetres es regeixen per la formula:

$$dp = m \cdot Z$$

- Angle de pressió (α): és l'angle en que s'exerceix la pressió entre flancs. Segons la norma UNE 18016 els engranatges utilitzats per a moure càrregues han de tenir un angle de pressió de 20°.

10.3.3. Càlculs cinemàtics

Dintre d'aquest apartat es calcularà la velocitat angular que transmet el mecanisme de transmissió des de l'eix motor fins a la roda tractora i la velocitat angular que tindrà tot aquest conjunt.

10.3.3.1. Velocitats angulars de la transmissió

En primer lloc hem de saber el nombre de dents (Z) o diàmetre primitiu (dp) de cadascun dels engranatges per poder calcular les velocitats relatives entre els diferents eixos de la transmissió.

Com que el diàmetre primitiu no es podia mesurar directament dels engranatges, es va calcular el mòdul dels diferents engranatges per a obtenir aquest diàmetre:

Engranatge	Z (Nombre de dents)	Diàmetre primitiu (dp)
1	18	135
2	75	562,5
3	16	148
4	52	481
5	21	194,25
6	63	582,75

Taula 3 Llistat de propietats dels engranatges

Hem de comprovar que el mòdul dels engranatges que estan en contacte i engranen entre ells siguin els mateixos, ja que així l'ajust entre ells i la transmissió serà perfecte en tot moment.

$$m = \frac{dp}{Z}$$

Engranatges	Mòduls (m)	Angle de pressió (Ø)
1 – 2	7,5	20˚
3 – 4	9,25	20˚
5 – 6	9,25	20˚

Taula 4 Llistat de propietats dels engranatges

A partir d'aquí,

- Càlculs teòrics

Segons la planxa amb la informació tècnica del motor elèctric la velocitat angular que proporciona el motor és de 6526 rpm. Per tenir uns càlculs més exactes utilitzarem els nombres de dents dels engranatges (Z).

W_{Eix1} = 6526 r.p.m.

$W_{Eix2} = W_{Eix1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 6526 \cdot \frac{18}{75} = 1566\, r.p.m.$

$W_{Eix3} = W_{Eix2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} = 1566 \cdot \frac{16}{52} = 482\ \mathrm{r.p.m.}$

$W_{Eix4} = W_{Eix3} \cdot \frac{Z_5}{Z_6} = 482 \cdot \frac{21}{63} = 160{,}7\ \mathrm{r.p.m.}$

Per tant temin que després de la transmissió dels engranatges la velocitat angular de la roda de tracció és de 160,7 rpm. Amb el diàmetre de la roda de tracció podem calcular la velocitat lineal que proporciona aquesta.

d = 660 mm = 0,66 m

r = 330 mm = 0,33 m

w = 160,7 $\frac{rev}{min} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot rad}{1\ reb} \cdot \frac{1\ min}{60\ s}$ = 16,83 rad/s

v = w · r = 16,83 rad/s · 0,33m = 5,55 m/s ≈ 20 Km/h

On:

d = diàmetre de la roda (mm)/(m)

r = radi de la roda (mm)/(m)

w = velocitat angular de la roda (rad/s)

v = velocitat lineal de la roda (m/s)/(km/h)

Finalment podem calcular la velocitat angular que tindrà el pont giratori. Per calcular la velocitat angular calcularem el perímetre de la via per calcular el temps que tarda en donar tota una volta completa.

r = 10,7m

p = 2 · π · R = 2 · π · 10,7 m = 67,23 m

w = 5,55 $\frac{m}{s} \cdot \frac{1\ reb}{67{,}23m} \cdot \frac{60\ seg}{1\ min}$ = 4,957 rpm = 0,52 rad/s

T/volta = $\frac{1\ reb}{4{,}957rpm} \cdot \frac{60\ seg}{1\ min}$ = 12,1 segons

On:

r = radi de la via circular des fossat (m)

p = perímetre de la circumferència descrita per la via circular (llargada de la via) (m)

w = velocitat angular de la roda (rad/s)

T/volta = temps que tarda a fer una volta sencera (s)

En unes condicions idònies, sense fregaments en la transmissió, ni pèrdues de carrega i amb el motor donant el 100% de seu rendiment hauria de donar una volta sencera en poc més de 12 segons.

10.3.3.2. Càlculs experimentals

Un cop fet els càlculs teòrics es va decidir mesurar la velocitat angular dels tres eixos accessibles amb un tacòmetre, ja que la realitat mai és com la teoria degut a que aquesta es basa en condicions ideals. Els resultats de les tres mesures han estat els que apareixen en la següent taula de valors:

Eix	W (rpm)
1	4900
2	1230
3	330

Taula 5 Mesures del tacòmetre

A continuació tornem a calcular les velocitats angulars dels eixos respecte els anteriors per veure si les relacions que hem fet avanç són correcte. Per realitzar el càlcul tornarem a agafar com a referencia el nombre de dents dels engranatges.

W_{Eix1} = 4900 rpm

$W_{Eix2} = W_{Eix1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 4900 \cdot \frac{18}{75} = 1176\ rpm$ ≈ 1230 rpm

$W_{Eix3} = W_{Eix2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} = 1230 \cdot \frac{16}{52} = 378,5\ rpm$ ≈ 330 rpm

$W_{Eix4} = W_{Eix3} \cdot \frac{Z_5}{Z_6} = 330 \cdot \frac{21}{63} = 110\ rpm$

Espot observar que els valors són lleugerament diferents als mesurats. Es va decidir utilitzar els valors experimentals per a fer els càlculs per no arrossegar l'error durant tots els càlculs i fer-ho més real. Finalment tenim que després de la transmissió dels engranatges la velocitat angular de la roda de tracció realment és aproximadament de 110 rpm. Amb el diàmetre de la roda de tracció ara podem tornar a calcular la velocitat lineal que proporciona aquesta en el pont giratori.

d = 660mm = 0,66m

r = 330mm = 0,33m

w = 110 $\frac{reb}{min} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot rad}{1\,reb} \cdot \frac{1\,min}{60\,s}$ = 11,52 rad/s

v = 11,52 rad/s · 0,33m = 3,8 m/s ≈ 13,7 Km/h

Finalment podem calcular la velocitat angular que tindrà el pont giratori. Per calcular la velocitat angular la calcularem altre cop el perímetre de la via per calcular el temps que tarda en donar tota una volta completa.

r = 10,7m

p = 2 · π · R = 2 · π · 10,7 m = 67,23 m

w = 3,8 $\frac{m}{s} \cdot \frac{1\,reb}{67{,}23m} \cdot \frac{60\,seg}{1\,min}$ = 3,39 rpm = 0,355 rad/s

T/volta = $\frac{1\,reb}{3{,}39rpm} \cdot \frac{60\,seg}{1\,min}$ = 17,7 segons ≈ 18 segons.

Finalment es pot concloure que en condicions perfectes tant de tracció com de transmissió, tenint un engranatge perfecte i lliure de fricció en els eixos, el pont giratori podria donar tota una volta completa en 18 segons.

Tot i això, el temps real és més elevat ja que no es té en compte la càrrega que ha de moure ni les pèrdues pel fregament dels diferents components.

10.4. Càlculs del parell motor del sistema motriu

Per a fer l'estudi de la força exercida per el sistema motriu, s'ha de calcular el parell motor que transmet el motor elèctric i el parell que s'exerceix a la roda motriu per a que aquesta avanci per la via circular del fossat.

Per poder conèixer el parell motor que està transmetent el motor elèctric asíncron al sistema de transmissió s'ha de calcular la potència del motor i la velocitat angular a la que gira.

$$P = M \cdot w$$

On:

P = Potència (W)

M = Parell motor (N·m)

W = Velocitat angular (rad/s)

Aquest estudi s'ha realitzat amb les dades proporcionades pel fabricant del motor mitjançant càlculs teòrics i mitjançant càlculs experimentals, amb dades mesurades directament del sistema motriu.

10.4.1. Càlculs teòrics

Gràcies a la informació obtinguda de la placa del motor, en el que apareixen les característiques tècniques del motor, tenim que:

Av = 210 V

I = 32 A

w = 6526 rpm = 683,4 rad/s

P = Av · I = 210 · 32 = 6.720 W ≈ 9,13 cv

$M = \frac{P}{w} = \frac{6720}{683,4} = 9,83$ N·m

On:

Av = Voltatge nominal de la xarxa elèctrica (v)

I = Intensitat de corrent consumida pel motor (A)

w = velocitat angular (r.p.m.)

P = Potència (W)/(cv)

M = Parell motor (N·m)

Per tant el parell motor que obtenim del motor asíncron és de 9,83 N·m. Aquest està connectat directament a la transmissió reductora formada per un tren d'engranatges, la funció del qual és rebaixar la velocitat angular i augmentar el parell motor.

Primer de tot es calcularà el coeficient de reducció del sistema de transmissió:

$$C = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \frac{Z_5}{Z_6} = \frac{18}{75} \cdot \frac{16}{52} \cdot \frac{21}{63} = 0{,}0246$$

Un cop tenim el coeficient de reducció, aquest l'apliquem al parell motor inicial per obtenir el moment que obtenim en la roda tractora. A continuació dividim el parell motor que tenim en l'eix de la roda per el radi d'aquesta, que són 0,33m i obtenim la força exercida entre la superfície de la roda i el rail.

$$M_f = \frac{M_i}{c} = \frac{9{,}83 N \cdot m}{0{,}0246} = 399{,}6 \text{ N·m}$$

$$F_{SM} = \frac{M_f}{R_{roda}} = \frac{399{,}6 N \cdot m}{0{,}33 m} = 1.210{,}9 \text{ N}$$

On:

M_i = Parell motor exercit pel motor al primer eix del sistema

M_f = Parell motor final exercit sobre la roda motriu

F_{SM} = Força exercida pel sistema motriu sobre la roda tractora (la que fa moure la cabina i el pont)

Per veure el grip que hi ha entre la roda tractora i la via circular i així comprovar que aquesta no llisca amb el parell exercit, calcularem el fregament que existeix entre aquests dos components amb el coeficient de fregament de ferro contra ferro:

$\mu_e = 1$

$F_f = N \cdot \mu \geq 1.210{,}9$ N

Com que no se sap el pes real de la cabina, es calcularà el pes mínim que hauria de tenir per a que la roda tractora no llisqui i tingui suficient tracció per a rodar:

N = Pes de la cabina

$N \geq \frac{F_f}{\mu e} = \frac{1210{,}9\ N}{1} = 1.210{,}9\ N$

On:

N = Força normal que exerceix la cabina sobre el rail

El resultat és que la cabina necessita un pes mínim de 121,1 Kg per a no lliscar ella sola sobre la via circular del fossat.

10.4.2. Càlculs experimentals

Un cop s'han obtingut els resultats dels càlculs teòrics, ara es realitzaran els càlculs amb les dades que s'han obtingut experimentalment. S'ha mesurat la intensitat que consumeix el motor amb un amperímetre, la velocitat angular de l'eix motor amb un tacòmetre i donem per suposada la tensió nominal de la xarxa, que és de 230 V. Per tant, s'ha de calcular el parell motor:

Av = 230 V

$I_{Estator}$ = 21 A

I_{Rotor} = 15,5 A

$I_{Total} = I_{Rotor} + I_{Estator}$ = 36,5 A

w = 4900 rpm = 513,13 rad/s

P = Av · I = 230 · 36,5 = 8.395 W ≈ 11,4 cv

$M = \frac{P}{w} = \frac{8.395}{513{,}13} =$ 16,36N·m

On:

Av = tensió nominal de la xarxa elèctrica (v)

$I_{Estator}$ = Intensitat que consumeix l'estator (A)

I_{Rotor} = Intensitat que consumeix el rotor

I_{Total} = Intensitat total consumida pel motor

w = velocitat angular (r.p.m.)

P = Potència del motor (W)

M = Parell motor (N·m)

Per tant el parell motor que s'obté experimentalment amb el motor d'inducció asíncron és de 16,36 N·m. El coeficient de reducció s'aplicarà al parell motor inicial per obtenir el parell motor que tenim en la roda tractora. Finalment, dividint el moment flector que obtinguem en l'eix de la roda amb el radi d'aquesta, que són 0,33m, obtindrem la força que exercirà la roda sobre la via circular:

C = 0,0246

$M_f = \frac{M_i}{c} = \frac{16{,}36\ N{\cdot}m}{0{,}0246} = 665{,}06 N{\cdot}m$

$F_{SM} = \frac{M_f}{R_{roda}} = \frac{665{,}06 N{\cdot}m}{0{,}33 m} = 2015{,}32\ N$

On:

C = Coeficient de reducció del sistema motriu

M_i = Parell motor exercit pel motor al primer eix del sistema

M_f = Parell motor exercit sobre la roda tractora

F_{SM} = Força exercida pel sistema motriu sobre la roda tractora

Per veure el grip que hi ha entre la roda tractora i al via circular i així comprovar que aquesta no llisca amb el nou parell calculat, calcularem el fregament que existeix entre aquests dos components amb el coeficient de fregament de ferro contra ferro:

$\mu_e = 1$

$F_f = N \cdot \mu_e \geq 2015{,}32\ N$

Com que no se sap el pes exacte de la cabina, es calcularà el pes necessari d'aquesta, per a que la roda tractora no llisqui:

N = Pes de la cabina

$N \geq \frac{F_{fr}}{\mu} = \frac{2015{,}32\ N}{1}$ =2015,32 N

On:

N = Força normal que exerceix la cabina sobre el rail

El resultat és que la cabina necessita un pes mínim de 201,5 Kg per a no lliscar ella sola sobre la via circular.

Finalment, per poder saber el pes aproximat que poden tenir tant el pont com la cabina s'ha utilitzat el programa de disseny dels components en 3D. Segons el Catia, després d'haver assignat el material a cadascun dels components, s'ha obtingut que el pes de la cabina és de 3.094 kg. Per tan, podem assegurar que en els dos casos, la roda no lliscaria

10.5. Dimensionament de l'eix central

En aquest apartat s'ha dimensionat l'eix central, que és l'element estructural que està sotmès a les majors sol·licitacions, ja que és on es recolza tota la estructura del pont.

Per a fer aquest dimensionament, s'ha considerat que aquest esta sotmès a esforços torsió, deguts al fregament ocasionat al girar la estructura del pont i a compressió, deguts al propi pes del pont.

10.5.1. Compressió

L'esforç a compressió és l'esforç que pateix l'eix central, ja que com a mínim ha de suportar les 30 Tn del pes del pont. En aquest, cas a més del pes del pont, li sumarem el cas més desfavorable, que dues maquines estiguessin sobre del pont, incrementant així 230 tones. Per tant es calcularà l'esforç a compressió que ha de suportar un eix de 300mm de diàmetre de fossa gris FG 35 (UNE 36.111) amb una resistència a la compressió de 965Mpa, en el que hi reposa un total de 300 Tn.

$T_{màx}$ = 965 MPa

F = 3.000.000 N

R= 300 mm

$T_{màx} = \frac{F}{A}$

A = π · R2 - π · r2 = π · 3002 - π · r2 = (90.000 - r2) · π

$A = \frac{F}{Tmàx}$

$(90.000 - r2) \cdot \pi = \frac{3.000.000}{965}$

$90.000 - r2 = \frac{3.000.000}{965 \cdot \pi}$

$r2 = 90.000 - \frac{3.000.000}{965 \cdot \pi} = 3031.6 = 89.010$ mm

$r = \sqrt{80.104} = 298$ mm

$gruix = \frac{R-r}{2} = 1$ mm

Per tant, amb un gruix lleugerament superior a 1mm hauria de ser suficient per poder sostenir tota l'estructura i la locomotora.

10.5.2. Torsió

L'esforç de torsió apareixerà en l'eix central degut al fregament entre l'eix i la tapa superior del pont. En condicions idònies l'eix estarà engreixat i el seu coeficient de fregament serà de 0,03, però nosaltres farem el càlcul en les condicions més desfavorables. Per tant es considerarà que el ferro i el coure estan en contacte sense cap capa lubricant que propici el lliscament entre les dues superfícies. El coeficient de fregament entre ferro i coure és del 0,35.

$F = N \cdot \mu e$

$N = Pes = 300.000\ Kg = 3.000.000\ N$

$\mu e = 0,35$

$F = N \cdot \mu e = 3.000.000\ N \cdot 0,35 = 1.050\ KN$

Aquesta força de 1.050 KN s'exerceix en un eix, el radi del qual és de 150 mm, per tant podem calcular el parell que s'aplicarà en l'extrem de l'eix.

$M = F \cdot R = 1.050 \cdot 0,3 = 315\ kN{\cdot}m = 315 \cdot 106\ N{\cdot}mm$

$T_{màx} = 515\ MPa$

$T_{màx} = \frac{\text{Torsió}}{\text{Io}} \cdot R$

$Io = \frac{\pi}{32} \cdot d4 = \frac{\pi}{32} \cdot 3004 = 795,22 \cdot 106\ mm4$

$T_{màx} = \frac{315 \cdot 10^6}{795,22 \cdot 10^6} \cdot 150 = 59,4\ MPa$

La màxima sol·licitació que rebrà a torsió l'eix és de 59,4 MPa, mentre que el seu límit està molt lluny d'aquesta xifra, a 515 MPa. Ara calcularem amb quin radi d'eix seria suficient per poder resistir la torsió de l'eix:

$d3 = \frac{\text{Torsió} \cdot 32}{2 \cdot \pi \cdot \text{Tmàx}} = \frac{315 \cdot 10^6 \cdot 32}{2 \cdot \pi \cdot 515} = 3,115 \cdot 106$

$d = 146mm$

Amb un eix de diàmetre de 146 mm seria suficient per aguantar les sol·licitacions a torsió esmentades.

10.6. Simulació d'elements finits de l'eix central

Per a complementar els càlculs de l'eix central, s'ha realitzat una simulació d'elements finits amb el software Catia.

Aquesta simulació, permet aplicar els esforços i sol·licitacions a la que està sotmès el component per a veure com reacciona a nivell de tensions i deformacions i poder observar quins són els punts més crítics.

A continuació es mostren tots els passos seguits per a realitzar la simulació:

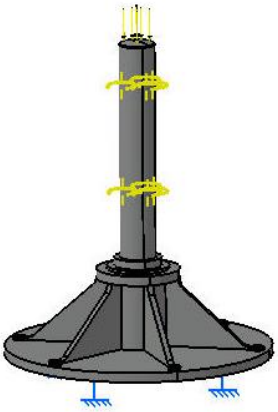
Primer de tot s'ha d'aplicar el material a l'element a analitzar. En aquest cas es tracta d'una fosa gris. Degut a que el programa no disposava d'aquest material, es van buscar les seves propietats i es va crear el material.

A continuació s'han de definir les condicions de contorn. A partir d'aquí es van suposar dues hipòtesis per a determinar la càrrega aplicada a l'eix:

- 1ª hipòtesi: suposant només la càrrega del pont
- 2ª hipòtesi: suposant el pes de dues locomotores a dalt del pont (el cas més desfavorable).

10.6.1. Primera hipòtesi

- S'ha considerat que l'eix està encastat per la seva base
- S'ha considerat una força aplicada a la part superior i repartida en la seva superfície de 300000 N
- S'ha considerat un moment torçor degut a la força de fregament del contacte entre l'eix i la estructura de 21000 N



Per a poder realitzar la simulació i observar bé els resultats s'ha d'escollir la mida del mallat adequada per a obtenir una bona precisió. En aquest cas s'ha escolli el mallat amb els paràmetres següents:

Size 62.5 mm

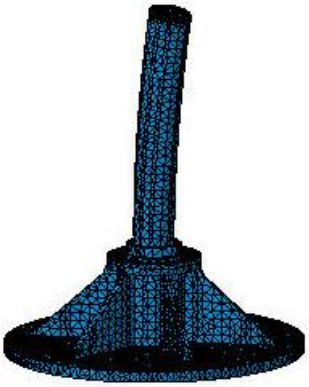
Absolute sag 10 mm

Un cop definides les condicions de contorn i el mallat corresponent, el programa fa els càlculs pertinents i dóna el resultat de la simulació en diferents paràmetres. A aquests resultats se'ls hi aplica un factor d'escala per a poder apreciar-los més fàcilment, ja que en general, acostumen a ser imperceptibles a simple vista. En el nostre cas, s'ha aplicat un factor d'escala de 500:1.

Els resultats obtinguts són els següents:

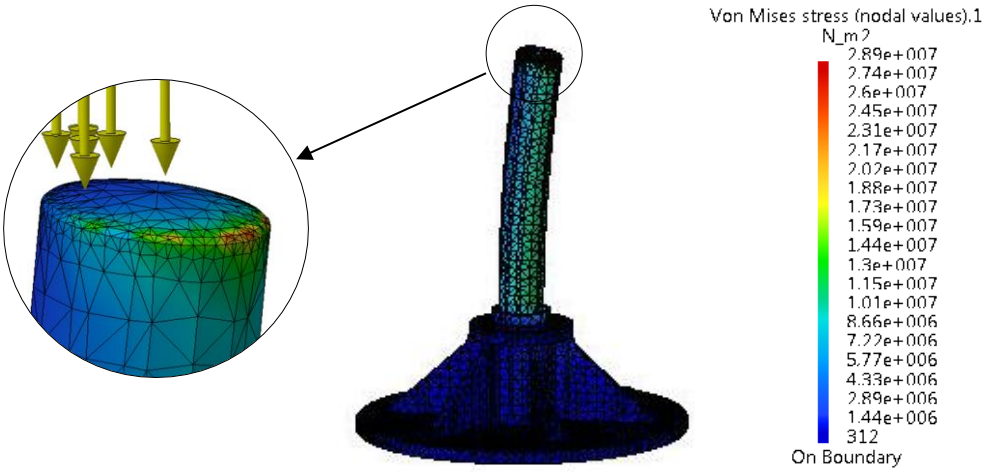
- Deformació

En aquest cas, la simulació ens mostra, a nivell visual, com es produirà la deformació de l'element un cop aplicades les sol·licitacions corresponents:



- Tensions de Von Mises

Aquest resultat ens mostra les tensions que pateix el material en tota la seva estructura un cop aplicades les sol·licitacions corresponents.

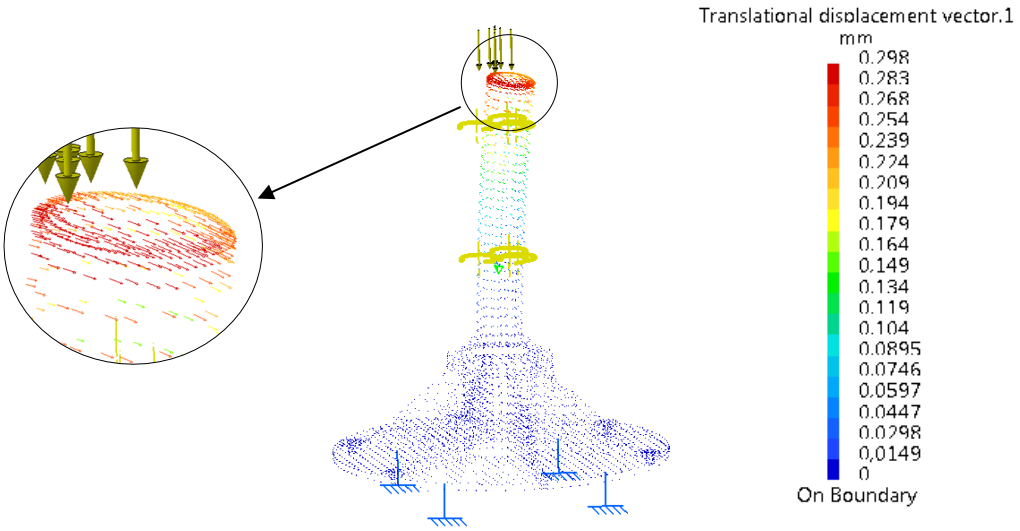


Com es pot observar, el punt més crític es troba a la part superior de l'eix, que és la part que rep directament les sol·licitacions. La tensió màxima produïda en l'eix central és de:

$$2.89 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 = 28.9 \text{ MPa}$$

- Desplaçament

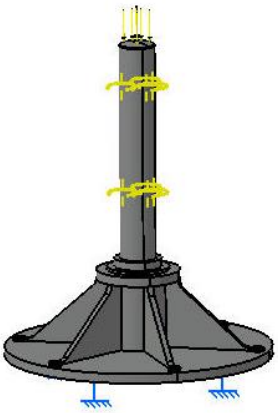
En aquest cas es pot observar el desplaçament dels diferents punts de l'eix degut a les sol·licitacions aplicades.



En aquest cas, veiem que el desplaçament més gran es torna a produir a la part superior de l'eix, ja que és per on aquest es deforma. El desplaçament més gran és de 0.298 mm.

10.6.2. Segona hipòtesi

- S'ha considerat que l'eix està encastat per la seva base
- S'ha considerat una força aplicada a la part superior i repartida en la seva superfície de 300000 N
- S'ha considerat un moment torçor degut a la força de fregament del contacte entre l'eix i la estructura de 21000 N



Per a poder realitzar la simulació i observar bé els resultats s'ha d'escollir la mida del mallat adequada per a obtenir una bona precisió. En aquest cas s'ha escolli el mallat amb els paràmetres següents:

Size 62.5 mm

Absolute sag 10 mm

Un cop definides les condicions de contorn i el mallat corresponent, el programa fa els càlculs pertinents i dóna el resultat de la simulació en diferents paràmetres. A aquests resultats se'ls hi aplica un factor d'escala per a poder apreciar-los més fàcilment, ja que en general, acostumen a ser imperceptibles a simple vista. En aquest cas, s'ha aplicat un factor d'escala de 100:1.

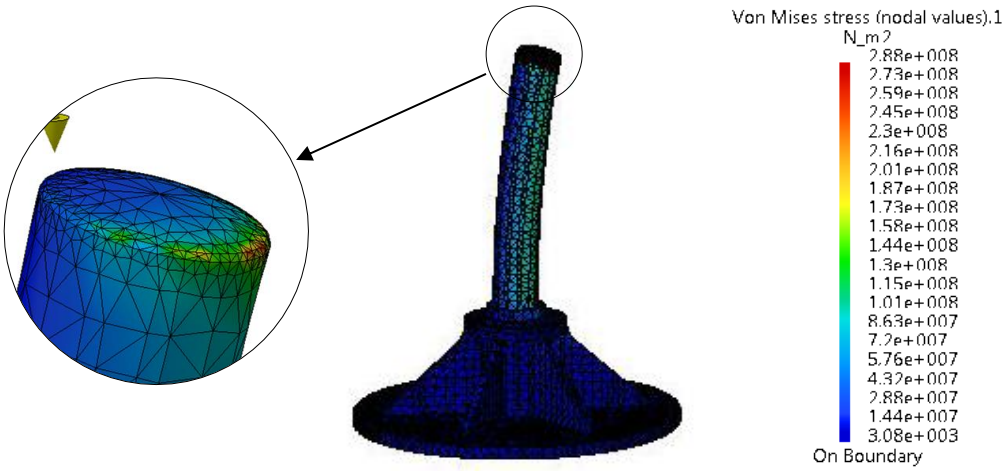
Els resultats obtinguts són els següents:

- Deformació

En aquest cas, la simulació ens mostra, a nivell visual, com es produirà la deformació de l'element un cop aplicades les sol·licitacions corresponents:

- Tensions de Von Mises

Aquest resultat ens mostra les tensions que pateix el material en tota la seva estructura un cop aplicades les sol·licitacions corresponents.

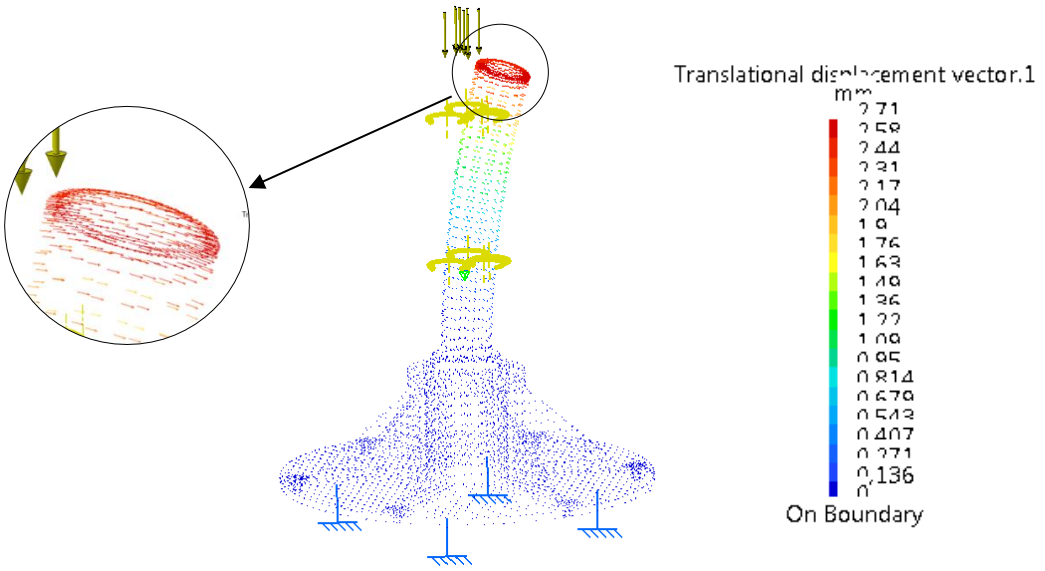


Com es pot observar, el punt més crític es troba a la part superior de l'eix, que és la part que rep directament les sol·licitacions. La tensió màxima produïda en l'eix central és de:

$$2.88 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 = 288 \text{ MPa}$$

- Desplaçament

En aquest cas es pot observar el desplaçament dels diferents punts de l'eix degut a les sol·licitacions aplicades.



En aquest cas, veiem que el desplaçament més gran es torna a produir a la part superior de l'eix, ja que és per on aquest es deforma. El desplaçament més gran és de 2.71 mm.

10.6.3. Conclusions

Un cop feta la simulació podem observar que tan les tensions com les deformacions estan dintre dels límits tenint en compte les propietats del material i la geometria de l'element.

Ple que fa a la tensió, la fosa gris és capaç d'aguantar una tensió de fins a 2520 Mpa a compressió, depenent del tipus de fosa gris. En el nostre cas, per una fosa FG 35 (UNE 36.111) estaria entre 930 i 1370 Mpa, i la obtinguda en la simulació és de 28.9 Mpa en la primera hipòtesi i de 288 Mpa en la segona.

Pel que fa a la deformació, la deformació admissible abans de la ruptura de la fosa gris oscil·la entre un 1 i un 25 % depenent del tipus de fosa gris, per tan, una deformació de 0.298 mm o de 2.71 mm entra dins d'aquests valors.

Fins i tot, es pot observar que aquest element, al ser completament massís, està bastant sobredimensionat.

11. Plànols 2D de les diferents instal·lacions i components modelats

Un cop realitzats els models en tres dimensions, es van extreure diferents plànols en 2D de les instal·lacions i d'alguns dels seus components. A alguns d'ells se'ls hi va afegit algunes de les cotes principals per a tenir una idea de les seves dimensions.

La relació dels plànols amb el seu contingut és la següent:

1. Instal·lacions exteriors del museu

Perspectiva general de tots els elements modelats en la seva ubicació real.

2. Pont giratori

Perspectiva general del pont giratori amb la cabina i el fossat.

3. Secció del fossat amb el pont giratori

Secció de l'encofrat del fossat amb el pont giratori en la seva posició dins d'aquest per a veure la seva interacció.

4. Vistes principals del pont giratori

Representació de les vistes principals del pont giratori amb les seves mides generals.

5. Vistes principals de la cabina

Representació de les vistes principals de la cabina amb les seves mides generals.

6. Explosionat de les rodes

Representació explosionada del conjunt de la roda amb la relació dels els seus components.

7. Explosionat del sistema motriu

Representació explosionada del conjunt del sistema motriu amb la relació dels els seus components.

8. Edifici de la Rotonda

Representació de les vistes principals de la Rotonda amb les seves mides generals

9. Estructura de la Rotonda

Representació de les vistes principals de la estructura de la Rotonda amb les seves mides generals.

10. Dipòsit d'aigua

Representació de les vistes principals del dipòsit d'aigua amb les seves mides generals.

12. Pressupost

Des de l'inici del projecte s'han comptabilitzat les hores, mitjançant una fulla de càlcul Excel, en la que s'ha reflectit el treball realitzat per les dues persones que l'hem estat duent a terme treballant durant aquests quatre mesos. No només s'han contat les hores que fèiem cada dia tant en grup com individualment, sinó que també s'anotaven aquestes hores en tres paràmetres segons els treballs realitzats.

En un primer grup d'hores hi trobem les hores anomenades "museu". En aquest grup es contemplen tant els treballs de mesura que s'han duta a terme, com les tasques de manteniment del pont, entrevistes i recerca històrica en la biblioteca del propi museu i amb el personal encarregar de la documentació històrica.

En el segon grup d'hores hi trobem el "modelat". Aquest grup comptabilitza el nombre d'hores que es varen destinar a elaborar els plànols en 2D per verificar les cotes preses experimentalment i les hores destinades a elaborar els models en 3D. En definitiva, són les hores destinades al treball amb eines CAD.

Finalment tenim el tercer i últim grup, el de "investigació i redacció". En aquest grup s'hi comptabilitzen totes les hores que s'han destinat al llarg del projecte per fer recerca històrica tant per internet, com en l'arxiu comarcal del Garraf. També hi són les hores que es varen precisar per anar a veure altres instal·lacions, com les de Lleida o les de Mora la Nova. Finalment també hi consten les hores utilitzades per a la redacció d'aquesta memòria del projecte i per la realització dels càlculs analítics i els anàlisis dels materials al laboratori.

El projecte es va començar a desenvolupar al més de Març. En la taula que apareix a continuació hi ha una mostra de les hores que es varen realitzar cada mes desglossades en els tres grups que s'han descrit anteriorment.

	Museu	Modelat i 3D	Redacció i investigació	TOTAL
Març	20	4	37	61
Abril	74	102,5	53	229,5
Maig	39,5	180	58	277,5
Juny	8	189	154	351
TOTAL	**141,5**	**475,5**	**302**	**919**

Taula 6 Relació dels mesos amb les hores invertides en cada grup

A continuació es presenta una taula amb el pressupost del que ha significat la elaboració del projecte.

Tasca	€/hora	Nº total hores	Total €
Museu	8	141,5	1132
Modelat	20	475,5	9510
Redacció i càlculs	15	302	4530
Digitalització històrica		2	157
Material		2	46
Preparació de mostres (€ per mostra)	144	2	288
Anàlisis mostres microscòpia òptica	32	3	96
Anàlisis mostres SEM	89	4	356
Operari SEM	87	4	348
Total			**16463**
IVA 21%			3457,23
Amortització			1482,6
Preu total amb IVA			**21402,83**

Taula 7 Taula resum del pressupost del projecte

En el preu per hora s'han considerat preus del mercat actual. Els preus són diferents entre ells, ja que es considera que les diferents accions descrites poden ser dutes a terme per gent amb diferent perfil professional. A continuació es comenta el perfil professional que es necessitaria per cadascun dels camps:

- Museu: la feina desenvolupada en el museu del ferrocarril, sobretot la presa de mesures i recerca d'informació dintre del recinte és una feina a desenvolupar per un becari.

- Modelat: a l'hora de realitzar els diferents modelats es necessitaria un delineant, per els plànols en 2D, i un enginyer especialitzat en programes de modelat en 3D i simulacions de components (eines CAD).

- Redacció i càlculs: tant la redacció com els càlculs del projecte són feines que hauria de realitzar un enginyer, ja que es tracta de dimensionaments i sol·licitacions de components i estructures complexes. Per tant és una tasca a desenvolupar per un enginyer industrial, a poder ser especialitzat en mecànica.

En el pressupost també s'hi ha fet constar tant els preus de la digitalització de documents històrics, com el preu dels anàlisis de materials que s'han estat duent a terme en el CDAL del centre tecnològic i el material que s'ha hagut d'adquirir per poder realitzar correctament el projecte.

En els preus del CDAL s'han hagut de fragmentar en diferents apartats, ja que la generació i preparació de les provetes te un preu, els dos anàlisis realitzats a les mostres obtingudes tenen també preus diferents.

També cal destacar que és necessari una persona especialitzada per realitzar els anàlisis de les provetes en el SEM.

Sobre el preu obtingut s'ha sumat l'amortització, que és del 10% sobre el preu de les accions o objectes que han sofert un desgast durant la realització d'aquest. També s'ha sumat l'IVA del 21% en el preu final.

Finalment la suma dels costos del projecte ascendeix a la quantitat total de 21.402,83 € amb l'IVA inclòs.

13. Conclusions

Un cop finalitzat el projecte de final de carrera el primer que hem de fer és un anàlisi sobre si s'han assolit els objectius que ens havíem plantejat des d'un inici. Els objectius del projecte consistien en el modelat tridimensional del pont, la cotxera i el dipòsit, els quals han estat assolits. També s'han realitzat la resta de les tasques que s'havien nombrat en els objectius del projecte. Per tant es pot certificar que s'han realitzat tots els objectius que des d'un inici s'havien plantejat en el projecte.

A més s'han realitzat apartats que inicialment no s'havien pensat, però que s'ha trobat interessant investigar, com el sistema elèctric que envolta el motor asíncron d'anelles fregants o la determinació dels materials que composen el pont, que han estat analitzats per especialistes.

Un altre punt del projecte que ha estat el més gratificant ha estat en el que s'ha aplicat enginyeria sobre l'estructura per aconseguir que aquesta funcionés millor, ja que aquesta lliscava. Desprès de fer una petita modificació sobre una estructura de 70 tones i acabar amb greix centenari fins els colzes, veure que el funcionament del pont havia millorat va ser molt gratificant. No tan sols això, sinó que a les poques setmanes es va utilitzar per moure una gran quantitat de locomotores, que degut al seu mal funcionament s'havia plantejat que provablement es tardaria força en poder fer tots els moviments, però en un sol matí es va poder dur a terme.

La realització d'aquest projecte de forma altruista comporta dotar al Museu del Ferrocarril de Catalunya, de Vilanova i la Geltrú, de nou material que complementarà el existent i aportarà de nou a un dels camps on no s'hi destinen molts fons, com és l'àmbit de la conservació de patrimoni històric. Ara el Museu disposarà d'aquesta informació digital que sempre podrà ser consultada per qualsevol problema que pugui sorgir o utilitzar-la com a material didàctic.

Una cosa que també quedarà d'aquest projecte són tots els plànols realitzats amb les diferents peces que composen el pont, que estan acotades per si alguna vegada fes falta demanar una peça en concret, tenir totes les dades disponibles. També els plànols del conjunt del pont, ja que al llarg d'aquest projecte s'ha trobat un plànol del pont genèric de 23 metres que instal·lava la MZA, però aquest, igual que altres, va ser modificat per fer-lo més còmode a les instal·lacions, i ara es tenen uns plànols que són del pont giratori de Vilanova i la Geltrú.

Durant el transcurs del projecte s'han utilitzat molts dels coneixements adquirits al llarg dels anys que s'han cursat els estudis universitaris, aquests han estat constatats en els diferents càlculs i justificacions que apareixen al llarg del projecte. Tot i que s'han anat preguntant puntualment alguns dubtes als professors més especialitzats en cadascun dels àmbits. El projecte ha anat evolucionant al llarg del temps gracies sobretot a alguns professors que volien aprofundir més en les seves especialitats, han estat els casos d'electricitat i materials, en els que els professors van animar i ajudar per aprofundir en les seves especialitats.

Finalment es vol deixar constància de que el fet de realitzar un projecte sobre unes grans estructures, que han estat palpables des d'un inici i que tothom qui ha pogut ha participat i ens ha ofert un temps per ajudar en el desenvolupament del projecte i que han escotat i valorat cadascuna de les propostes proposades ha estat una gran experiència per finalitzar uns estudis tant analítics com han estat els de Enginyeria Tècnica Industrial Mecànica.

14. Bibliografia

14.1. Publicacions escrites

- Recerca històrica i documental

  - *Revista de história ferroviaria: El inventario de puentes giratorios de Renfe de 1946*. Pedro Pintado Quintana. Editorial Trea S.A, 2004.

  - *Revista de obras públicas: La Industria ferroviària*. Asosiación de ingenieros de caminos.

  - *Revista de obras públicas: Nuevo tipo de Puente giratorio*. Asosiación de ingenieros de caminos.

  - *Revista de obras públicas: Un nuevo tipo de rotonda para depósito de máquinas*. Asosiación de ingenieros de caminos.

  - *La tracción por vapor en los ferrocarriles: Placas y puentes giratorios*. Silvio Rahola, Enginyer Industrial. Libreria internacional de Romo, 1993. Madrid

  - *Arquitectura y Arqueologia Industrial de la Estación de Madrid-Delicias*. Nuria Torres Ballesteros. Museo del Ferrocarril de Madrid, Juny del 1983.

  - *Projecte d'enginyeria: Projecte de Museu Ferroviari a Vilanova I la Geltrú. Primera fase*. Ricard Gili, Jordi Cuadrat, Josep Llinàs, Arquitectes. Arxiu Comarcal del Garraf, Juny del 1983.

  - *Viatges de la memòria: entre fum i carbó*. Joan Alberich González, Anna Punyet León, Pilar Garcia Fuertes i Judith barbacil i Mestres. Gràfiques el campanar, Abril de 2009.

- Informació tècnica

  - *Timoshenko: Resistencia de materiales*. James M. Gere. Editorial Thomson Paraninfo.

  - *Sistemas Automaticos de Producción Alimentaria*. I.E.S. Andrés de Vandelvira, Departamento de SAP.

  - *Disseny de màquines IV. Selecció de materials I; Metalls: Acers i Foses*. C. Riba I Romeva. Edicions UPC 1998.

14.2. Planes Web

- Recerca històrica i documental
  - *Blog del museu del Ferrocarril de Vilanova I la Geltrú.*

  http://museuferrocarrilblog.com

  - *Informació sobre el Centre d'Interpretació del Ferrocarril de Móra la Nova*

  www.appfi.net

- Informació tècnica
  - *Matweb: Informació tècnica somber materials.*

  www.matweb.com

15. Agraïments

- Museu del ferrocarril de Vilanova i la Geltrú.
  - Pilar. Directora del Museu del Ferrocarril de Catalunya.
  - Jordi. Cap de manteniment del Museu del Ferrocarril de Catalunya.
  - Fernando. Cap del arxiu documental del Museu del Ferrocarril de Catalunya.
  - Juan. Oficial de manteniment del Museu del Ferrocarril de Catalunya.
- Pedro Jiménez Parra. Informador i ex treballador del taller RENFE de Vilanova i la Geltrú.
- Jordi Sasplugas i Deu. President de APPFI (Amics del Ferrocarril de Móra la Nova).
- Manuel López Membrilla. Director i tutor del projecte.
- Alejandro Arbós. Professor de la UPC i expert en CATIA V5.
- Enric Martín i Fuentes i al CDAL (Centre de disseny d'aliatges lleugers i tractaments de superfícies). Departament de materials del Centre tecnològic de l'EPSEVG.
- Manuel Liebanas Cruz. STL (Tècnic de Laboratori)
- Juan José Vázquez Solsona. Director titulació ETIM.
- Carles Fisac Fuentes. ETIM (Enginyer Tècnic Industrial en Mecànica) especialitzat en CATIA V5.

Annexes

Contingut

Annex 1 – Plànols de la recerca històrica

Annex 2 – Croquis del procés de modelat

Annex 3 – Plànols 2D dels croquis en Solid Edge

Annex 4 – Dades extretes de l'anàlisi dels Materials amb el SEM i amb el Matweb