



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DEGRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**IMPLEMENTACIÓ D'UN NOU SISTEMA DE PRECÀRREGA DE
BIGUETES TIPUS NOUBAU: EL FUSIBLE MECÀNIC**



Memòria i Annexos

Volum I

Autor: Pol Jaumot Agustí
Director: David Sanchez-Molina
Convocatòria: Octubre 2017

Índex General

Volum I – Memòria i Annexos

RESUM	V
AGRAÏMENTS	VII
1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Objectius del treball	3
1.2. Abast del treball	3
1.3 Especificacions bàsiques.....	3
2. ANTECEDENTS	5
2.1. Antecedents històrics	5
2.2. Sistema Nou\Bau	7
3. ESTAT DE L'ART	11
3.1. Sistema actual	11
3.2. Propostes de millora anteriors a l'estudi	12
3.3. Noves propostes	16
4. ESTUDI DE DISSENY	17
4.1. Disseny del utilatge	17
4.2. Disseny del fusible	21
4.3. Teoria cargol potencia	22
4.4. Teoria cisalla	24
4.5. Vinclament	25
4.6. Disseny dels assajos	27
5. ASSAIG AL LABORATORI	28
5.1. Resum dels assaigs.....	28
5.2. Material utilitzat.....	29
5.3. Primera prova.....	31
5.4. Segona prova.....	34
6. ANÀLISIS GLOBAL DELS RESULTATS	39
6.1. Força axial.....	39

6.2. Determinació dels rangs de fusibles	41
ANÀLISIS DE L'IMPACTE AMBIENTAL	44
CONCLUSIONS.....	45
RESUM PRESSUPOST	47
BIBLIOGRAFIA	49
ANNEX A	52
ANNEX B.....	65
ANNEX C.....	79

Volum II – Plec de condicions

1. CONDICIONS GENERALS	3
2. ESPECIFICACIONS DE MATERIALS I EQUIPS.....	4
2.1. Utilatge.....	4
2.2. Fusible	5
3. ESPECIFICACIONS D'EXECUCIÓ	7
3.1. Sistema Nou\Bau	7
3.2. Etiquetatge	8
3.3. Posada en obra.....	8

Volum III – Pressupost

1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Cost de desenvolupament.....	3
1.2. Cost del material del assaig	4
2. TOTAL DEL PRESSUPOST	5
3. PRESSUPOST D'IMPLEMENTACIÓ EN OBRA DEL FUSIBLE MECÀNIC.....	6
3.1. Cost del primer any	6
3.2. Costos a partir del segon any	7

Volum IV – Plànols

1. CARGOL POTENCIA.....	3
2. PLAT FEMELLA.....	4
3. PLAT OPERARI.....	5
4. GANIVETA.....	6
5. SUPORT PUNTAL.....	7
6. TAPA COIXINET.....	8
7. FUSIBLE XY.....	9
8. FUSIBLE 1,5 MM.....	10





Resum

El present document és un estudi del comportament i el desenvolupament d'un fusible mecànic per al sistema NOU\BAU.

Aquest estudi és una part important del projecte de la implantació de fusibles mecànics en el procés de muntatge del sistema de reforç de biguetes NOU\BAU. La realització d'aquest estudi és important per a desenvolupar i després conèixer el comportament d'un nou sistema d'entrada en càrrega de les bigues mitjançant un element fusible.

El present estudi conté un breu resum històric del reforç de biguetes a nivell industrial; una explicació del sistema NOU\BAU; una revisió de l'estat de l'art que ha portat a desenvolupar aquest nou fusible i tot el treball que s'ha fet, tant a nivell de laboratori com a nivell conceptual. També conté les conclusions de cada assaig que han guiat el rumb de les proves al laboratori i, per últim, una revisió general dels resultats obtinguts i les conclusions globals de tot l'estudi.

Els resultats d'aquest estudi passen a formar part del departament de R+D de Sistemes de Reforç Actiu, S.L., empresa col·laboradora que és on s'ha realitzat l'estudi.

El presente documento es un estudio del comportamiento y el desarrollo de un fusible mecánico para el sistema NOU \ BAU.

Este estudio es una parte importante del proyecto de la implantación de fusibles mecánicos en el proceso de montaje del sistema de refuerzo de viguetas NOU \ BAU. La realización de este estudio es importante para desarrollar y luego conocer el comportamiento de un nuevo sistema de entrada en carga de las vigas mediante un fusible mecánico.

El presente estudio contiene un breve resumen histórico del refuerzo de viguetas a nivel industrial; una explicación del sistema NOU \ BAU; una revisión del estado del arte que ha llevado a desarrollar este nuevo fusible y todo el trabajo que se ha hecho, tanto a nivel de laboratorio como a nivel conceptual. También contiene las conclusiones de cada ensayo que han guiado el rumbo de las pruebas en el laboratorio y, por último, una revisión general de los resultados obtenidos y las conclusiones globales de todo el estudio.

Los resultados de este estudio pasan a formar parte del departamento de I + D de Sistemas de Refuerzo Activo, S.L., empresa colaboradora que es donde se ha realizado el estudio.



Agraïments

Dedico aquest espai per agrair a tota aquella gent que ha fet possible la consecució d'aquest treball. Des que va començar a principis de setembre hi ha intervingut un gran nombre de persones que m'han ajudat per a arribar a aquest punt.

En primer lloc agraeixo profundament a Sistemes de Reforç Actiu, i en especial al Pep Castany, per dipositar la seva confiança en mi per a la realització d'aquest treball. Per brindar-me l'oportunitat de fer un treball d'enginyeria en la meva etapa d'estudiant i introduir-me al món laboral i per assessorar-me i posar a la meva disposició tota la informació necessària. Dono especials gràcies a tots els companys de l'empresa que han fet més fàcil i emocionant aquest primer contacte laboral.

També m'agradaria agrair a Jordi Jorba del Laboratori de Materials de l'EEBE per ajudar-me i aguantar totes les hores d'assaig, que no han estat poques.

Als meus amics de la universitat que van més avançats i han aportat una ajuda inestimable amb la seva experiència en TFGs, i ànims ens els moments claus.

A la meva família, que ha estat allà des del primer dia, i ajuden i donen ànims, fins i tot quan no els ho demano i més ho necessito.

A tota la gent, amics i coneguts, que en algun moment s'ha interessat per aquest treball i ha dedicat una estona a intentar entendre el què estava fent, amb més èxit algunes vegades que altres.

Índex

RESUM	V
AGRAÏMENTS	VII
1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Objectius del treball.....	3
1.2. Abast del treball	3
1.3. Especificacions bàsiques.....	3
2. ANTECEDENTS	5
2.1. Antecedents històrics	5
2.2. Sistema NOU\BAU	7
2.2.1. La biga	7
2.2.2. El sistema	8
2.2.3. El muntatge.....	9
3. ESTAT DE L'ART	11
3.1. Sistema actual	11
3.2. Propostes de millora anteriors a l'estudi	12
3.2.1. Puntal dinamomètric	13
3.2.2. Galga extensomètrica.....	13
3.2.3. Premsa a tallant	14
3.2.4. Cargol amb canya rebaixada	15
3.3. Noves propostes	16
4. ESTUDI DE DISSENY	17
4.1. Disseny del utilatge.....	17
4.2. Disseny del fusible	21
4.3. Teoria cargol potencia	22
4.4. Teoria cisalla.....	24
4.5. Vinclament	25
4.6. Disseny dels assajos	27
5. ASSAIG AL LABORATORI	28
5.1. Resum dels assaigs.....	28

5.2.	Material utilitzat	29
5.2.1.	Utillatge	29
5.2.2.	Fusible	30
5.3.	Primera prova	31
5.4.	Segona prova	34
6.	ANÀLISIS GLOBAL DELS RESULTATS	39
6.1.	Força axial	39
6.1.1.	Manufactura dels fusibles	39
6.1.2.	Utillatge i muntatge	40
6.2.	Determinació dels rangs dels fusibles	41
	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	44
	CONCLUSIONS	45
	RESUM DE PRESSUPOST	47
	BIBLIOGRAFIA	49
	ANNEX A	52
A1.	Millora del cargol amb canya rebaixada	52
A2.	Fusible plàstic	55
A3.	Gat mecànic vertical	60
A4.	Cargol de potència amb fusible a cisalla	64
	ANNEX B	65
B1.	Primera prova	65
B1.1.	Resultats	65
B1.2.	Fotografies	65
B2.	Segona prova	67
B2.1.	Resultats ferro	67
B2.2.	Resultats acer galvanitzat	72
B2.3.	Fotografies	74
	ANNEX C	79
C1.	DIT Sistema Nou\Bau	79

Índex Figures

Figura 1: Components de la biga NOU\BAU [2]	8
Figura 2: Esquema de moments flectors de la biga vella i la biga Nou\Bau [2]	9
Figura 3: Procés de muntatge de la biga NOU\BAU [2]	10
Figura 4: Colocació de puntals [2]	12
Figura 5: Puntal dinamomètric	13
Figura 6: Suport amb galgues extensomètriques.....	13
Figura 7: Premsa a tallant	14
Figura 8: Fusible mecànic.....	15
Figura 9: Utillatge	17
Figura 10: Explosionat utillatge	18
Figura 11: Esquema avanç cargol	19
Figura 12: Fresat cargol/suport puntal	20
Figura 13: Vista tall secció de l'utillatge	20
Figura 14: Fusible.....	21
Figura 15: Grups de fusibles	22
Figura 16: Esquema de funcionament del cargol	23
Figura 17: Esquema de forces que actuen sobre els filets del cargol	24
Figura 18: Esquema cisalla	24
Figura 19: Tall cisalla.....	25
Figura 20: Assaig vinclament	26
Figura 21: FS vinclament	26
Figura 22: Utillatge laboratori.....	29
Figura 23: Fusible laboratori	30
Figura 24: Muntatge prova 1	33
Figura 25: Primer fusible deformat	33
Figura 26: Muntatge del segon utillatge amb serjant.....	37
Figura 27: Base giratòria de la màquina MicroTest	38
Figura 28: Fusible de ferro trencat	38
Figura 29: Detall de fusibles amb diferent forma i material.....	40
Figura 30: Gràfica resum per els fusibles de ferro	41
Figura 31: Gràfica resum per els fusibles d'acer galvanitzat	42
Figura 32: Gràfica fusible per rangs.....	43

Figura 33: Utilatge cargol amb canya rebaixada	52
Figura 34: Moviments laterals del utilatge	53
Figura 35: Punta dels cargols amb canya rebaixada	53
Figura 36: Utilatge optimitzat cremellera.....	54
Figura 37: Fusible plàstic a compressió	56
Figura 38: Gat mecànic	56
Figura 39: Fusible plàstic a torsió	57
Figura 40: Explosionat sistema gat mecànic.....	58
Figura 41: Sistema gat mecànic.....	59
Figura 42: Fat mecànic vertical.....	60
Figura 43: Utilatge a cisalla	61
Figura 44: Mecanisme intern del gat amb cargol potencia.....	62
Figura 45: Especejament del gat mecànic vertical.....	63
Figura 46: Foto utilatge prova 1	65
Figura 47: Foto assaig prova 1.....	66
Figura 48: Foto fusible deformat.....	66
Figura 49: Gràfica X=3	70
Figura 50: Gràfica X=2	70
Figura 51: Gràfica resum de tots els rangs dels fusibles de ferro	71
Figura 52: Gràfica resum dels fusibles seleccionats.....	71
Figura 53: Gràfica resum de tots els rangs dels fusibles d'acer galvanitzat	74
Figura 54: Màquina d'assaig MicroTest.....	74
Figura 55: Base giratòria de la màquina MicroTest	75
Figura 56: Utilatge laboratori prova 2.....	75
Figura 57: Instal·lació prova 2.....	76
Figura 58: Fusible trencat	76
Figura 59: Fusible trencat prova 2.....	77
Figura 60: Diferents fusibles	77
Figura 61: Cel·la de càrrega 20 kN.....	78

Índex taules

Taula 1: Resultats X=3; Y=1,5 Ferro Prova 2	35
Taula 2: Resultats X=2,5; Y=1,5 Ferro Prova 2	35
Taula 3: Resultats X=2; Y=1,5 Ferro Prova 2	35
Taula 4: Resultats X=3; Y=1 Ferro Prova 2	35
Taula 5: Resultats X=2; Y=1 Ferro Prova 2	36
Taula 6: Resultats X=3; Y=0,5 Ferro Prova 2	36
Taula 7: Resultats X=2; Y=0,5 Ferro Prova 2	36
Taula 8: Resultats X=3; Y=0,5 acer galvanitzat Prova 2.....	36
Taula 9: Resultats X=3; Y=1 acer galvanitzat Prova 2.....	36
Taula 10: Resultats X=2; Y=0,5 acer galvanitzat Prova 2.....	36
Taula 11: Resultats X=2; Y=1 acer galvanitzat Prova 2.....	37
Taula 12: X=3mm; Y=1,5mm F.....	67
Taula 13: X=2,5mm; Y=1,5mm F.....	67
Taula 14: X=2mm; Y=1,5mm F.....	68
Taula 15: X=3mm; Y=1mm F.....	68
Taula 16: X=2mm; Y=1mm F.....	68
Taula 17: X=3mm; Y=0,5mm F.....	69
Taula 18: X=2mm; Y=0,5mm F.....	69
Taula 19: X=3mm; Y=0,5mm A	72
Taula 20: X=2mm; Y=0,5mm A	72
Taula 21: X=3mm; Y=1mm A	73
Taula 22: X=2mm; Y=1mm A	73





1. Introducció

1.1. Objectius del treball

L'objecte d'aquest treball és l'estudi del comportament i el desenvolupament d'un sistema mecànic de mesura i control d'entrada en càrrega de les bigues NOU\BAU. Durant l'etapa de muntatge de les bigues del sistema NOU\BAU s'ha d'aplicar i mantenir unes forces verticals determinades. És necessari obtenir una prova física que evidenciï que s'ha arribat al rang de tensions corresponents.

1.2. Abast del treball

L'abast de l'estudi consisteix en el disseny del fusible mecànic i determinar el seu comportament de funcionament mitjançant proves al laboratori. És necessari fer els assajos al laboratori pertinents per a simular la posada en servei del fusible i analitzar el seu comportament.

Cal dissenyar el fusible mecànic, així com l'utilatge necessari per a realitzar les proves al laboratori, pensant en la posada en obra del nou sistema. També cal dissenyar la metodologia d'assaig al laboratori, reunir els resultats i analitzar si són o no satisfactoris.

No entra dins l'abast de l'estudi l'acoblament del fusible a l'obra.

1.3. Especificacions bàsiques

Les especificacions bàsiques són:

- S'ha d'obtenir una evidència física que s'ha arribat al rang de tensions determinat.
- El fusible ha de ser una peça senzilla i econòmica.
- El fusible ha de transmetre una força vertical dins del rang determinat, entre 1000 i 10.000N.
- Escalonar les forces del preflectat de la biga Nou\Bau per rangs de fusibles.
- Els valors de la força axial no poden tenir dispersions de més del 50% entre els valors extrems.

2. Antecedents

2.1. Antecedents històrics

El dia 11 de novembre de 1990, en un edifici del barri del Turó de la Peira de Barcelona, es va produir un accident on hi va morir una dona quan el sostre va cedir i es van esfondrar part de les quatre plantes del número 33 del carrer Cadí. A resultes de l'accident es va realitzar un estudi de l'edifici que va portar a revisar-ne tota l'estructura. Els estudis van revelar que l'immoble tenia greus problemes estructurals, sobretot a les biguetes que suportaven els forjats, que presentaven un estat de degradació tan avançat que no havien estat capaces d'aguantar més els sostres i havien col·lapsat. Posteriors exàmens més exhaustius de les pròpies biguetes van descobrir que aquestes patien una patologia poc coneguda en aquell moment que es va anomenar *aluminosi*. [6]

L'aluminosi és una patologia que afecta al formigó fabricat amb ciment aluminós quan es veu sotmès a unes condicions de treball en ambient humit i que produeix una degradació del formigó, manllivant-li resistència i augmentant-ne la porositat. [5]

El ciment aluminós es va desenvolupar a principis del segle XX per l'empresa francesa Lafarge quan es buscava un ciment d'enduriment ràpid i resistent a l'atac dels sulfats. A partir dels anys 20 es va començar a distribuir aquest ciment que tenia unes propietats molt atractives a l'hora de construir amb formigó gràcies, sobretot, a la seva capacitat d'enduriment molt ràpida (arriba a la seva resistència en menys de 24 hores en lloc dels 28 dies del formigó convencional).

A Espanya durant les dècades de 1950 i 1960 es va produir un auge molt important al sector de la construcció, hi havia la necessitat de nous habitatges sobretot a les zones urbanes, es van concedir diverses ajudes des de l'Administració i es van construir molts edificis nous. El ciment aluminós es va fer molt popular entre les noves tècniques constructives, fet que va provocar que molts dels immobles d'aquella època es fessin amb biguetes aluminoses.

Després de l'accident del Turó de la Peira es va pensar que aquesta patologia podia afectar a altres edificacions construïdes amb les mateixes tècniques constructives i que, per tant, podia haver-hi molts més casos d'immobles aluminosos. Es va procedir a fer revisions sistemàtiques de les estructures dels edificis que van revelar l'existència de nombroses biguetes afectades i en estat precari que necessitaven un reforç o substitució immediat. Es van trobar edificis afectats al mateix barri del Turó de la Peira, però aviat es va descobrir que el problema era molt més extens i afectava a barris sencers de Barcelona i la seva Àrea Metropolitana, així com a la zona del litoral de llevant en general i balear (per la seva proximitat al mar i, per tant, amb un grau d'humitat elevat). Amb aquests

estudis es va arribar a la conclusió que l'accident no es tractava d'un fet aïllat sinó que era un problema generalitzat que afectava a les estructures dels edificis i que sense actuar es podia arribar al col·lapse. [1] [3]

Una altre fet que es va fer palès amb l'estudi és que es va descobrir que no només les biguetes afectades eren de ciment aluminós, també se'n van trobar de fabricades amb ciment convencional pòrtland que presentaven un estat de degradació important. Aquestes patien de carbonatació, una patologia que afecta al formigó en general en ambients humits.

De tots aquests fets i conclusions va néixer la necessitat de la reparació massiva de biguetes de formigó, sumada a la ja coneguda problemàtica de les bigues de fusta afectades per corcs i tèrmitis i la degradació per oxidació de les bigues d'acer. En definitiva, calien solucions per a tots els tipus de forjats.

Els tipus de reforç de les biguetes en estat de deteriorament avui en dia es podrien agrupar en dos grans grups, per una banda hi hauria les solucions tradicionals i, per l'altra, les solucions tècniques que van sorgir arran de l'accident del Turó de la Peira i l'aluminosi.

Reforços Tradicionals:

Els reforços tradicionals són aquelles solucions que s'utilitzen des d'abans de l'aparició de l'aluminosi i de la necessitat del reforç massiu de biguetes.

- **Reforç amb biga de ferro:** en aquest cas es posa una biga de ferro (habitualment perfils normalitzats com IPN o HBE) a sota de la biga deteriorada de manera que quedi recolzada a sobre la nova.
- **Trencallums:** consisteix en posar una biga en perpendicular a la crugia de biguetes en mal estat. S'aconsegueix reduir les llums de les biguetes i, per tant, els esforços que han de suportar.
- **Substitució:** tot i que no sigui un reforç pròpiament dit de la biga deteriorada, en algun cas es retira directament la biga vella i se'n posa una de nova al seu lloc.

Els reforços tradicionals poden ser bones solucions a curt termini però en el cas del reforç amb biga de ferro i del trencallums, les bigues velles segueixen treballant (encara que sigui en menor grau). El problema és que si la biga té una patologia de degradació al llarg del temps el més probable és que en un futur es torni a necessitar un altre reforç. [4]

Reforços Moderns:

Actualment al mercat hi ha una sèrie d'empreses que han desenvolupat els seus propis sistemes per a reforçar les biguetes de manera més industrial que els reforços tradicionals.

De tots aquests en destaca el sistema NOU\BAU, de l'empresa SISTEMES DE REFORÇ ACTIU, S.L., que és on s'han desenvolupat les pràctiques curriculars i l'objecte d'estudi d'aquest Treball Final de Grau.

2.2. Sistema NOU\BAU

La biga NOU\BAU va néixer l'any 1991, fruit del disseny de l'arquitecte Narcís Majó quan intentava trobar la solució a l'aluminosi. Va desenvolupar un sistema que consisteix en provocar la descàrrega de l'element estructural horitzontal que es vol reforçar mitjançant el prefletxat d'un element resistent col·locat a la seva part inferior; aconseguint d'aquesta manera una col·laboració entre els dos elements. Amb el prefletxat, el nou element absorbeix els pesos morts de l'element antic i el conjunt 'element nou-element antic', les sobrecàrregues. En cas que l'element antic perdés totes les seves propietats mecàniques l'element nou absorbiria la totalitat de les càrregues.

2.2.1. La biga

La biga NOU\BAU té una secció en forma d'omega invertida que li permet acoblar-se a la biga vella. Està fabricada amb xapa metàl·lica d'espessors molt petits (de 2 a 4mm) i formada per tres perfils curts ajustables entre ells per tal d'aconseguir la llum requerida que a l'hora del muntatge se solden per a aconseguir un perfil monolític. La biga es recolza sobre dos suports que van ancorats a la paret amb quatre tacs químics cadascun. Dos prismes separadors de fusta són els punts de contacte amb la biga vella. A la Figura 1 s'hi pot veure un esquema de la biga.

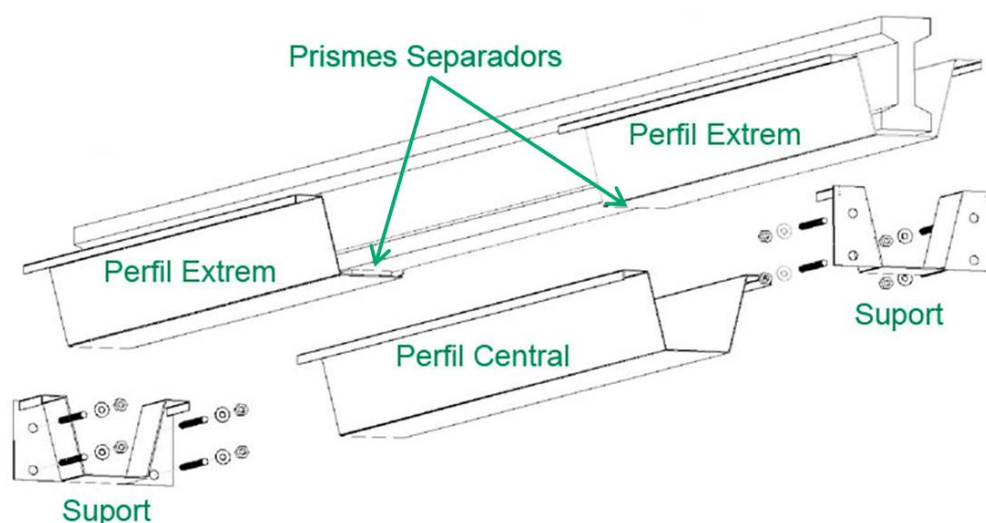


Figura 1: Components de la biga NOU\BAU [2]

2.2.2. El sistema

El sistema NOU\BAU consisteix, com s'ha comentat anteriorment, en descarregar la biga vella (deteriorada i en servei) i absorbir els pesos morts en el moment de la descàrrega. Això s'aconsegueix mitjançant la força de prefletxat.

La biga NOU\BAU té dos punts de contacte amb la biga vella mitjançant dos prismes separadors de fusta col·locats a un i dos terços de la llum. Aquests prismes són els que, en el moment de la posada en càrrega, transmeten els esforços a la biga vella (veure Figura 2). Es calcula la Força de Prefletxat necessària per tal que el moment flector provocat pels pesos morts de la biga vella sigui zero en els punts de contacte.

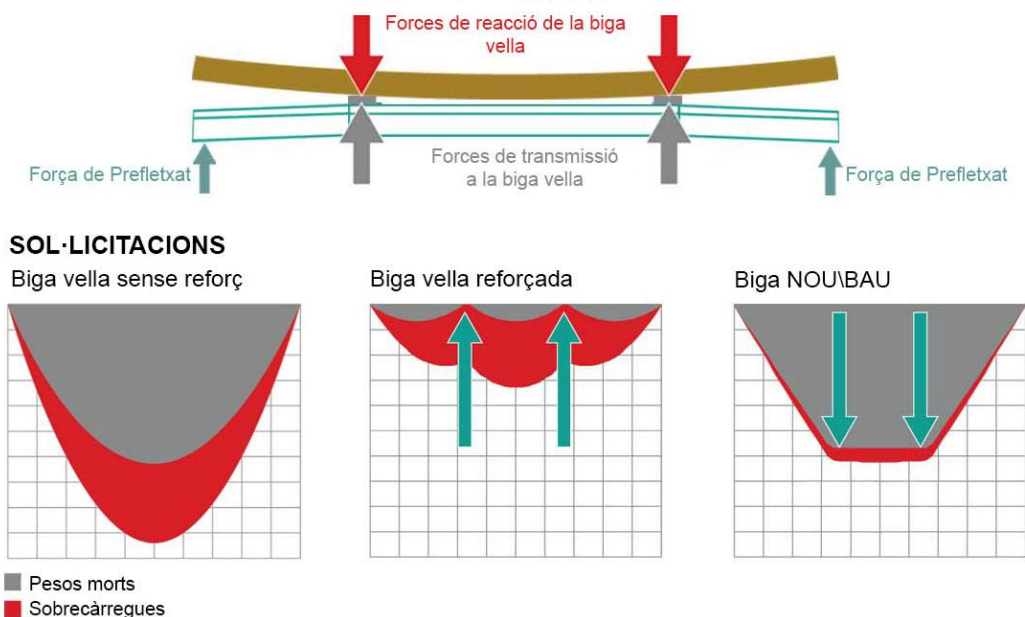


Figura 2: Esquema de moments flectors de la biga vella i la biga NOU\BAU[2]

Una vegada s’ha realitzat el preletxat la biga vella queda descarregada, tan sols roman el moment flector residual en els tres trams de la llum. Tal i com s’observa a la Figura 2, les sol·licitacions a les que es veu sotmesa són molt menors i, per tant, no és un problema que continuï degradant-se.

En funció de la llum, l’intereix de les biguetes i les sol·licitacions de cada biga a reforçar es calcula quin dels sis perfils NOU\BAU és el que s’ajusta i quina força de preletxat se li ha d’aplicar en el moment de muntatge.

2.2.3. El muntatge

El procés de muntatge de les bigues NOU\BAU consta de 6 passos il·lustrats a la Figura 3:

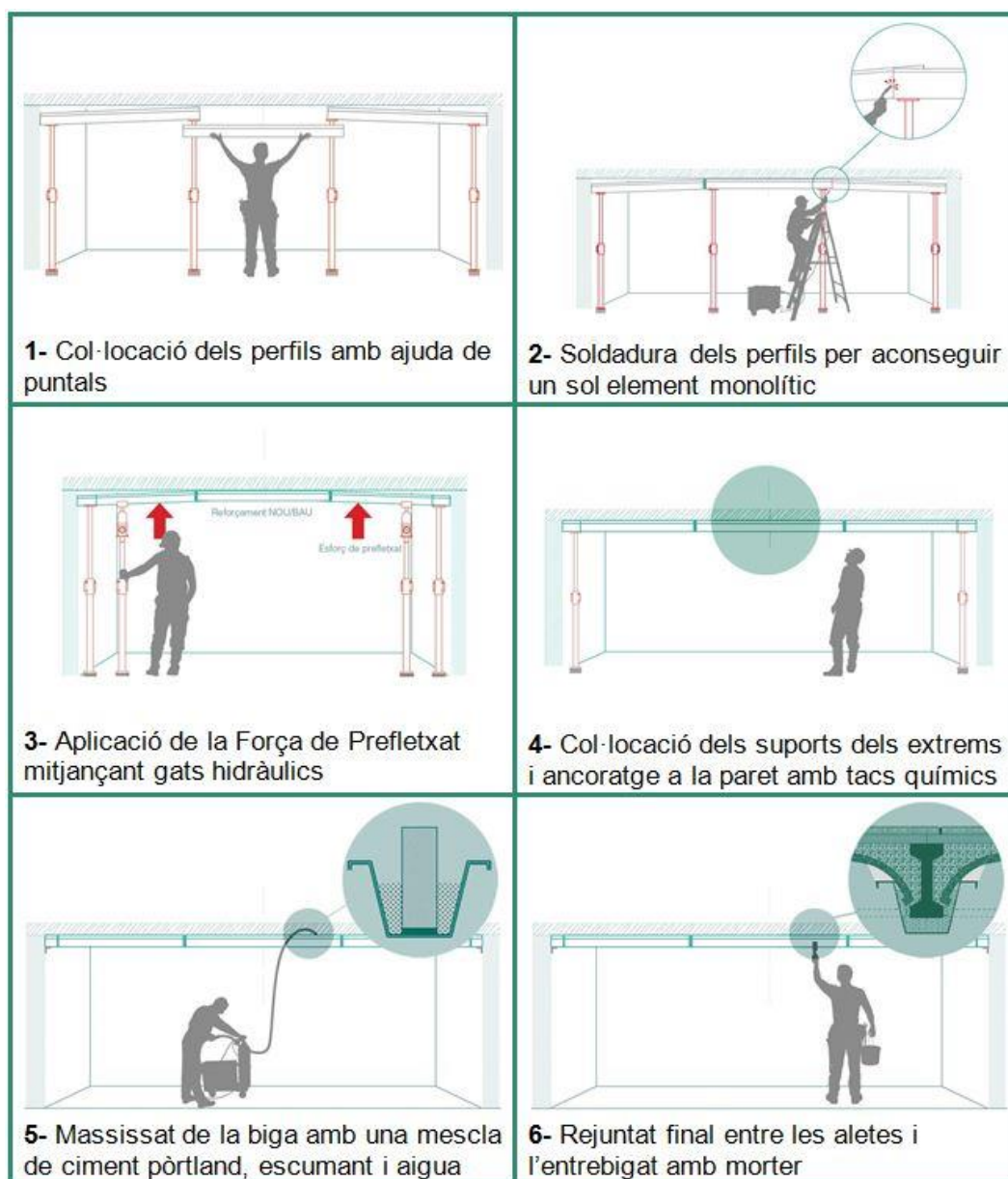


Figura 3: Procés de muntatge de la biga NOU\BAU [2]

És durant el procés de muntatge on hi intervé l'objecte d'estudi d'aquest Treball Final de Grau. El pas número 3 és on s'aplica la Força de Prefletxat a la biga NOU\BAU. Actualment s'aplica amb l'ajuda d'uns gats hidràulics acoblats a la part superior del puntal que es vol substituir per algun element que deixi una evidència física que s'ha arribat a la força necessària per prefletxar la biga.

3. Estat de l'art

En aquest apartat s'explica detalladament el mètode que s'utilitza actualment per a l'entrada en càrrega dels perfils NOU\BAU i un resum de les alternatives al gat hidràulic que s'havien proposat des de l'empresa fins al present estudi.

3.1. Sistema actual

El prefletxat és una de les operacions més importants del procés de muntatge ja que és on radica tota la teoria del sistema NOU\BAU. Actualment per a donar pressió s'utilitzen gats hidràulics situats al damunt d'un puntal normal d'obra, sistema que té alguns avantatges però també alguns inconvenients. Un dels inconvenients més importants és la impossibilitat de tenir tants gats hidràulics com bigues muntades simultàniament, fet que provoca que s'hagi de fer un canvi de puntal. Quan s'ha donat la pressió amb el gat es col·loca al costat un puntal estàndard i s'apreta a mà fins que el puntal amb el gat queda descarregat. Finalment es retira el puntal amb el gat hidràulic.

Aquest procés queda il·lustrat a la Figura 4:

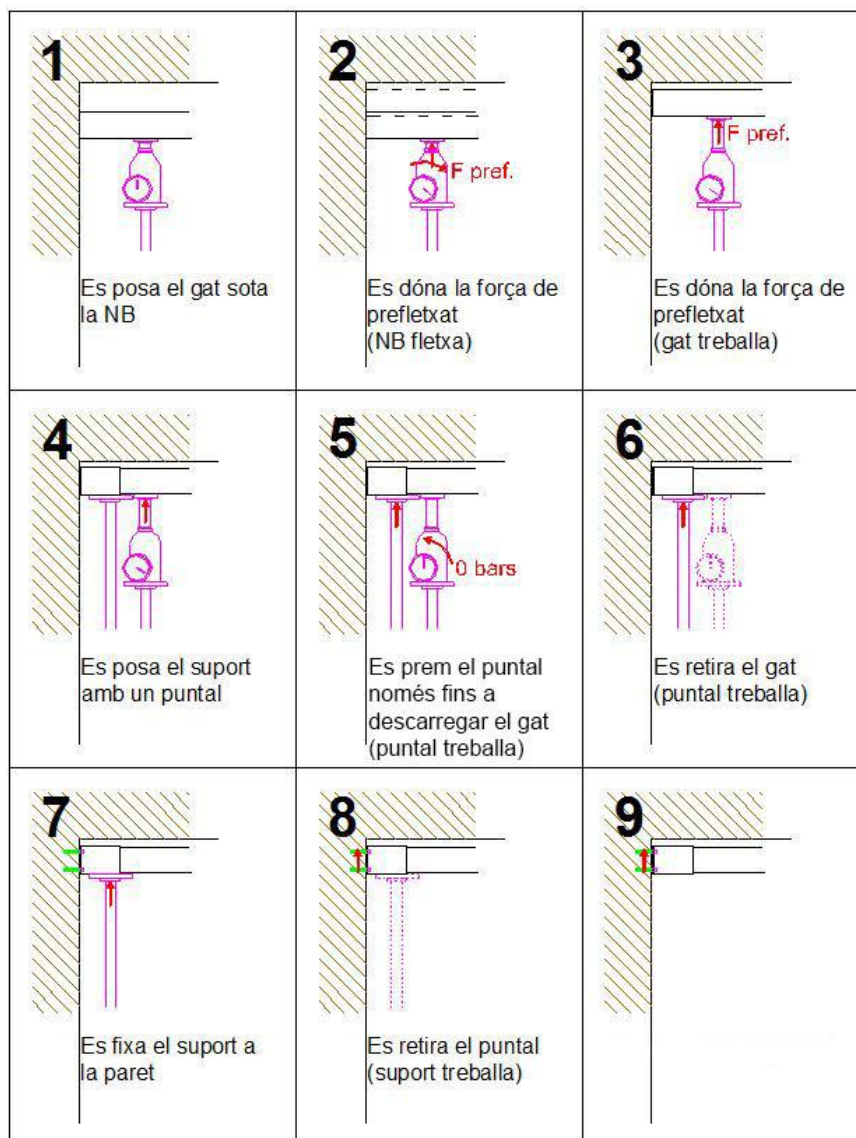


Figura 4: Col·locació dels puntals [2]

3.2. Propostes de millora anteriors a l'estudi

A causa de la problemàtica que presenta el sistema amb els gats hidràulics pel canvi de puntal i la conseqüent pèrdua del control de la força real que s'està transmetent, des de l'empresa Sistemes de Reforç Actiu s'ha estudiat al llarg dels anys diversos sistemes de control per a substituir els gats per un nou sistema. A continuació s'exposa una relació de les propostes de millora que s'han fet, amb una breu explicació del què consistien i les raons per les quals es van desestimar.

L'objectiu d'aquest apartat és veure l'evolució dels precedents que han portat a desenvolupar el nou fusible mecànic que s'estudia en el present treball.

3.2.1. Puntal dinamomètric

Aquest sistema era molt similar al gat hidràulic, s'utilitzava el muntatge de la Figura 5, consistia en un marc d'acer inoxidable amb uns perns per acoblar-hi el puntal i un pistó amb un rellotge mesurador per saber la pressió que està transmetent el puntal.

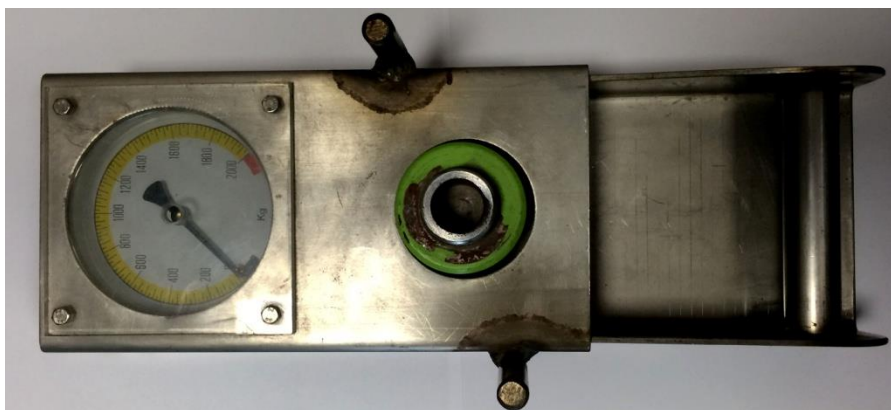


Figura 5: Puntal dinamomètric

Aquesta proposta es va desestimar ja que cada aparell resultava massa costós i voluminós, a part que les diferències amb el gat hidràulic no eren suficients com per substituir-los ja que, al cap i a la fi, el gat resultava més pràctic.

3.2.2. Galga extensomètrica

Es va dissenyar un suport pel puntal amb dues galgues extensomètriques tal i com s'observa al prototip de la Figura 6. Mitjançant un senzill programa informàtic es calculava la força en funció de la deformació captada per les galgues i amb un transmissor s'enviava la informació a una base de dades per tal de fer el seguiment.



Figura 6: Suport amb galgues extensomètriques

Es va realitzar un estudi que no va portar a bon port. La problemàtica que va sorgir i va fer desestimar aquest sistema era la dificultat de garantir que les galgues quedessin ben enganxades als suports i llegissin correctament.

3.2.3. Premsa a tallant

Es va desenvolupar l'estri de la Figura 7, una premsa cilíndrica que trencava a tallant uns testimonis de diferents gruixos per a mesurar la força. L'utensili es col·locava a terra a sota de la biga, s'introduïa el testimoni per la ranura corresponent, a la part superior s'hi acoblava el puntal i a continuació es donava pressió amb el puntal. Un cop es trencava el testimoni volia dir que s'havia arribat a la pressió correcta.



Figura 7: Premsa a tallant

Tot i que el sistema funcionava correctament i s'aconseguia l'evidència física que testificava que s'havia arribat a la pressió correcta, al final es va desestimar el sistema per un tema econòmic. El preu de cada premsa era molt elevat i, juntament amb que se'n necessitava un gran nombre per a la implementació a totes les obres, representava un cost massa elevat.

3.2.4. Cargol amb canya rebaixada

La idea del funcionament del sistema és que, s'aplicava un parell torçor a un cargol amb la canya rebaixada, aquest transmetia una força axial que era la que feia la precàrrega de la biga, i, en el moment en que arribava a aquesta força, el fusible es trencava deixant una evidència física que demostrava que s'havia arribat a la força.

A la Figura 8 s'observa un primer prototip del fusible.



Figura 8: Fusible mecànic

Aquests sistema es va desestimar per el cost elevat que comportava.

3.3. Noves propostes

Fins ara, totes les propostes que s'havien estudiat consistien en elements complicats i costosos de fabricar i amb un pes elevat que dificultarien la maniobrabilitat dels operaris en el moment de muntatge. El sistema actual té el problema del canvi de puntal i la nova proposta ha d'incloure un pes lleuger i un cost reduït, aconseguint així poder utilitzar un sol puntal a l'hora de donar pressió i no necessitar fer cap canvi.

En el **Annex A** es mostren alguns dissenys estudiats i plantejats anteriorment del disseny final, amb una breu explicació del què consisteixen i els motius per els quals es van desestimar.

4. Estudi de disseny

4.1. Disseny del utillatge

El disseny del utillatge es un disseny amb una optimització i una gran senzillesa. La idea de funcionament del sistema és que, aplicant un parell torçor a la femella, aquest transmeti una força axial que serà la que farà la precàrrega de la biga Nou\Bau. Aquest utillatge va col·locat sobre un puntal d'obra.

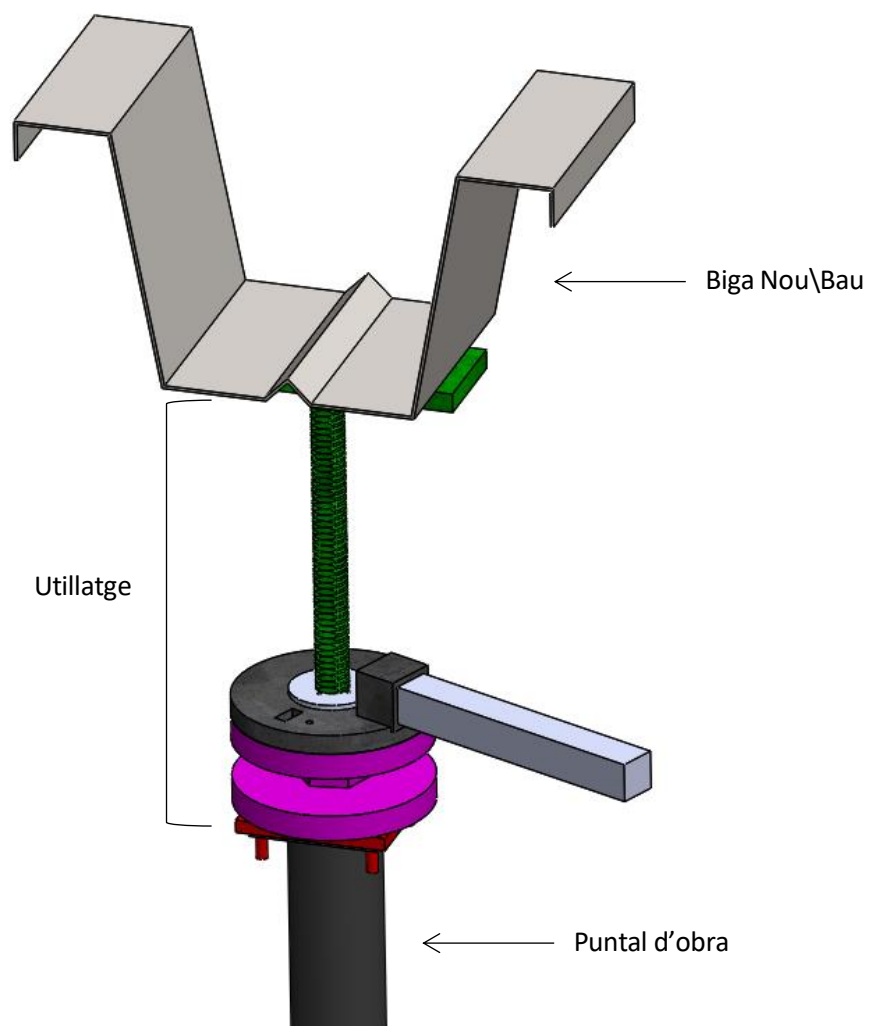


Figura 9: Utillatge

En la següent figura 10 es poden observar els diferents components que formen el utillatge:

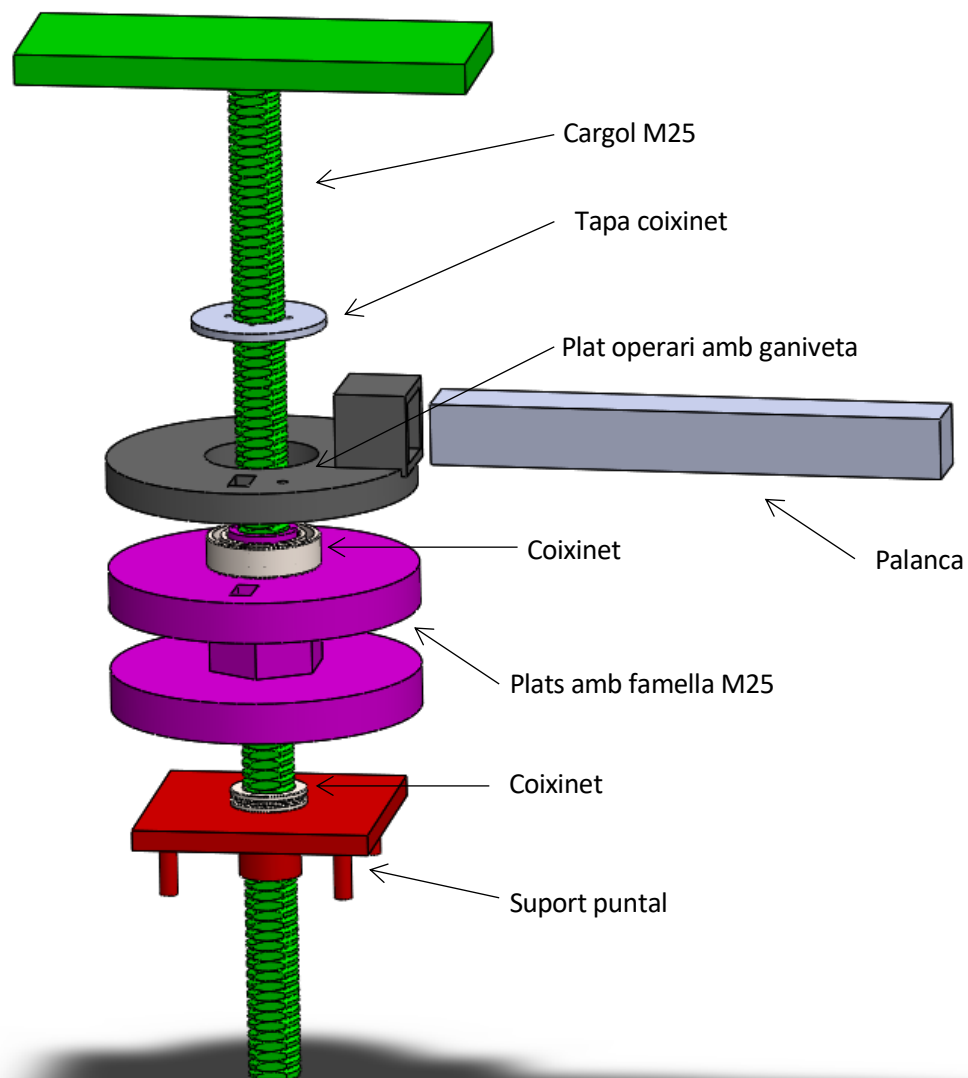


Figura 10: Explosionat utillatge

La precàrrega de la biga es transmesa mitjançant el avanç del cargol. El cargol avança gracies a la rotació de la mateixa femella. Veure Figura 11

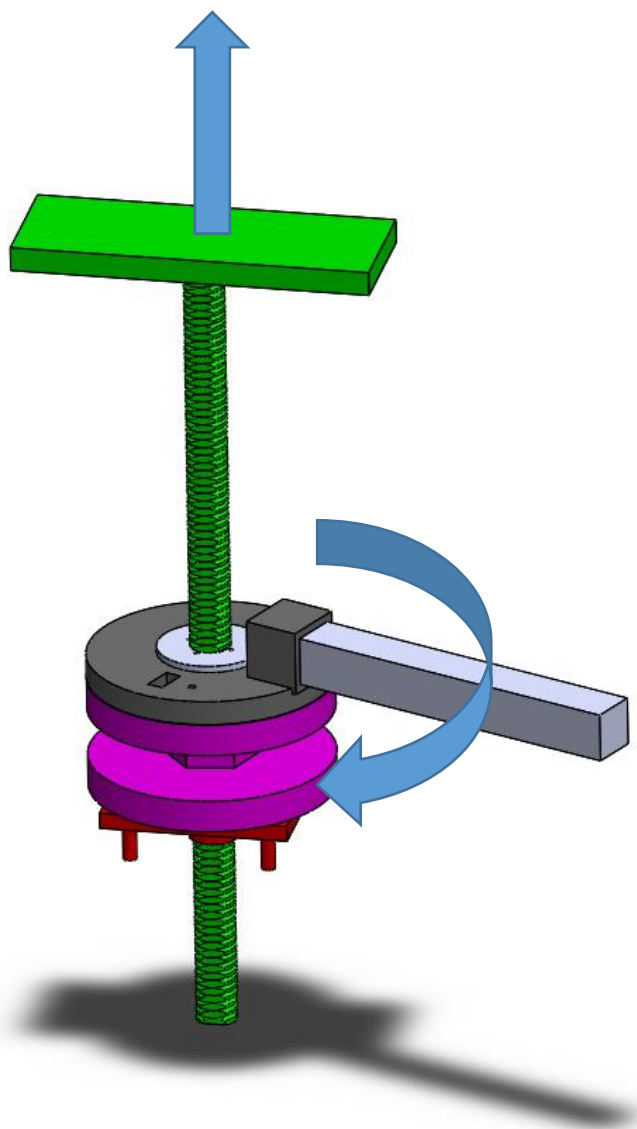


Figura 11: Esquema avanç cargol

El cargol (en verd) i el suport al puntal (en vermell) estan fresats amb la mateixa forma per tal d'aconseguir així un fre a la rotació del propi cargol i obtenir un abans rectilini i longitudinal. Veure figura 12

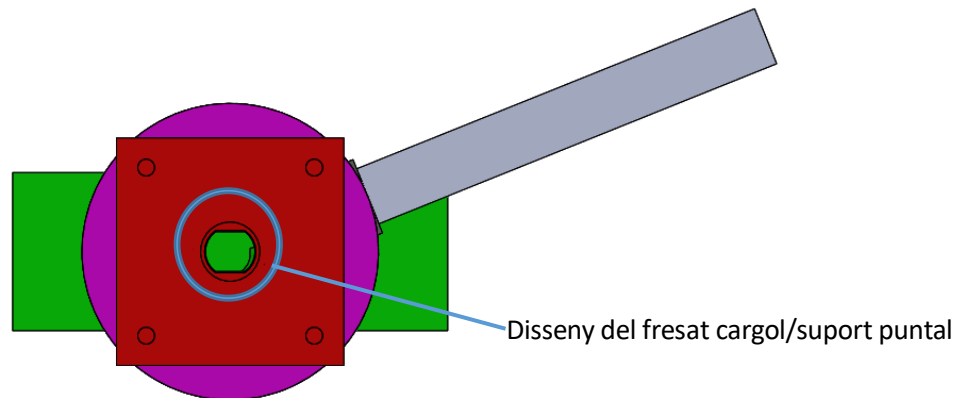


Figura 12: Fresat cargol/suport puntal

El utillatge en si no actua com a fusible mecànic, sinó com a eina necessària per transmetre la força axial exercida per l'operari a la biga, i un cop trencat el fusible, aquest utillatge guarda la ultima força transmesa sense perdre-la i actua de tal manera que no se li pugui aplicar mes força per error. Això ho fa gracies a que l'operari no transmet el parell directament des de la femella sinó des d' un plat embragat situat sobre la femella el qual els dos es queden solidaris en el moment que el fusible esta col·locat entre els dos plats, on un cop trencat el fusible es dessolidaritzen.

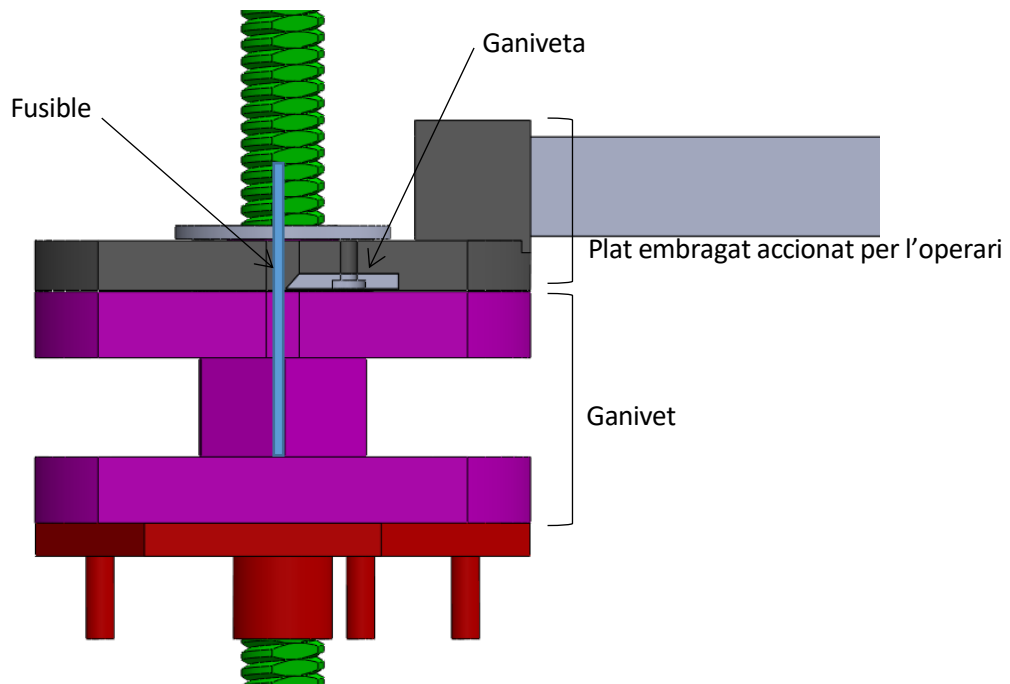


Figura 13: Vista tall secció de l'utillatge

4.2. Disseny del fusible

El fusible es en si un element metàl·lic de petites dimensions amb diferents seccions per aconseguir els diferents rangs de ruptura que s'escalonen en funció de la precàrrega de la biga. La secció varia tant en espessor com en amplada i per l'assaig del laboratori també es valoren dos materials diferents.

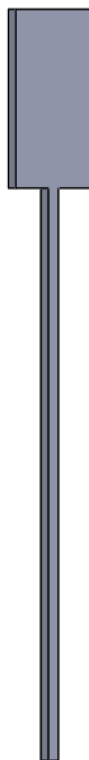


Figura 14: Fusible

El fusible es sotmet a cisalla i es el encarregat de fer solidari la femella, del plat accionat per l'operari mentre aquest no es trenca. Per tant, es l'encarregat de transmetre el parell torçor creat per l'operari, a la femella de carrega.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, es pretén escalonar les forces de la precarrega de la biga tipus Nou\Bau, per tant, els fusibles s'agruparan per grups de forces. Per tal de que el muntador identifiqui ràpidament quin fusible ha de muntar s'ha pensat en donar-li una forma diferent al cap del fusible depenent del grup al que pertanyi.

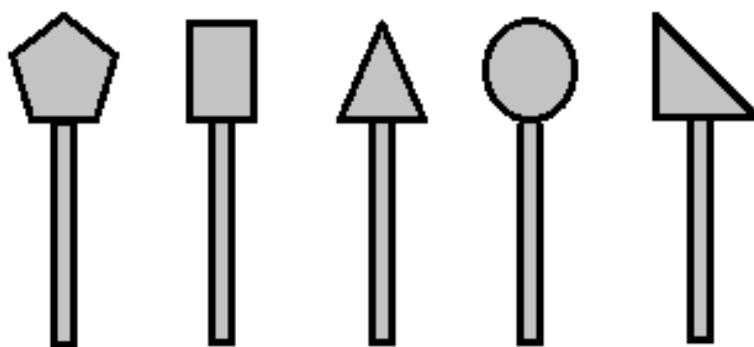


Figura 15: Grups de fusibles

En els assajos al laboratori, s'han fet amb els mateixos caps en tots els fusibles. Però en un futura implementació en obra es faria amb caps diferents per identificar de manera visual i ràpida la força a la que trencarà el fusible.

4.3. Teoria cargol potencia

En aquest apartat es fa un petit resum de la teoria del funcionament d'un cargol, la transmissió d'esforços i la manera com el parell aplicat a la femella es converteix en una força axial.

A la Figura 16 es pot veure un esquema del funcionament del cargol i els principals components que hi prenent part.

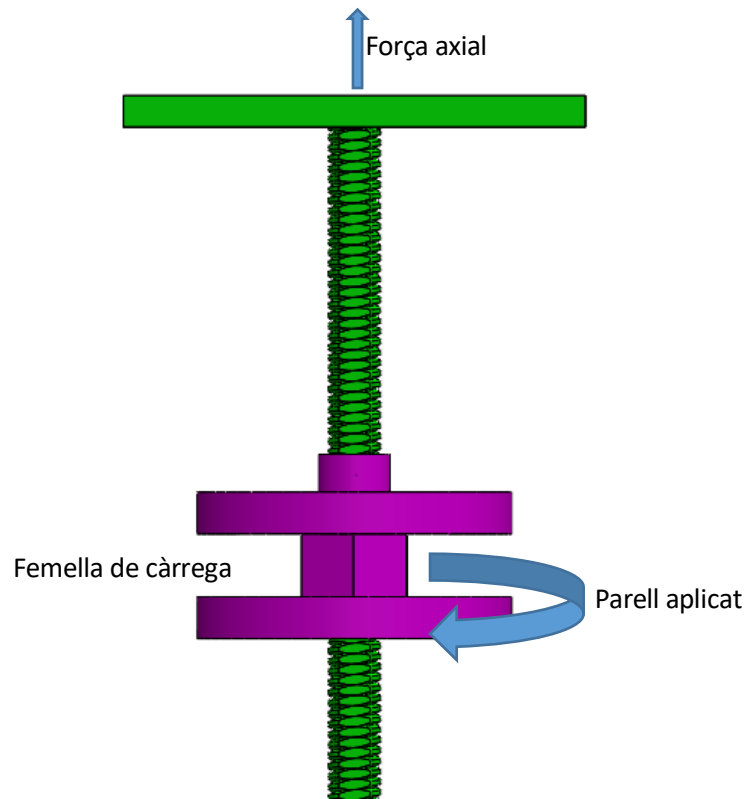


Figura 16: Esquema de funcionament del cargol

A la femella se li aplica un parell torçor mitjançant la clau corresponent, aquest parell provoca el gir de la femella, que es converteix en un moviment rectilini vertical, per la seva interacció amb el cargol, acompanyat per una força de reacció en direcció axial la femella.

A la Figura 17 hi ha representat un esquema de les forces que actuen en el sistema. El pla inclinat representa la superfície dels filets del cargol. El parell aplicat es converteix en una força horitzontal P contra el pla inclinat del filet provocant una reacció normal F_n a la superfície del mateix, una força de fregament μF_n al llarg del pla i una força vertical F .

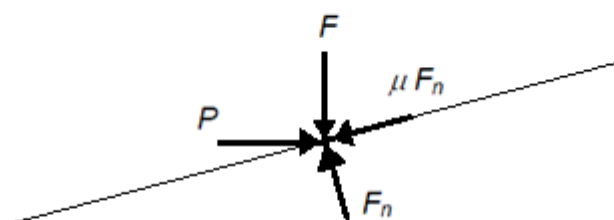


Figura 17: Esquema de forces que actuen sobre els filets del cargol

D'aquí s'extreu que el parell aplicat a la femella és transformat en una força axial F i un conjunt de forces de fregament μF_n que s'estenen al llarg de la superfície de contacte entre els filets del cargol i la femella. Aquest conjunt de forces de fregament es pot considerar com un parell resistent de la femella que depèn del coeficient de fricció existent entre les dues superfícies.

En el cas del sistema d'estudi també hi actuen unes altres forces de fricció originades en la resta del sistema. Aquestes forces de fregament també es poden considerar com un parell de fricció que actua en sentit contrari al parell aplicat.

4.4. Teoria cisalla

En aquest apartat es fa un petit resum de la teoria del funcionament d'un tall per cisalla.

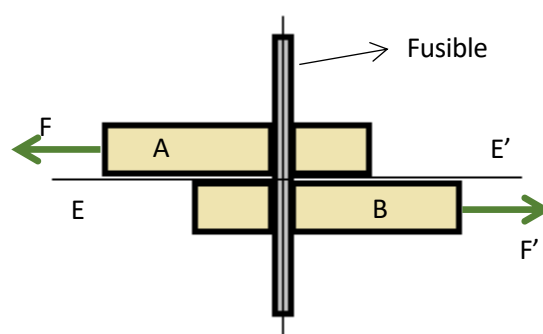


Figura 18: Esquema cisalla

L'esforç de cisalla s'origina per una força produïda perpendicularment al eix longitudinal. La força F actua horitzontalment sobre la placa A i F' es una força de reacció que s'origina per l'acció de la força F on tenen la mateixa magnitud però diferent sentit. Estan en equilibri estàtic fins que el fusible es trenca.

L'esforç tallant mitjana (τ) ve donada per l'esforç de tall de la carga (V) dividit entre la secció transversal del tall (A).

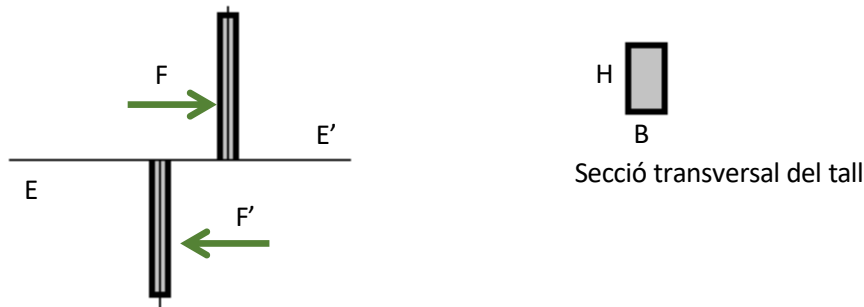


Figura 19: Tall cisalla

Per un prisma de secció rectangular de mides $b \times h$ sotmeses a un esforç tallant paral·lel a una de les bases del prisma, la distribució de tensions tallants y la tensió tallant màxima be donada per:

$$\tau_{max} = K_{sec} \cdot \tau_{mit} \quad K_{sec} \geq 1$$

$$\tau_{xy} = \frac{3V_y \cdot (h^2 - 4y^2)}{2bh^3} = \frac{3V_y}{2A} \left(1 - \frac{4y^2}{h^2}\right) \quad \tau_{max} = \frac{3V_y}{2A} = \frac{3}{2}\tau_{mitj}$$

On $-h/2 \leq y \leq h/2$ es l'altura del punt on es calcula las tensions respecte al centre de la secció. Això significa que per les seccions rectangulars $K_{sec} = 3/2$.

4.5. Vinclament

Per tal de garantir un correcte assaig a laboratori sense deformacions en el nostre utilatge causades per el vinclament de les forces axials generades en una pesa tan esvelta, es va decidir fer un estudi del cargol de potencia sotmès a una força a compressió màxima de 25000N i ens va donar un factor de seguretat de 4,5499.

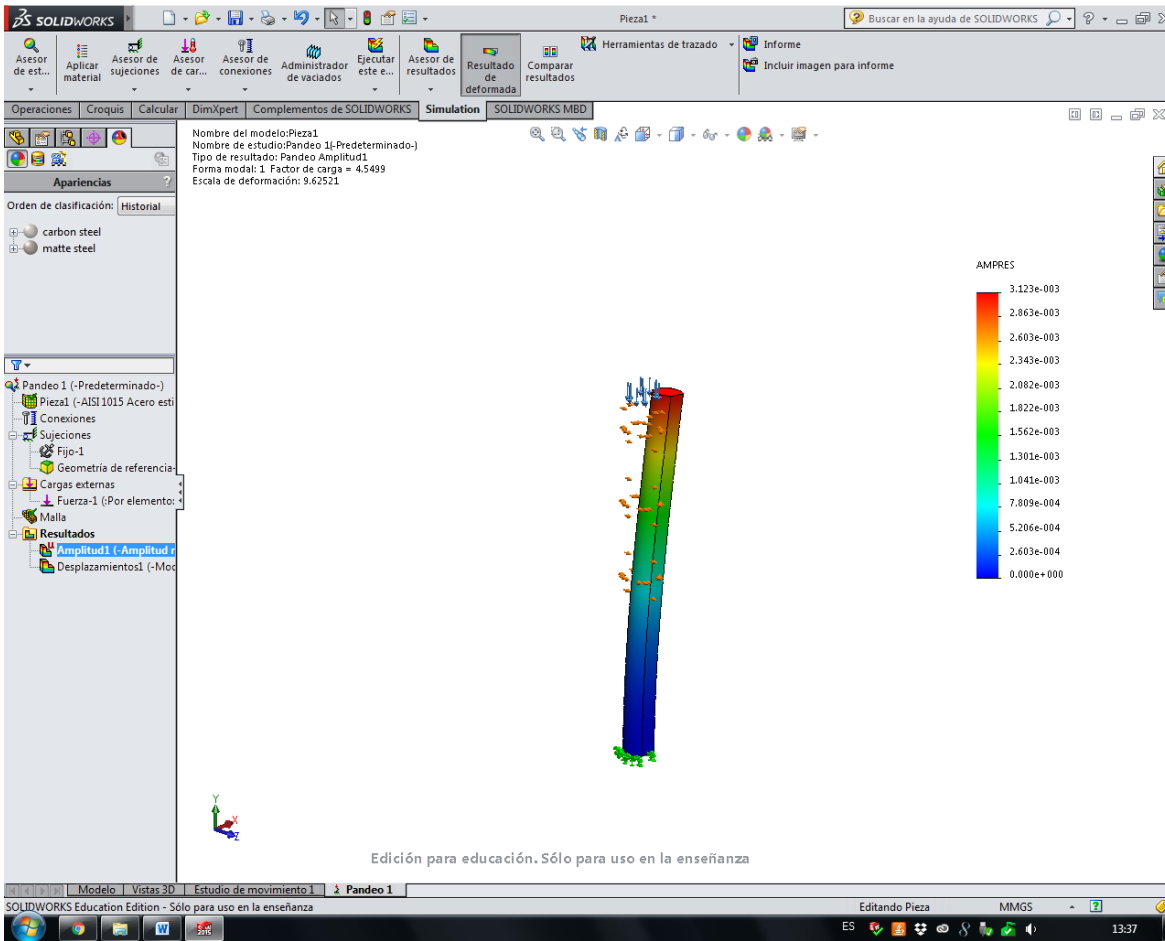


Figura 20: Assaig vinclament

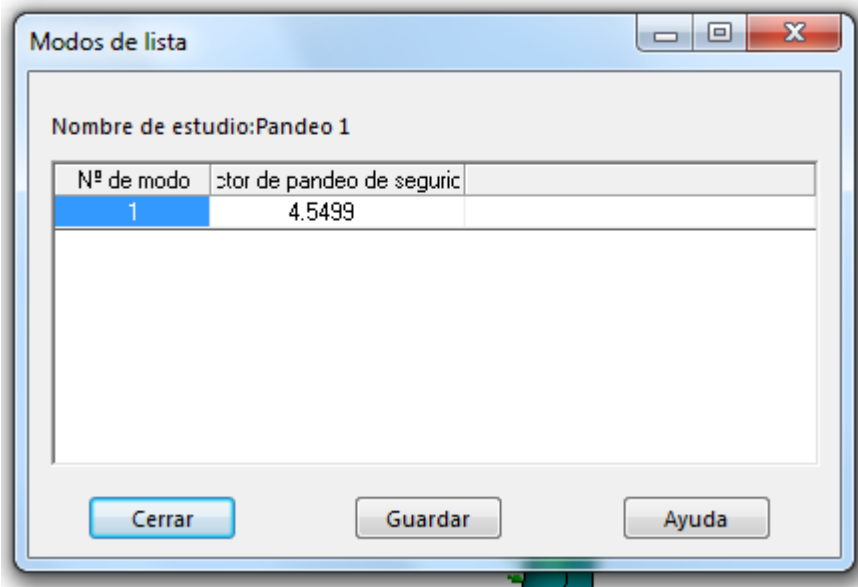


Figura 21: FS vinclament

4.6. Disseny dels assajos

El sistema que s'està desenvolupant és per a una empresa i amb una funció molt específica, fora de normatives i procediments habituals, que és la de transmetre una força vertical. Per tant, cal assajar i estudiar el comportament dels fusibles en unes condicions semblants a les que ha d'actuar.

És per això que es dissenya un estudi al laboratori per a poder observar el seu comportament.

El laboratori on es realitzen aquests assaigs és el Laboratori de Materials de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) . La idea és utilitzar la cèl·lula de càrrega de la màquina d'assajos a tracció per a mesurar la força axial transmesa.

5. Assaig al laboratori

Aquest capítol és una recopilació de tots els assaigs que s'han realitzat per a estudiar el comportament dels fusibles. És el que ha comportat tota la part pràctica del Treball Final de Grau i s'exposen tant la metodologia, com els procediments, com les conclusions i teories que s'han anat extraient a mesura que s'ha anat avançant amb els experiments.

El material i les mostres utilitzades per als assajos són subministrades per les empreses:

- INCOBE S.A, empresa encarregada de dur a terme la fabricació del utillatge.
- Grib Metal S.L, Empresa encarregada de fabricar els fusibles amb la talladora làser.

A continuació es fa un breu resum de totes les proves realitzades indicant l'objecte de cadascuna i explicant també el fil conductor entre elles. Els apartats següents estan dedicats a cada prova. Per a cada prova s'indica el lloc i la data de realització, els instruments utilitzats, la metodologia de cada assaig, el procediment i les conclusions. També s'indiquen, en alguns casos, les millores a adoptar pels següents assajos i també les mesures aplicades de l'assaig anterior.

5.1. Resum dels assaigs

La **primera prova** del laboratori es fa a Barcelona (EEBE) amb l'objectiu de veure com es comporten els fusibles i l'utillatge. S'utilitza la primera versió de l'utillatge. L'estudi s'atura abans del previst a causa de grans deformacions al fusible sense veure que trenques per cisalla. Els resultats de les deformacions revelen certes tendències a formar una forma de "U" en comptes de una cisalla neta, que fan adoptar una sèrie de mesures per a la següent prova, com utilitzar uns separadors en el orifici de inserció del fusible per tal de aconseguir aquesta cisalla neta que busquem.

Pel que fa a la **segona prova** l'objectiu continua essent el mateix que a la primera prova i es portar a terme en el mateix lloc però amb la modificació pertinent del utillatge. Els resultats són més satisfactoris que els de la primera prova, ja que aconseguim trencar el fusibles i amb resultats molt satisfactoris. S'observen bons resultats però també s'observen petites desviacions de resultats provocades per la rotació de la base de la maquina d'assaig ja que aquesta, només disposa d'un plat mòbil i no hi ha manera de fixar-lo a la bancada.

5.2. Material utilitzat

5.2.1. Utillatge

El utillatge utilitzat al laboratori esta compostat per set parts fonamentals:

- Cargol de potencia.
- Una femella amb dos plats soldats.
- Plat embragat (del qual disposa de una ganiveta per tal de trenca el fusible a cisalla).
- Dos coixinets.
- Suport al puntal on també actua com a fre rotacional del cargol de potencia.
- Puntal de laboratori.

El Puntal de laboratori es una secció de 30 cm de un puntal estandarditzats real d'obra utilitzats per els muntadors de Nou\Bau. S'ha construït aquest puntal en miniatura per tal de poder ser assajat el utillatge en un laboratori.

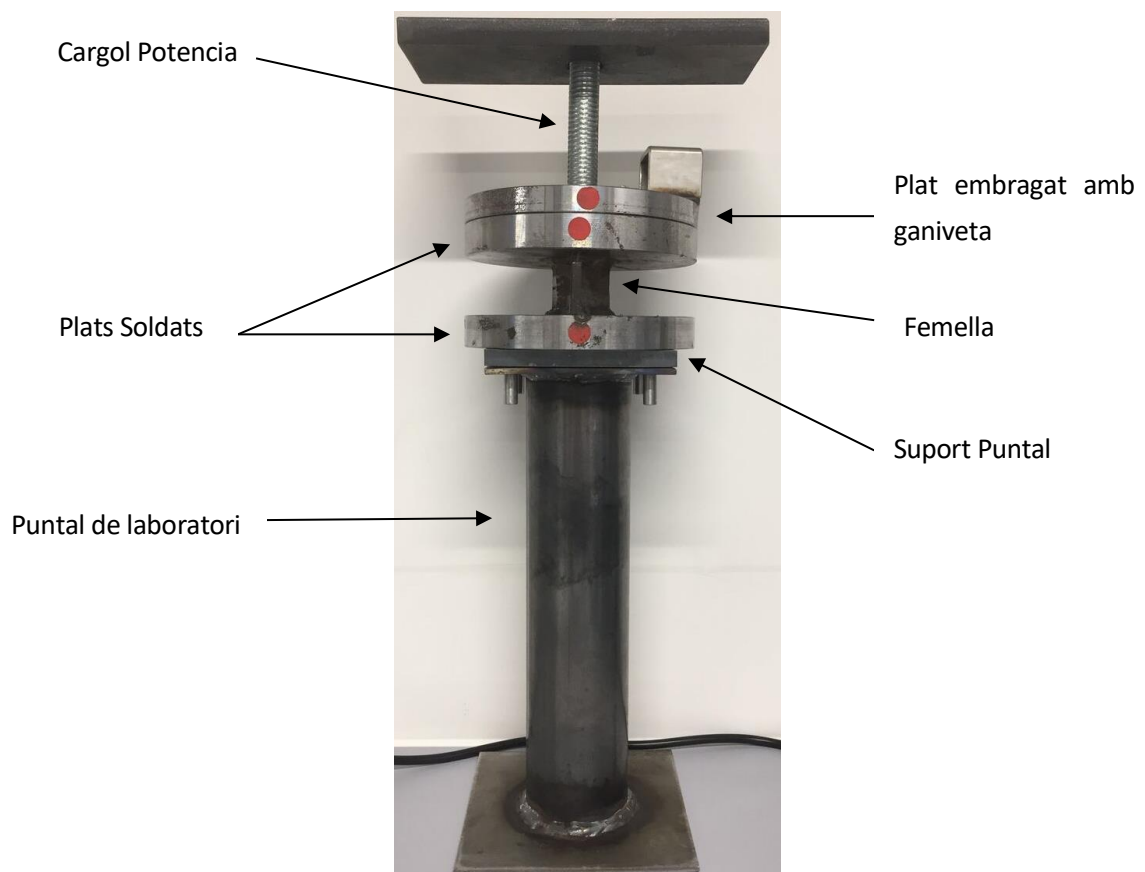


Figura 22: Utillatge laboratori

A la primera prova ja va quedar demostrat que aquest disseny flaquejava per culpa de que el diàmetre de inserció del fusible era massa gros i no efectuava correctament l'acció de cisalla, el que aconseguíem era una deformació del fusible en forma de "U".

Per la segona prova es van resoldre els problemes de la primera versió, col·locant uns separadors en els orificis de inserció del fusible i aconseguint així un diàmetre mes petit i ajustat.

5.2.2. Fusible

Tots els fusibles han estat subministrats per la mateixa empresa proveïdora, però no tots els fusibles son iguals. En la comanda feta, s'ha volgut jugar en tres factors diferents per tal de aconseguir les forces desitjades i per estudiar quines dispersions donaven al variar aquests factors :

- Material (ferro o acer galvanitzat)
- El espessor
- L'amplada

En total s'han subministrat 65 fusibles, dels quals finalment només s'han trencat 55 per motius de limitació tècnica de la cel·la de carrega de la maquina d'assaig al laboratori. La màxim carga admesa per la cel·la es de 20KN i els fusibles mes grans tenien la ruptura prop dels 16KN, així que per prevenir el bon estat de la cel·la es va decidir no assajar-los.

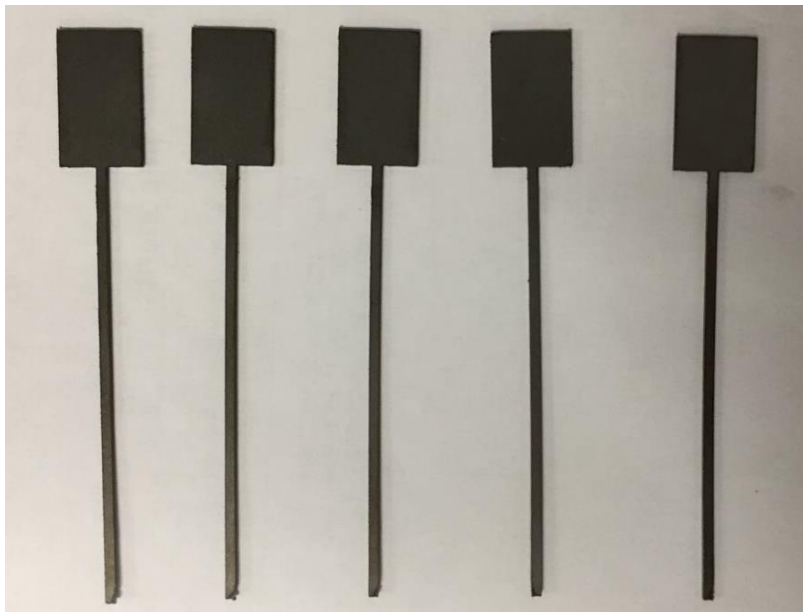


Figura 23: Fusible laboratori

5.3. Primera prova

Lloc de l'assaig: Laboratori del departament de de Materials de l'EEBE.

Data: 20/10/2017

Instruments de mesura:

- Premsa MicroTest de 30kN

La primera prova de laboratori es realitza al Laboratori del departament de Materials de l'EEBE. Es disposa d'una comanda de 65 mostres de fusibles amb diferents espessors (Y), amplades (X) i materials.

- Acer galvanitzat: 5 unitats de Y=0.5 mm X=2mm, 5 unitats de Y=0.5mm X=3mm, 5 unitats de Y=1mm X=2mm i 5 unitats de Y=1mm X=3mm.
- Ferro: 5 unitats de Y=0.5 mm X=2mm, 5 unitats de Y=0.5mm X=3mm, 5 unitats de Y=1mm X=2mm, 5 unitats de Y=1mm X=3mm, 5 unitats de Y=1.5 X=2mm, 5 unitats de Y=1.5 X=2.5mm, 5 unitats de Y=1.5 X=3mm, 5 unitats de Y=1.5 X=4mm i 5 unitats de Y=1.5mm X=5mm.

S'utilitza l'utilatge mencionat anteriorment i s'assaja sobre una replica d'un puntal en miniatura per tal de que el conjunt càpiga dins la màquina d'assaig Microtest. La base del puntal es recolza sobre la base de la maquina d'assaig i l'extrem superior de l'utilatge es col·loca sota la cel·la de carga.

Metodologia de l'assaig:

Es col·loca el fusible a l'utilatge i amb la ma es dona voltes a la femella fins que l'extrem superior del utilatge toca la cel·la de carga. En aquest moment s'aplica el parell des de la palanca del plat de l'operari fins que el fusible trenca. En aquest moment s'apunta el valor de la força que esta transmetent el cargol a la cèl·lula de carrega de la maquina.

Procediment:

Es comença l'assaig amb els 5 fusibles de X=2mm Y=1mm de ferro negre. Immediatament s'observa que el fusible no es trenca com es degut, sinó que es deforma sense obtenir la cisalla. Es torna a provar amb una altre mostra de les mateixes dimensions i el resultat es el mateix, la deformació del fusible.

Es prova el assaig amb dos fusibles mes, un amb acer galvanitzat de $X=2\text{mm}$ $Y=0.5\text{mm}$ i l'altre, amb mes es àrea de ferro de $X=2.5\text{mm}$ $Y=1.5\text{mm}$. En tots els casos s'observa una deformació del fusible en forma de "U". Es decideix dons, acabar amb l'assaig a causa de les deformacions excessives del fusible.

Resultats:

No s'aconsegueix obtenir cap resultat d'aquesta prova.

Conclusions:

El fet de no haver pogut extreure cap resultat d'aquesta prova, ens va fer plantejar un nou diàmetre mes petit i mes ajustat, per tal de poder trencar per cisalla els fusibles. La conclusió que s'extreu es que per aconseguir una cisalla neta, el fusible ha de estar molt ajustat entre els diferents plats del utilatge, per tant el joc ha de ser mínim.

Preparació i propostes pel següent assaig:

Modificar el utilatge existent per evitar les deformacions del fusible i que quedi al màxim ajustat en el lloc de assentament del fusible.

Fotografies de la prova:

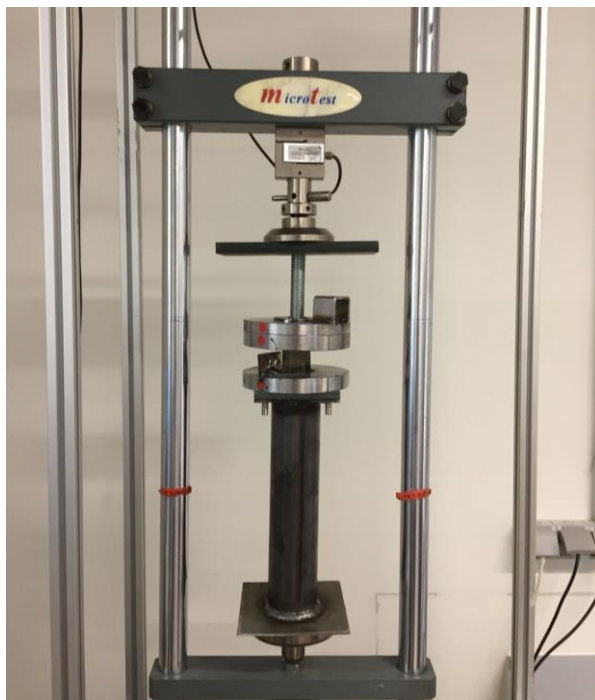


Figura 24: Muntatge prova 1



Figura 25: Primer fusible deformat

Consultar **Annex B** per mes informació de la primera prova al laboratori.

5.4. Segona prova

Mostres:

Tots els fusibles de la comada menys els quatre fusibles deformats a la primera prova:

- Acer galvanitzat: 4 unitats de Y=0.5 mm X=2mm, 5 unitats de Y=0.5mm X=3mm, 5 unitats de Y=1mm X=2mm i 5 unitats de Y=1mm X=3mm.
- Ferro: 5 unitats de Y=0.5 mm X=2mm, 5 unitats de Y=0.5mm X=3mm, 3 unitats de Y=1mm X=2mm, 5 unitats de Y=1mm X=3mm, 5 unitats de Y=1.5 X=2mm, 4 unitats de Y=1.5 X=2.5mm, 5 unitats de Y=1.5 X=3mm, 5 unitats de Y=1.5 X=4mm i 5 unitats de Y=1.5mm X=5mm.

Millores introduïdes:

En aquesta prova s'introdueixen les millores proposades a partir de la primera prova:

- S'ha modificat el utilatge existent per evitar les deformacions del fusible amb uns separadors al interior.

Metodologia de l'assaig:

Es col·loca el fusible a l'utilatge i amb la mà es dona voltes a la femella fins que l'extrem superior del utilatge toca la cel·la de carga. En aquest moment s'aplica el parell des de la palanca del plat de l'operari fins que el fusible es trenca. Aleshores s'apunta el valor de la força que esta transmetent el cargol a la cèl·lula de carrega de la màquina.

Procediment:

Una de les limitacions que contempla la màquina, es que la base no està solidaria a la bancada, així que amb l'ajut d'un operari que aguanta tot el sistema per la base i un serjant, s'intenta frenar totes les desviacions rotacionals possibles.

Es procedeix a repetir el mateix assaig, començant pels fusibles de ferro negre. Els resultats són satisfactoris ja que s'observa un caràcter aleatori en la força axial. Seguidament es trenquen les mostres de acer galvanitzat i els resultats de les forces axials no presenten resultats anòmals, tret d'algun descartat com a vàlid, ja que s'ha observat un moviment del utilatge respecte la bancada per la limitació de la màquina comentada anteriorment.

Resultats:

Els resultats obtinguts amb els fusibles de ferro són els següents:

Taula 1: Resultats X= 3; Y=1.5 Ferro Prova 2

X=3; Y=1.5 F	Força [N]
Mitjana	10090
Desv. Est.	371.48
Desviació	9,43%

Taula 2: Resultats X= 2,5; Y=1.5 Ferro Prova 2

X= 2,5; Y=1.5 F	Força [N]
Mitjana	10166,66
Desv. Est.	351,18
Desviació	6,67%

Taula 3: Resultats X= 2; Y=1.5 Ferro Prova 2

X= 2; Y=1.5 F	Força [N]
Mitjana	7790
Desv. Est.	357,77
Desviació	10,84%

Taula 4: Resultats X= 3; Y=1 Ferro Prova 2

X= 3; Y=1 F	Força [N]
Mitjana	6814
Desv. Est.	720,05
Desviació	21,33%

Taula 5: Resultats X= 2; Y=1 Ferro Prova 2

X= 2; Y=1 F	Força [N]
Mitjana	6332,33
Desv. Est.	418,8
Desviació	12,38%

Taula 6: Resultats X= 3; Y=0,5 Ferro Prova 2

X= 3; Y=0,5 F	Força [N]
Mitjana	4178
Desv. Est.	54,03
Desviació	3,3%

Taula 7: Resultats X= 2; Y=0,5 Ferro Prova 2

X= 2; Y=0,5 F	Força [N]
Mitjana	2340
Desv. Est.	167,33
Desviació	15,38%

Els resultats obtinguts amb els fusibles d'acer galvanitzat són els següents:

Taula 8: Resultats X= 3; Y=0,5 Acer galvanitzat Prova 2

X= 3; Y=0,5 A	Força [N]
Mitjana	4620
Desv. Est.	268,33
Desviació	12,24%

Taula 9: Resultats X= 3; Y=1 Acer galvanitzat Prova 2

X= 3; Y=1 A	Força [N]
Mitjana	7157,5
Desv. Est.	259,28
Desviació	8%

Taula 10: Resultats X= 2; Y=0,5 Acer galvanitzat Prova 2

X= 2; Y=0,5 A	Força [N]
Mitjana	4076,25
Desv. Est.	276,15
Desviació	13,64%

Taula 11: Resultats X= 2; Y=1 Acer galvanitzat Prova 2

X= 2; Y=1 A	Força [N]
Mitjana	4566,66
Desv. Est.	282,84
Desviació	8,33%

Conclusions:

Les millores proposades reflecteixen una millora important als resultats, la modificació de l'utillatge es comporta be i obté una cisalla neta. Tots els valors de força tenen un caràcter aleatori, s'han eliminat qualsevol tipus de tendència, fet que ens inclina a pensar que les millores adoptades són adequades i els resultats molt satisfactoris.

Fotografies:



Figura 26: Muntatge del segon utillatge amb serjant



Figura 27: Base giratòria de la màquina MicroTest

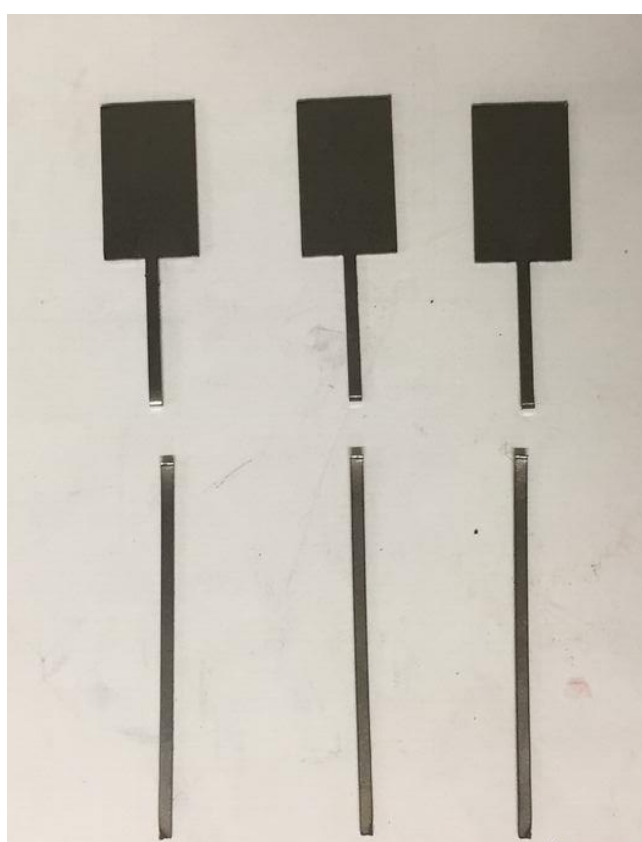


Figura 28: Fusibles de ferro trencats

Consultar **Annex B** per més informació de la segona prova al laboratori.

6. Anàlisi global dels resultats

Aquest capítol està dedicat a fer un anàlisi global de tots els resultats un cop s'han acabat tots els assaigs.

El paràmetre mesurat es la força axial i és el que més importància té; cal recordar que aquesta és la força que ha de fer el pefletxat de la biga NOU\BAU.

Dels resultats apuntats, la mitjana indica el valor de referència dels paràmetres en el moment de ruptura, la desviació estàndard de la variabilitat d'aquests i la desviació en tant per cent fa referència a la diferència entre els dos valors extrems.

6.1. Força axial

En línies generals, els valors de la força axial en la ruptura del fusible recollits al llarg de totes les proves són bastant constants. Cal destacar que hi ha set partides amb diferents mesures de fusibles al llarg d'aquest estudi, i que els fusibles han estat tallats a làser. Tot i que hi hagi diferents partides els fusibles de mateix espessor, amplada i material tenen valors de ruptura molt similars.

Quan sí que varien els valors de la força axial és quan es canvia el material del fusible. Els fusibles d'acer galvanitzats són fets d'un acer més dur i resistent que el ferro, per tant, els seus valors de parell de ruptura també són majors i per tant la força axial resultant, també es major.

Que els fusibles tinguin un comportament constant a l'hora de trencar per cisalla és un fet molt positiu que s'ha pogut demostrar amb les proves realitzades al laboratori i dins unes toleràncies acceptables. Aquest fet és important perquè si s'hagués demostrat el contrari, que hi ha molta variabilitat en la força axial, s'hauria hagut de desestimar aquest tipus de fusible.

En general les dispersions en tant per cent van entre un 5% i un 15% entre els dos valors extrems en les proves amb assaigs de 5 mostres de cada tipus i les desviacions estàndard oscil·len al voltant dels 370N de mitjana.

6.1.1. Manufactura dels fusibles

Les partida de fusibles ha arribat en diferents condicions de forma i material, cotes diferents, tan pel que fa a l'espessor com a l'amplada del mateix fusible.

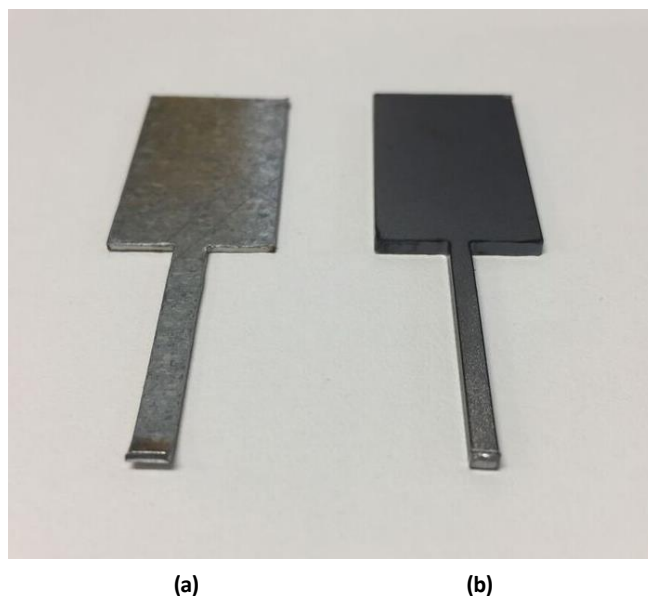


Figura 29: Detall de fusibles amb diferent forma i material

La Figura 29 és un detall dels fusibles subministrats amb diferent forma i material. Es veu clarament que l'acabat és diferent. La (a) es un fusible d'acer galvanitzat amb un espessor de 0.5mm i una amplada de 3 mm, mentre que la (b) es de ferro amb un espessor de 1,5 mm i una amplada de 2mm.

El material és un factor que afecta a la força. L'acer galvanitzat, ha revelat augmentar la mitjana.

S'ha detectat en alguns casos defectes a l'extrem inferior del fusible degut al sobreescalfament del tall làser i han dificultat molt suaument el seu pas per l'orifici de inserció del fusible en el utilatge.

6.1.2. Utilatge i muntatge

Tant l'utilatge com el muntatge de l'assaig són uns factors molt importants i afecten a la força axial.

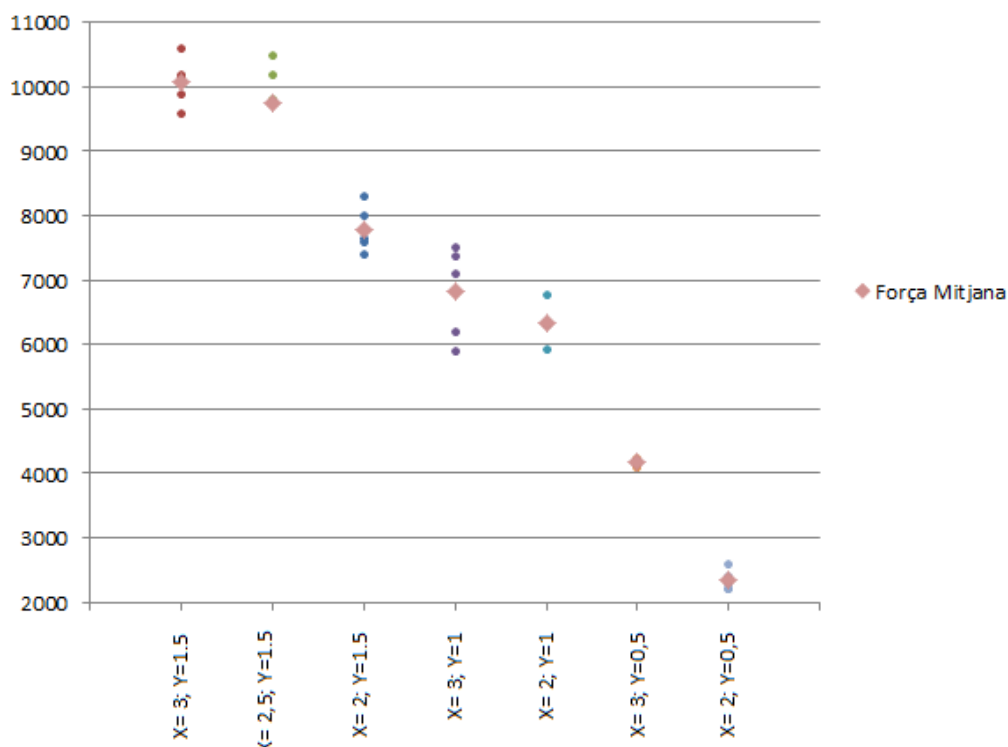
L'utilatge ha sigut dissenyat com a eina de laboratori per assajar els fusibles. L'utilatge definitiu, observant el seu comportament, es podria fer mes compacte i petit, però no es va voler fer així des de el inici per si s'havia de fer alguna modificació posterior, i així ha estat, ja que gràcies al seu disseny de laboratori s'ha pogut ajustar fins aconseguir els ajusts òptims. Després de les modificacions, s'ha demostrat un comportament molt correcte. No ha presentat cap deformació ni cap indicati de desgast al finalitzar les proves.

Pel què fa al muntatge també és important que sigui correcte. A la meitat de la segona prova, es van observar unes petites dispersions per culpa de que el muntatge en el laboratori no era el mes indicat, ja que la base no era solidaria a la bancada.

6.2. Determinació dels rangs dels fusibles

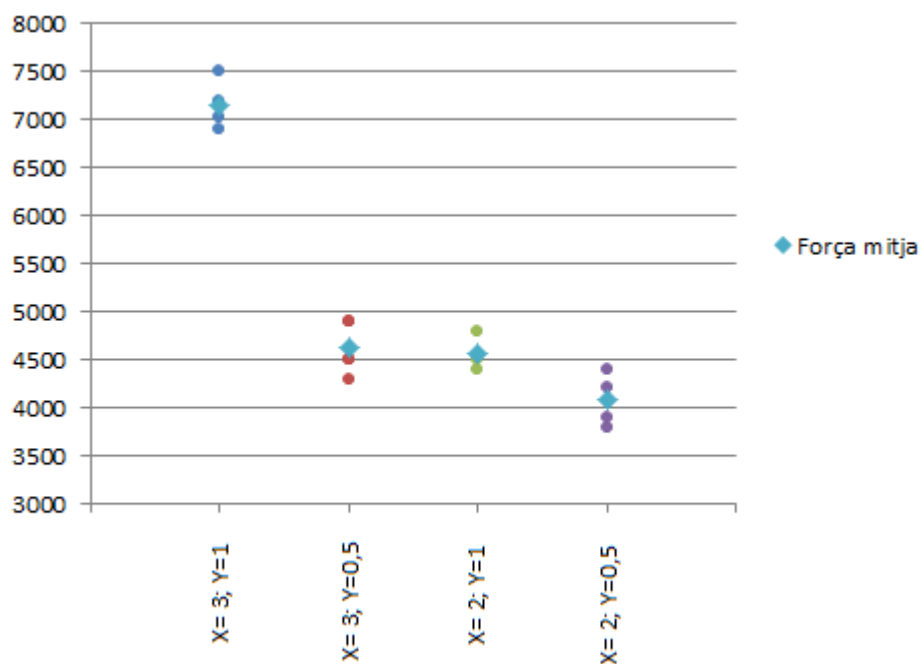
Després de les proves fetes al laboratori, s'ha fet una gràfica resum on apareixen tots els fusibles trencats d'un mateix material amb la seva força resultant i agrupades per grups de fusibles on també apareix la seva força mitjana corresponent. Cada grup comparteix la mateixa forma i material. Les dimensions (espessor Y i amplada X) de cada grup de fusibles estan especificades en el eix d'abscisses.

Figura 30: Gràfica resum per els fusibles de ferro



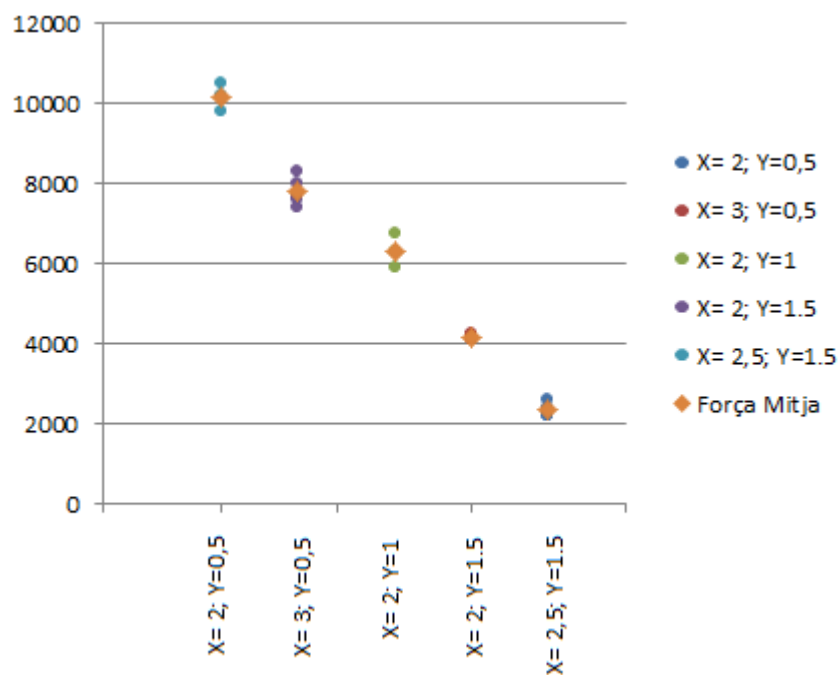
En la gràfica resum es poden identificar els set fusibles diferents en dimensions i el seu rang de forces, i es pot apreciar com alguns es solapen entre si.

Figura 31: Gràfica resum per els fusibles d'acer galvanitzat



A partir d'aquestes gràfiques resum, es fa la tria dels fusibles per tal de que ens encaixin amb els rangs de preletxat, tal i com s'havia definit al principi del treball. Escollim cinc fusibles per tal de fer un escalonat de forces compreses entre el 1000N i els 10000N amb un interval aproximat de 2000N. El material triat finalment es el ferro ja que hem assajat mes varietat de fusibles i els resultats han sigut molt bons.

Figura 32: gràfica fusible per rangs



Gràcies aquests cinc fusibles contemplem tot el rang de forces possibles dins del preletxat del les bigues Nou\Bau.

Anàlisi de l'impacte ambiental

El impacte mediambiental de aquest estudi es mínim ja que al tractar-se de una peça mecànica no emet residus mentre es manipula.

Els fusibles trencats no es llencen ja que es mantenen com a prova de una evidència física en un magatzem de Nou\Bau.

No es considera substancial el impacte mediambiental ja que la producció del utensili es a molt petita escala i material es reciclable.

Conclusions

S'ha dissenyat una metodologia d'assaig amb els elements necessaris per a poder estudiar el comportament del fusible en diferents condicions de treball; s'ha assajat amb diferents mesures i materials; s'han fet modificacions al muntatge i s'ha utilitzat accessoris per a veure si modificaven el comportament del fusible.

Els resultats obtinguts són prometedors de cara a la continuació del projecte. Les toleràncies d'entre 5 i 15% entre els valors extrems són acceptables per al sistema de muntatge gràcies a la gran capacitat del sostre per acceptar càrregues de sentit contrari a les del seu pes propi.

Dels elements que intervenen:

S'ha d'aconseguir que el conjunt utillatge i fusible tingui les mínimes deformacions i moviment relatiu entre ells.

La unió amb la bancada es recomana que sigui fixe en comptes de rotatiu, per a tenir menys desviacions a les lectures.

Caldria el disseny i l'assaig de un utillatge definitiu mes compacte ja que el assaig del utillatge de laboratori ha sigut tot un èxit.

Acabats tots els assaigs i analitzats els resultats s'arriba a la conclusió que s'ha acomplert els objectius marcats a l'inici del treball.

Resum de pressupost

S'ha realitzat el pressupost que valora el què ha costat fer aquest estudi. S'ha separat en dues parts diferents, per una banda hi ha el cost de desenvolupament i, per l'altra, el cost del material emprat.

El total del pressupost ascendeix a 4895,50€.

Per veure el pressupost al detall i el cost d'implementació en obra del fusible mecànic dirigir-se al **volum III – Pressupost**.

Bibliografia

- [1] Argandoña, A. (Junio / 1992). [www.iese.edu](http://www.iese.edu/research/pdfs/DI-0229.pdf). Consultat el 20 d'octubre / 2014, a <http://www.iese.edu/research/pdfs/DI-0229.pdf>
- [2] Arxiu de Sistemes de Reforç Actiu, S. (sense data).
- [3] Baquero, C. S. (7 / Abril / 2013). La aluminosis creció a la sombra de la Barcelona desarrollista. El Periódico .
- [4] Casanovas i Boixareu, X., Graus i Rovira, R., Rosell i Amigó, J. R. (1992). Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó i ceràmics. Barcelona.
- [5] Patología+Rehabilitación+Construcción. (Novembre / 2012). Consultat el Octubre / 2014, a <http://www.patologiasconstruccion.net/2012/11/la-aluminosis-al-descubierto-i-cementos-aluminosos/>
- [6] Redacció. (12 / Novembre / 1990). El derrumbe de un edificio subleva a los vecinos del Turó de la Peira. La Vanguardia , p. 25.



Annex A

Noves propostes

A1. Millora del cargol amb canya rebaixada

Com a primera idea d'estudi per millorar el sistema de precàrrega de les bigues Nou\Bau va ser la continuació i la millora de la proposta del cargol amb canya rebaixada. Com a primera observació del sistema vaig identificar que hi havia un error en el utillatge Figura 33 que es va utilitzar per assajar el cargol en el laboratori.



Figura 33: Utillatge cargol amb canya rebaixada

Com es pot apreciar a la Figura 34 un dels principals problemes que comportava l'ús d'aquest utillatge, es que hi havia una pèrdua de força per culpa dels moviments laterals que venien donats per la pròpia rotació dels cargols sobre la superfície de fregament.

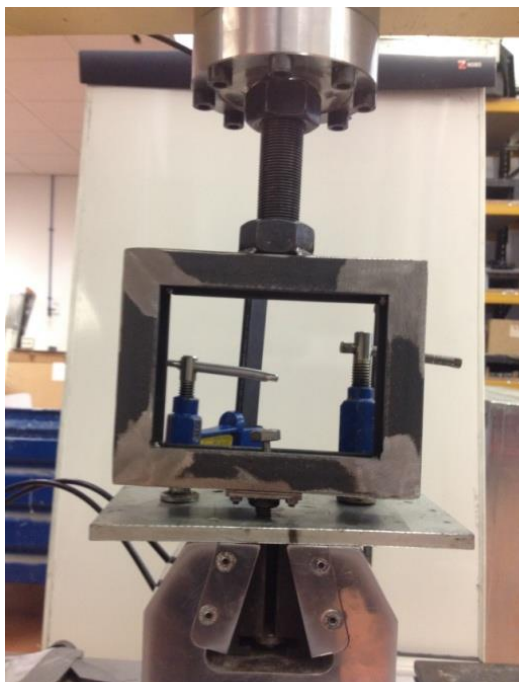


Figura 34: Moviments laterals del utillatge

Un dels altres problemes que comportava l'ús de aquest utillatge es que la superfície encarregada de transmetre la força de precàrrega era la punta del cargol Figura 35. I com que no tots els cargols tenen la mateixa forma en la punta, els fregaments eren diferents.



Figura 35: Punta dels cargols amb la canya rebaixada

Per tal d'optimitzar el utillatge s'havia de pensar en solucionar els dos problemes presentats anteriorment. Per eliminar els moviments laterals, la força encarregada de donar la precàrrega de la biga no podia venir donada de un moviment rotacional, sinó que havia de ser lineal. I per tal de que

les diferents irregularitats de les puntes dels cargols no influïssin, la força transmesa no podia venir donada per la mateixa punta del cargol. Per altre banda també s'ha de tenir en compte que un cop trencat el fusible, aquest utilatge ha de mantenir-se l'última força registrada, es a dir, el sistema no pot tenir cap mena de pèrdua un cop trencat el nostre fusible.

Amb totes aquestes condicions presentades es disposa a dissenyar un nou utilatge optimitzat. La idea principal ve donada per un vis sens fi i un engranatge de cremallera Figura 36, d'aquesta manera es solucionen tots els problemes presentats anteriorment:

- Un cop es trenca el fusible el sistema manté l'última força gràcies a que el vis sens fi es caracteritza per ser un mecanisme irreversible.
- No hi ha moviments laterals ja que la transmissió de la força es lineal gràcies al engranatge de cremallera
- Les irregularitats de la punta del cargol no influeixen en el sistema, ja que el cargol es fa solidari amb el vis sens fi.

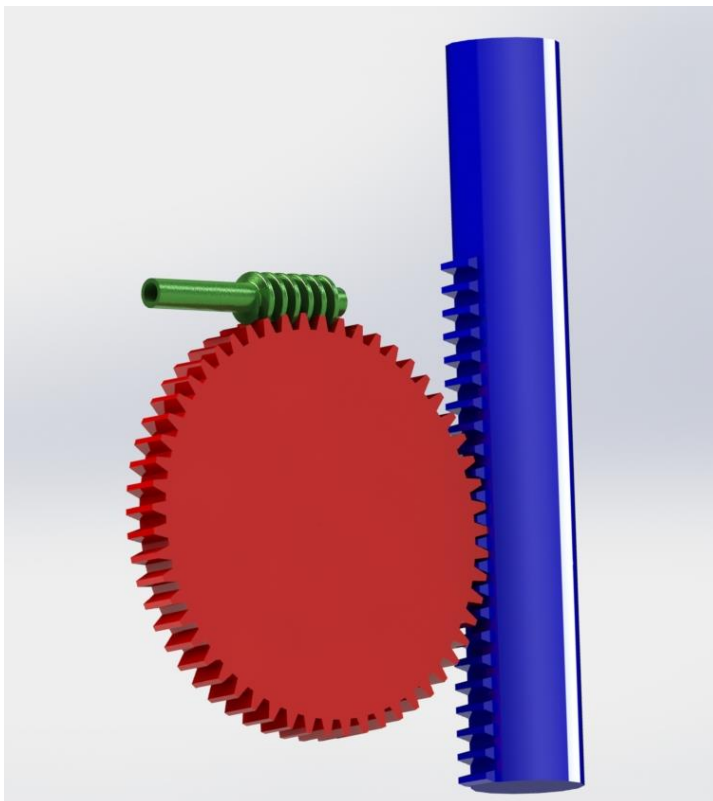


Figura 36: Utilatge optimitzat cremallera

Aquest sistema, tot i ser molt prometedora i de solucionar tots els problemes que presentava el primer utilatge, es va desestimar finalment ja que el mecanisme del vis sense fi es massa car, i com

hem comentat anteriorment, el cargol amb la canya rebaixada va resultar ser un fusible amb un cost anual massa elevat.

A2. Fusible plàstic

Com a idea principal es va planteja implementar, com a fusible mecànic, nous materials més econòmics. Es va estudiar la possibilitat de dissenyar fusibles plàstics impresos amb impressores 3D. Les avantatges que oferien aquest tipus de fusibles i de material eren múltiples:

- Costos reduïts.
- Ràpida fabricació i automatitzada.
- Fabricació exacta per cada necessitat.
- Ecològica, ja que no hi ha desperdici de material en el procés de fabricació.
- Es poden fabricar els fusibles a la pròpia oficina de Nou\Bau.
- Material molt lleuger.

El primer disseny del fusible plàstic van sorgir de l'idea de reduir el cost unitari tant elevat que tenia el cargol amb canya rebaixada i per tal de solucionar el problema que donava sobre la dificultat del càlcul de la ruptura a torsió.

El disseny proposat funcionava a compressió Figura 37 el qual consistia en un dau imprès amb PVC amb una zona debilitada al centre programada perquè s'esclafi al arribar a la força desitjada.

Es col·locava entre el puntal i la biga, i la força s'aplicava des de el puntal. Proporcionava una evidència física però es va desestimar ja que implicava una atenció exhaustiva de part del muntador per controlar l'instant de ruptura del fusible, ja que aquest disseny no evitava el fet de aplicar una sobre carga no desitjada i el muntador havia de deixar de aplicar força al sistema un cop observat visualment el fusible esclafat.

Per tant es va desestimar ja que tot i donar una evidència física no actuava certament com a fusible ja que la lectura real del fusible podria no ser real.

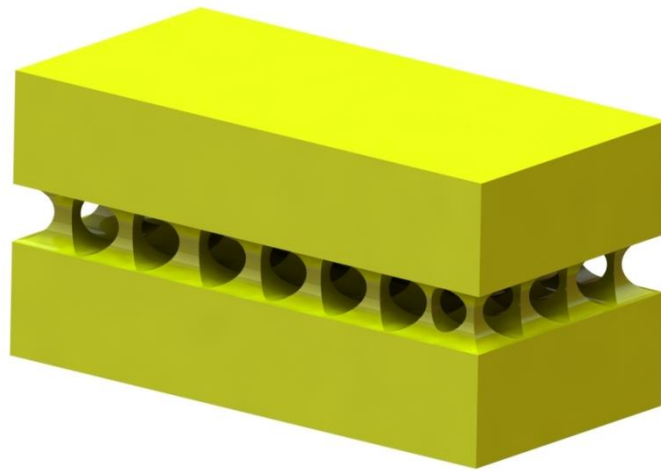


Figura 37: Fusible plàstic a compressió

Seguint les premisses establertes es va decidir seguir investigant amb un nou disseny de fusible plàstic. Observant el sistema actual, el gat hidràulic, es va pensar en substituir-lo per una versió encara més senzilla, el gat mecànic Figura 38. Amb unes petites modificacions, es convertia en un mecanisme molt prometedori gracies a les seves avantatges:

- Econòmic (11€ per una carrega de 1 Tona)
- Eficax: multiplicador de potencia
- Lleuger
- Màquina simple i eficaç
- Resistent i casi sense manteniment



Figura 38: Gat mecànic

El gat mecànic, no és en sí mateix un fusible, però es converteix en un fusible en el moment en el que col·loquem un petit testimoni de plàstic Figura 39 entre el cargol de potencia i l' eina encarregada de transmetre la força. Aquest petit testimoni que anomenarem fusible plàstic s'acobla com si fos una clau de mètric 12 s'acciona amb una clau del mateix mètric 12. El parell torçor que es capaç de suportar vindria donat per el diàmetre de la canya del testimoni.

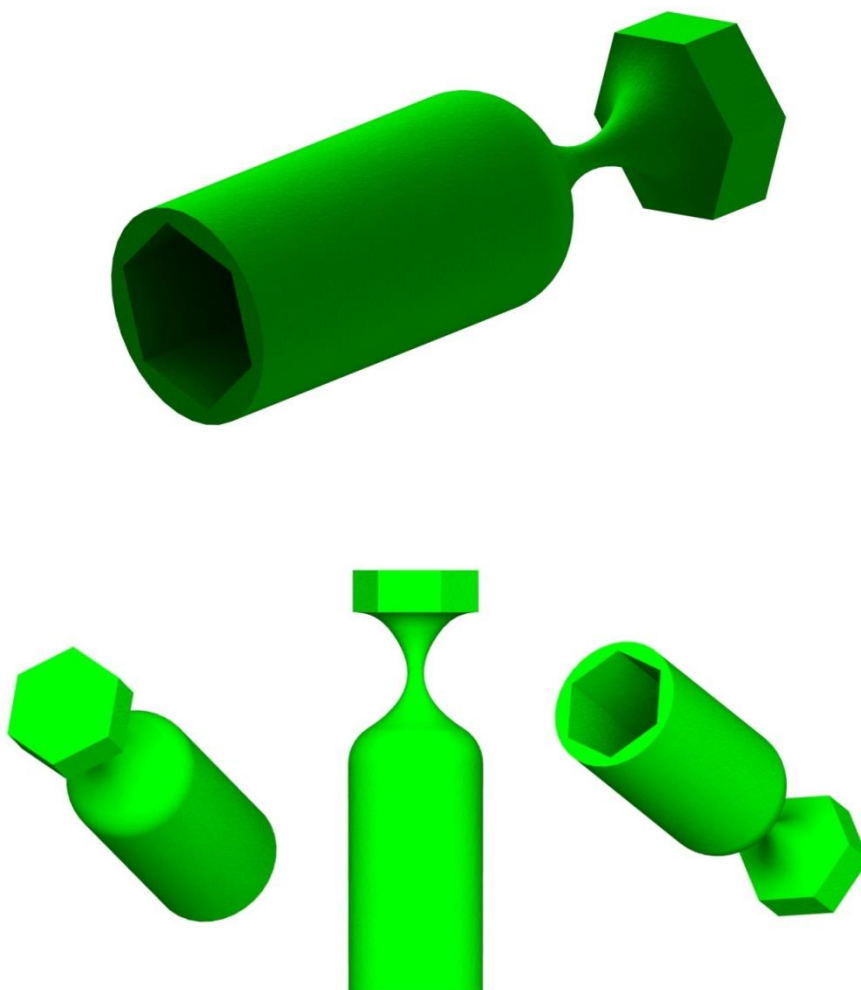


Figura 39: Fusible plàstic a torsió

Les avantatges que presentaven aquest tipus de fusible plàstic eren les següents:

- Al estar imprès amb 3D es pot gravar en el mateix fusible el nom del carrer, el tipus de biga, la data, etc.
- Depenent del diàmetre suportarà un parell torçor o un altre i es reflectirà proporcionalment en la força de pefletxat que rebrà la biga.
- Es poden imprimir en diferents colors per definir un rang escalonat de forces.
- Massa del fusible plàstic: 3,56 g.
- Molt econòmic. Preu unitat 0.0712€.

El sistema definitiu queda de la següent manera Figura 40 amb les modificacions pertinents:

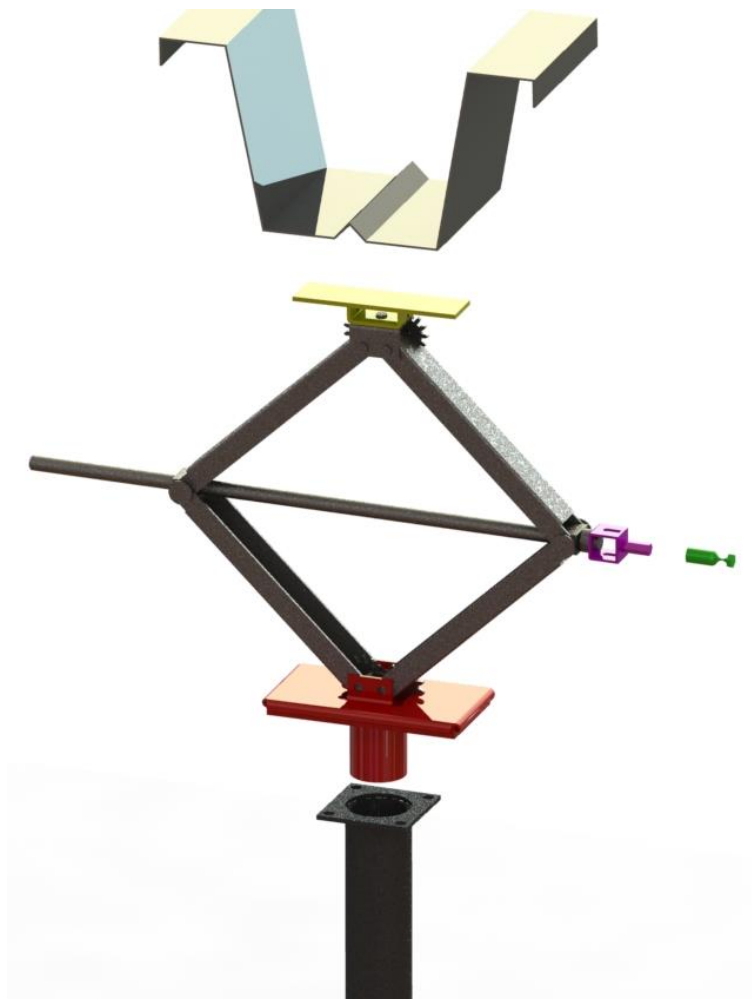


Figura 40: Explosionat sistema gat mecànic

El conjunt del sistema era molt prometedori ja que semblava que complia amb totes les premisses necessàries presentades al inici del estudi. Les avantatges que oferien aquest sistema de gat mecànic Figura 41 comparat amb el sistema utilitzat convencionalment del gat hidràulic son:

- Utilització de un únic puntal per cap de biga ja que gracies al seu sistema de aproximació no es necessari que hi hagi dos operaris, un aplicant la carga i l'altre fent el canvi de puntal (explicat anteriorment). Això també va relacionat amb una productivitat mes elevada.
- Moltes parts son desmuntables per tal de facilitar el transport i gracies al seu disseny el gat es pot plegar i adoptar una forma plana de fàcil emmagatzematge en multitud dins d'una bossa.
- El fusible plàstic esta dissenyat per poder ser accionat per una trepant tornavís
- Disseny mol barat, amb un manteniment molt baix i molt resistent.

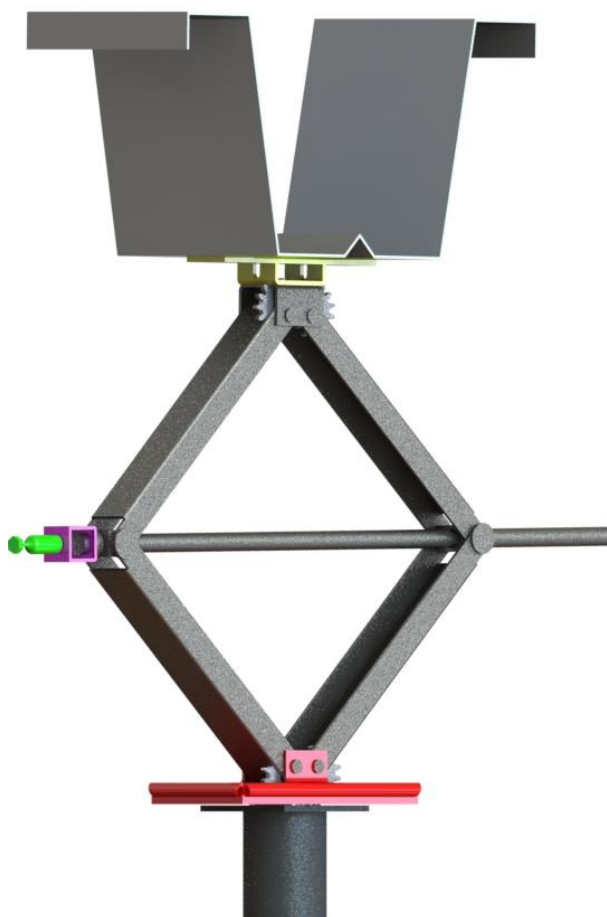


Figura 41: Sistema gat mecànic

Després de un estudi exhaustiu del disseny es va desestimar aquesta opció com una opció viable ja que les desviacions de forces resultants aplicades des d'un mateix fusible en funció del angle que optava el gat mecànic eren massa grans i això provocaria unes lectures massa disperses i irrealment sobre la biga. La qual cosa vam concloure que l'angle del gat era inversament proporcional a la força aplicada des del fusible. També vam desestimar la idea de seguir investigant amb fusibles impresos amb 3D ja que la repetibilitat que aquest material aporta en assajos de ruptura te no esta molt clara i depèn molt de la qualitat de la impressió, de la pròpia impressora en si i del format de impressió.

Tot això ens va donar pas en seguir investigant un nou sistema per aplicar una força sense desviacions per angles i un nou material per el nostre fusible.

A3. Gat mecànic vertical

Després de veure que el gat mecànic amb forma de tisores no ens servia degut a la variació de les forces en funció del angle vam iniciar un estudi del gat mecànic amb cargol de potencia vertical Figura 42.



Figura 42: Gat mecànic vertical

Igual que en el cas del gat mecànic amb disseny de tisores, aquest utensili en si, no actua com a fusible. Per tal de obtenir una evidència física que ens demostrï que s'ha aplicat just la pressió necessària en aquest utensili, se li ha de fer una petita modificació, acoblant-li un mòdul per tal de obtenir aquest testimoni. En aquest cas no hem pensat en fusibles amb materials plàstics impresos en 3D ni on la seva ruptura ve donada per un sobreforç a torsió.

El nou utensili Figura 43 segueix sent un mecanisme bastant senzill en el qual consisteix en dos plats independents on està unit al eix de sortida del cargol i l'altre plat és el que rep l'acció del operari directament. Aquest dos plats es tornen solidaris gràcies a la unió de un testimoni que actua com a "xaveta", i un cop arribada a la força desitjada, aquesta testimoni trenca a cisalla deixant lliure el plat del operari respecte el plat unit a l'eix del cargol.

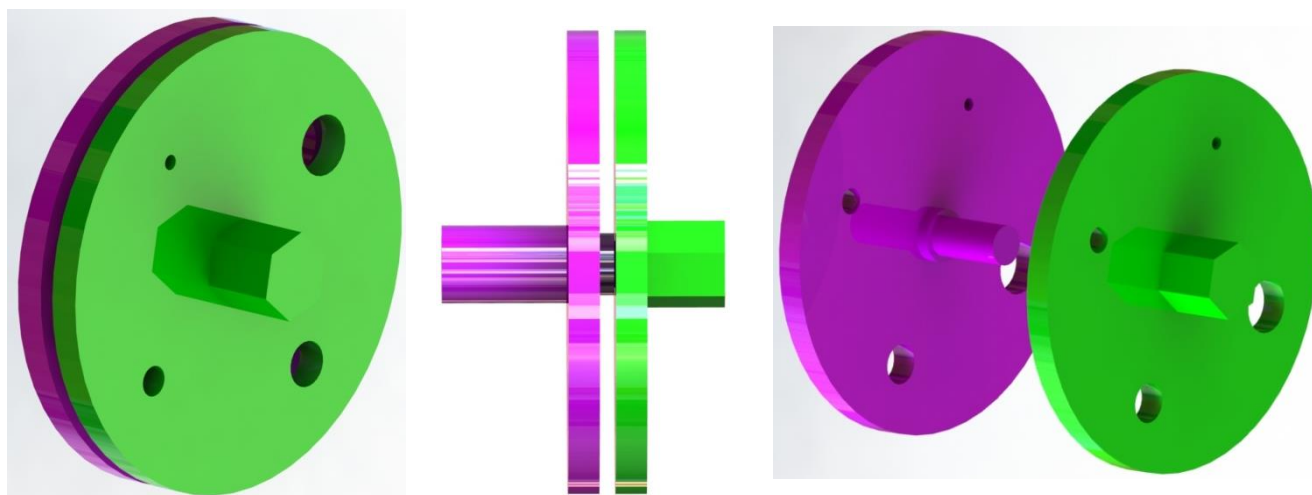


Figura 43: Utilatge a cisalla

El plat lila de la figura 19 aniria acoblat a la sortida del eix del cargol de la figura 18 a raó de que per cada volta del plat el cargol té un avanç determinat. El plat verd seria el plat accionat per el operari amb una eina de M12, i es farien solidaris els dos plats en el moment en que algun dels orificis s'introdueix una tub normalitzat (de coure per exemple). En el moment de la ruptura per cisalla del tub aquest plat verd quedaria independent i embragat, de tal manera que ja no se li podria aplicar més carga ni extreure carga al sistema. El dos plats disposen de diferents forats amb diàmetres escalonats per tal d'assolir diferents forces de prefretxat.

Si ens fixem en la figura 44, el mecanisme intern que utilitza el gat amb cargol de potencia figura 18 es molt semblant al mecanisme proposat inicialment al principi del estudi (vis sense fi/cremallera) figura 36.



Figura 44: Mecanisme intern del gat amb cargol de potencia

Finalment aquest sistema va ser desestimat per la mateixa raó que el mecanisme vis sense fi/cremallera de la figura 36, per la raó del preu elevat que te en general un mecanisme d'aquestes característiques. El preu total del utilatge ascendia a mes de 400 € (preus unitaris donats per la empresa Niasa) degut a la seva complexitat i l' utilització de nombroses peces Figura 45.

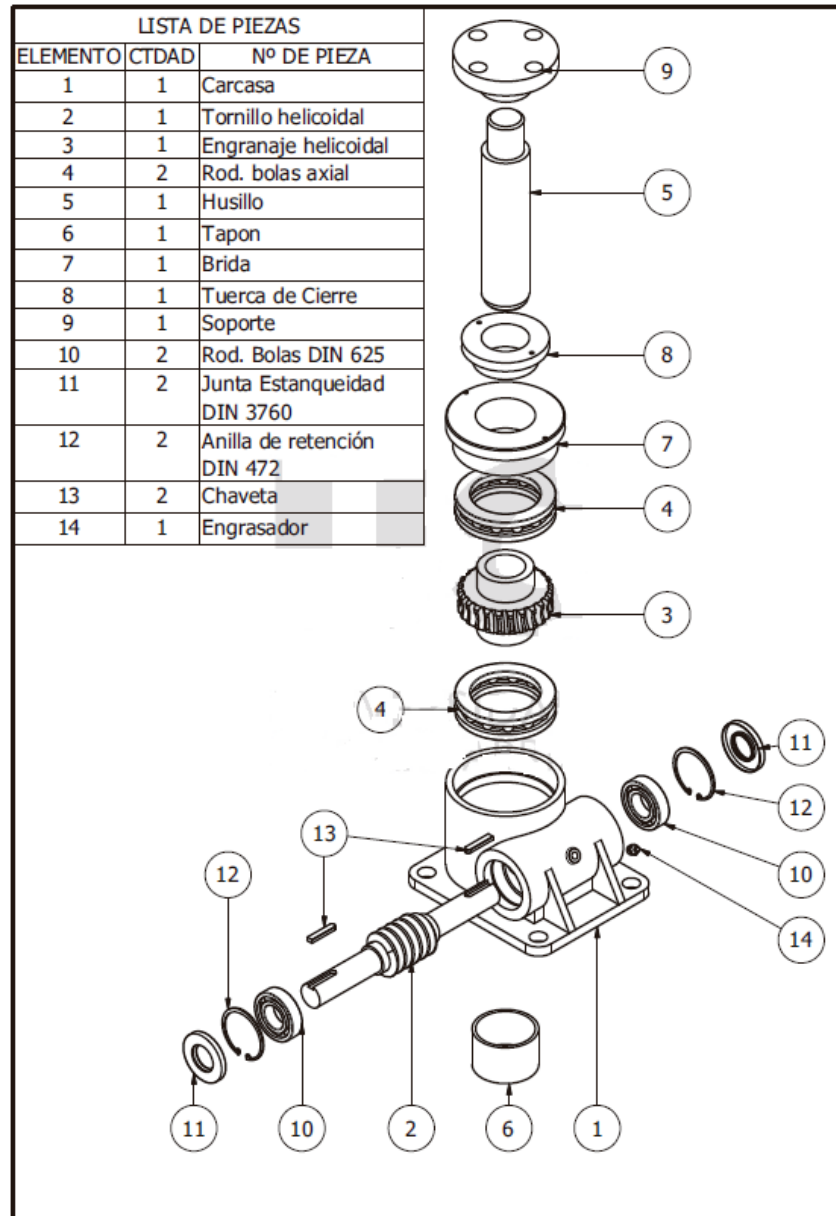


Figura 45: Especejament del gat mecànic vertical

Aquesta ultima conclusió va donar pas a la necessitat de dissenyar un sistema encara mes simplificat i senzill per tal de abaratir els costos al màxim, donant pas al disseny final del nostre estudi.

A4. Cargol de potencia amb fusible a cisalla

Observant el gat mecànic vertical i veient la necessitat d'optimitzar-lo al màxim i convertir-lo amb un element mes senzill i funcional per les nostres necessitats, es va decidir dissenyar de zero l'utilatge eliminant el màxim de peces innecessàries.

El nou disseny consistia amb un cargol de potencia una femella de carga i un plat embragat de manipulació del operari que es torna solidari a la femella en el moment que s'introdueix un fusible que trençarà a cisalla. La essència es igual que la de la proposta anterior, però amb una optimització màxima i una simbiosi dels dos elements que composaven el estudi previ i provant de eliminar totes les peces que feien d'intermediari de les transmissions de forces, per tal de aconseguir així, un utilatge molt mes simplificat.

Aquesta ultima opció es la proposada per seguir endavant amb el estudi i per assajar-la en un laboratorí per observar el seu comportament en les diferents carreges.

Annex B

Resultats experimentals de les proves al laboratori

En aquest annex s'adjunten tots els resultats de cada assaig de les proves experimentals així com el reportatge fotogràfic que s'ha fet.

B1. Primera prova

B1.1. Resultats

En la primera prova efectuada al laboratori no es va poder extreure cap resultat per un fallo en el utillatge.

B1.2. Fotografies

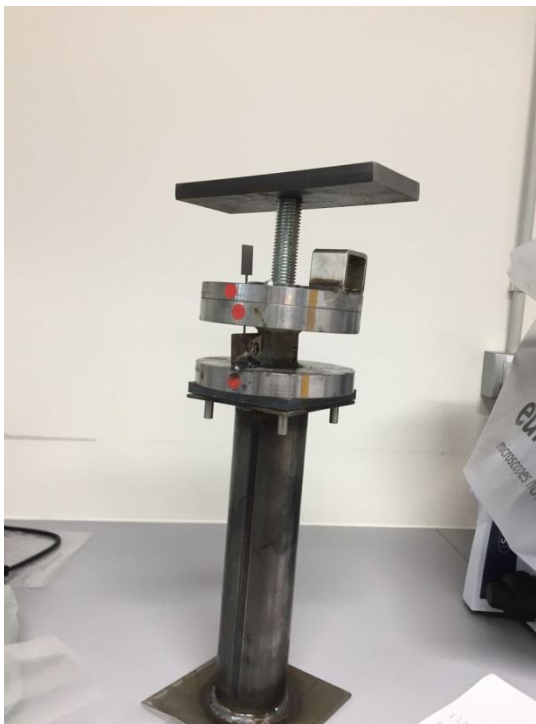


Figura 46: Foto utillatge prova 1



Figura 47: Foto assaig prova 1



Figura 48: Foto fusible deformat

B2. Segona prova

B2.1. Resultats ferro

Taula 12: X= 3mm; Y=1.5mm F

X= 3; Y=1.5	
Mostra	Força (N)
1	10200
2	10150
3	10600
4	9600
5	9900
Mitjana	10090
Desv. Estat.	371,4835124
Desviació	9,43%

Taula 13: X= 2,5mm; Y=1.5mm F

X= 2,5; Y=1.5	
Mostra	Força (N)
1	10500
2	10200
3	9800
4	
5	8500
Mitjana	10166,66667
Desv. Estat.	351,1884584
Desviació	6,67%

Taula 14: X= 2mm; Y=1.5mm F

X= 2; Y=1.5	
Mostra	Força (N)
1	8300
2	8000
3	7600
4	7650
5	7400
Mitjana	7790
Desv. Estat.	357,7708764
Desviació	10,84%

Taula 15: X= 3mm; Y=1mm F

X= 3; Y=1	
Mostra	Força (N)
1	5900
2	6200
3	7100
4	7500
5	7370
Mitjana	6814
Desv. Estat.	720,0555534
Desviació	21,33%

Taula 16: X= 2mm; Y=1mm F

X= 2; Y=1	
Mostra	Força (N)
1	6760
2	6314
3	5923
4	
5	
Mitjana	6332,333333
Desv. Estat.	418,8010665
Desviació	12,38%

Taula 17: X= 3mm; Y=0,5mm F

X= 3; Y=0,5	
Mostra	Força (N)
1	4200
2	4240
3	4200
4	4150
5	4100
Mitjana	4178
Desv. Estat.	54,03702434
Desviació	3,30%

Taula 18: X= 2mm; Y=0,5mm F

X= 2; Y=0,5	
Mostra	Força (N)
1	2300
2	2600
3	2200
4	2400
5	2200
Mitjana	2340
Desv. Estat.	167,3320053
Desviació	15,38%

Nota: En vermell els resultats descartats per observació visual de que la base del puntal del laboratori s'ha mogut respecte la bancada enganyant el resultat final.

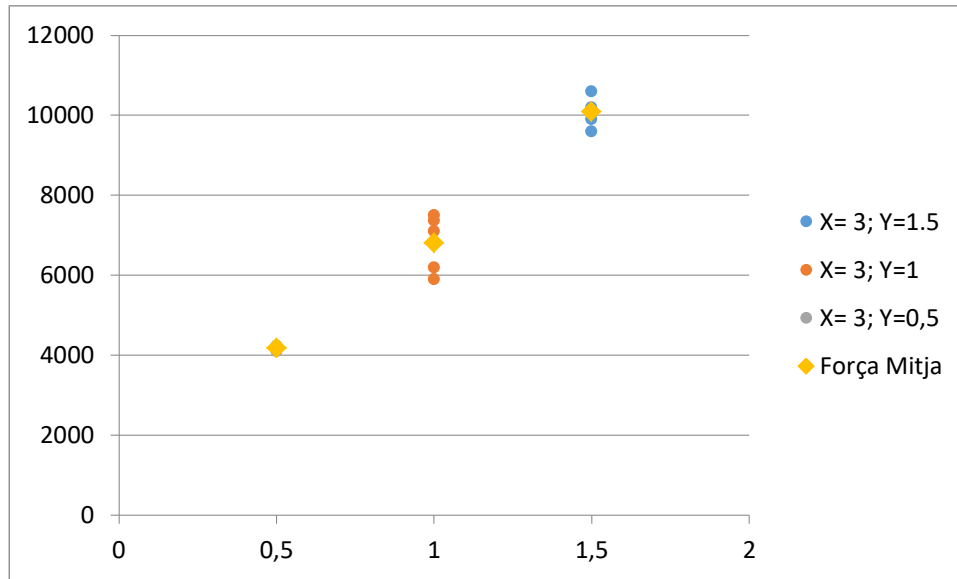


Figura 49: Gràfica X=3

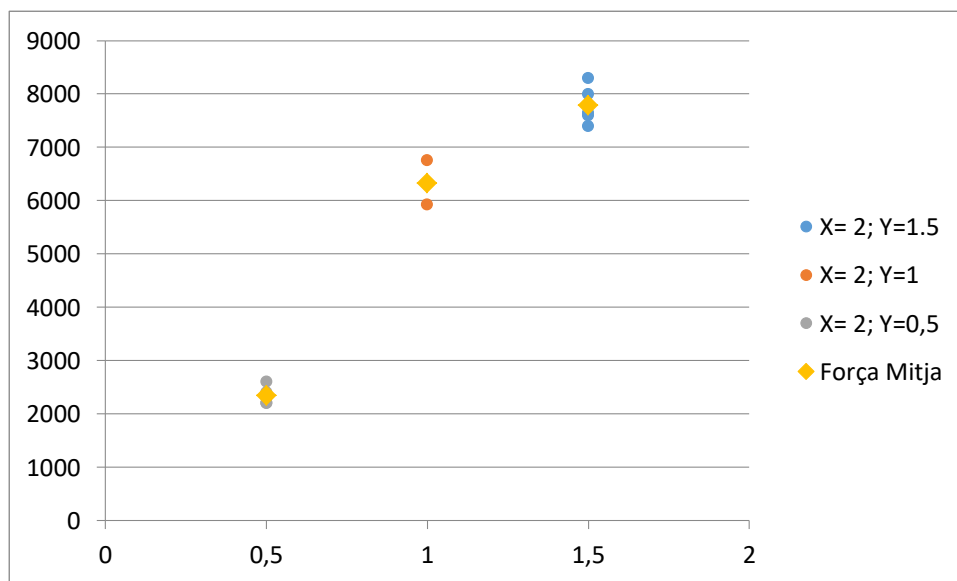


Figura 50: Gràfica X=2

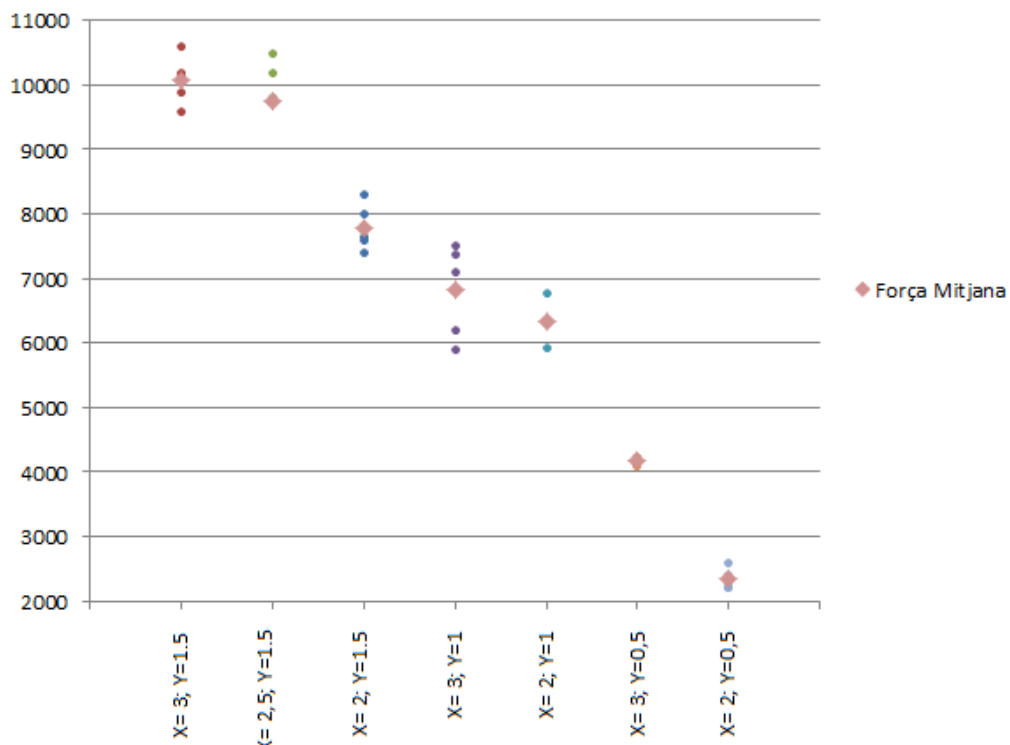


Figura 51: Gràfica resum de tots els rangs dels fusibles de ferro

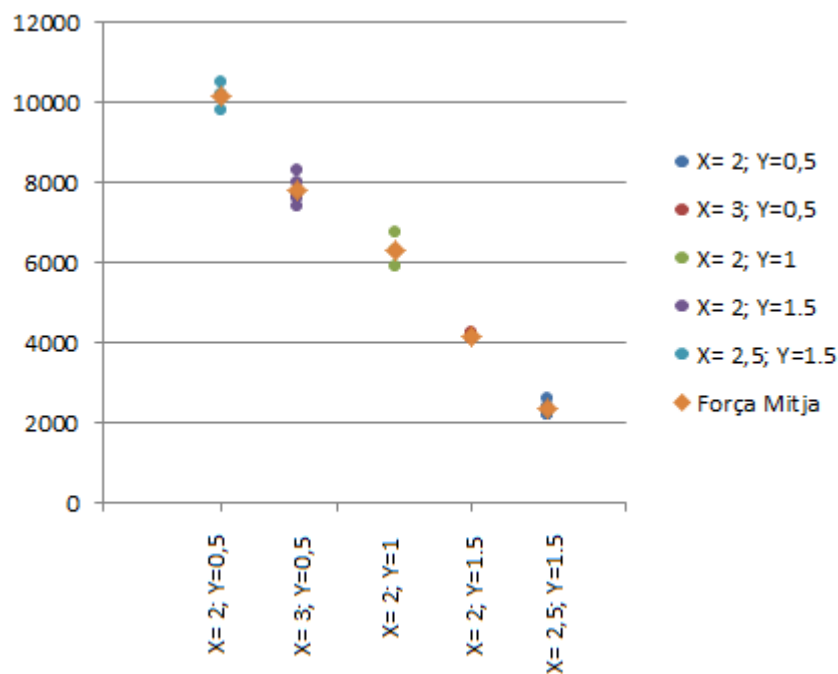


Figura 52: Gràfica resum dels fusibles seleccionats

B2.2. Resultats acer galvanitzat

Taula 19: X= 3mm; Y=0,5mm A

X= 3; Y=0,5	
Mostra	Força (N)
1	4300
2	4500
3	4500
4	4900
5	4900
Mitjana	4620
Desv. Estat.	268,3281573
Desviació	12,24%

Taula 20: X= 2mm; Y=0,5mm A

X= 2; Y=0,5	
Mostra	Força (N)
1	4205
2	4400
3	3900
4	3800
5	
Mitjana	4076,25
Desv. Estat.	276,1453422
Desviació	13,64%

Taula 21: X= 3mm; Y=1mm A

X= 3; Y=1	
Mostra	Força (N)
1	7030
2	7200
3	6900
4	7500
5	9200
Mitjana	7157,5
Dev. Estat.	259,2778432
Desviació	8,00%

Taula 22: X= 2mm; Y=1mm A

X= 2; Y=1	
Mostra	Força (N)
1	6100
2	5100
3	4800
4	4400
5	4500
Mitjana	4566,666667
Dev. Estat.	282,8427125
Desviació	8,33%

Nota: En vermell els resultats descartats per observació visual de que la base del puntal del laboratori s'ha mogut respecte la bancada enganyant el resultat final.

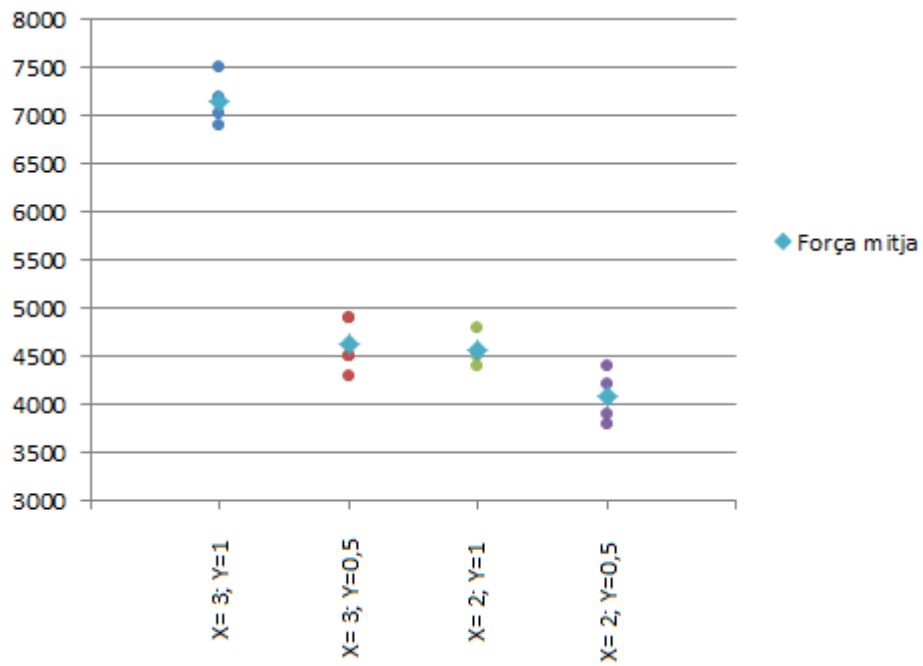


Figura 53: Gràfica resum de tots els rangs dels fusibles de acer galvanitzat

B2.3. Fotografies



Figura 54: Màquina d'assaig MicroTest



Figura 55: Base giratòria de la màquina Microtest

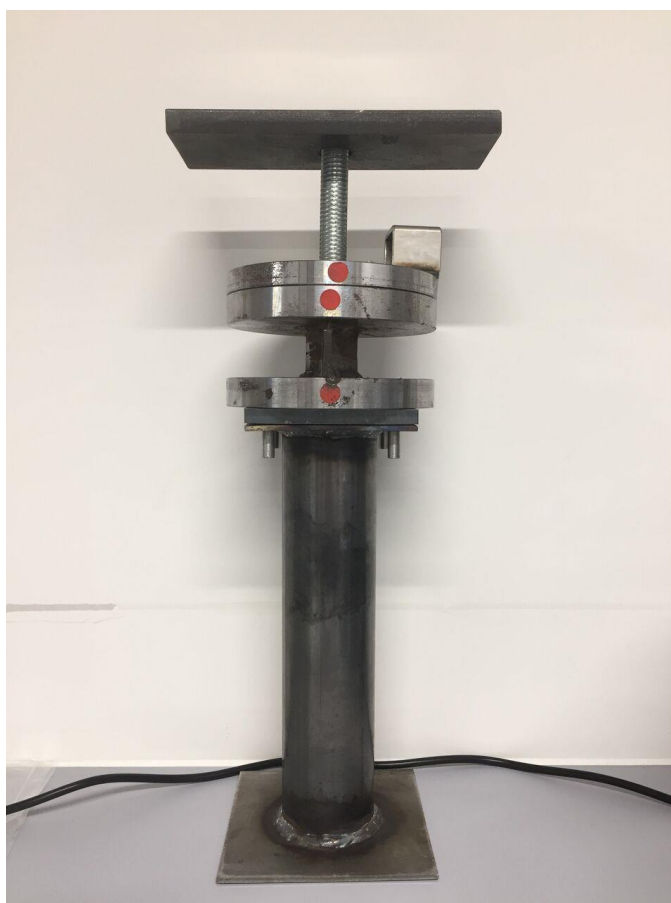


Figura 56: Utilatge laboratori prova 2



Figura 57: instal·lació prova 2



Figura 58: Fusible trencat

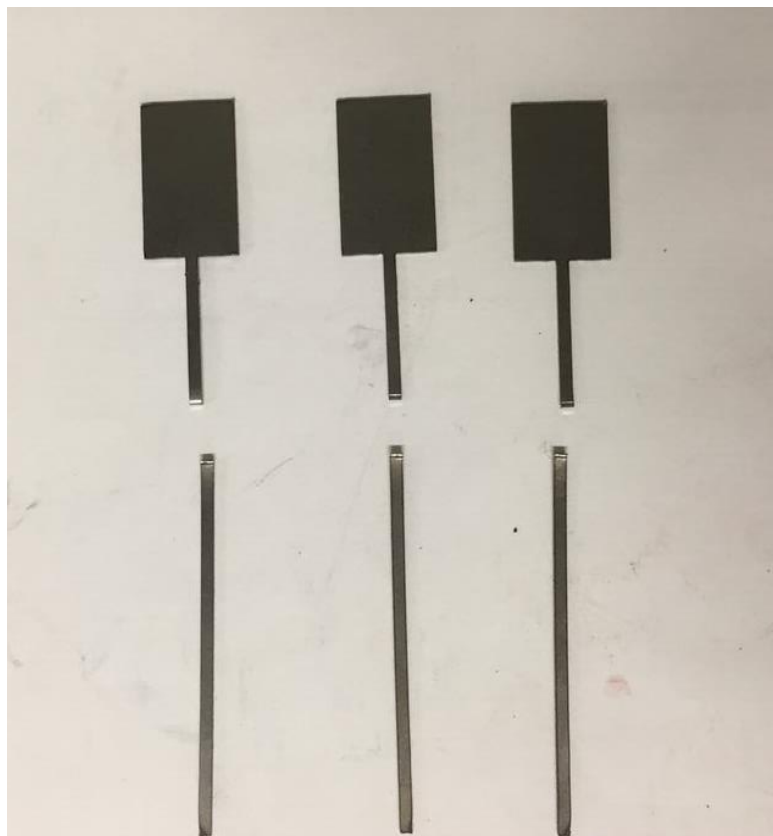


Figura 59: Fusibles trencats 2na prova



Figura 60: Diferents fusibles



Figura 61: Cel·la de càrrega 20KN

Annex C

C1. DIT Sistema Nou\Bau

