

INDEX

MEMÒRIA DESCRIPTIVA

| | |
|--|----|
| 1. Introducció | 3 |
| 1.1. Antecedents..... | 3 |
| 1.2. Objecte | 3 |
| 1.3. Especificacions | 4 |
| 2. Descripció de la solució | 5 |
| 2.1. Estructura | 6 |
| 2.2. Rotor..... | 7 |
| 2.3. Conjunt motor | 9 |
| 2.4. Instruments de mesura | 9 |
| 3. Resum econòmic | 11 |
| 4. Conclusions | 12 |
| 5. Índex de documents del projecte | 13 |
| | |
| ANNEX A – DISSENYIS PRELIMINARS | 14 |
| 1. Introducció | 15 |
| 2. Estructura | 15 |
| 3. Peces de l'equilibradora..... | 18 |
| 3.1. Eix | 18 |
| 3.2. Suport dels rodaments..... | 19 |
| 3.3. Rodaments | 20 |
| 3.4. Masses desequilibradores | 20 |
| 3.5. Discs equilibradors..... | 20 |
| 3.6. Fixació masses equilibradores..... | 21 |

| | |
|--|----|
| ANNEX B – CÀLCULS..... | 23 |
| 1. Càlculs de dimensionat..... | 24 |
| 1.1. Masses del rotor | 24 |
| 1.2. Càlcul de les inèrcies | 27 |
| 1.3. Dimensionat del motor | 29 |
| 1.4. Càlcul suports dels rodaments..... | 30 |
| 1.5. Força de reacció dels rodaments | 33 |
| 2. Càlcul dels rodaments | 34 |
| 3. Càlcul de les masses equilibradores..... | 35 |
| 4. Càlcul de seguretat per les masses equilibradores | 36 |
| | |
| ANNEX C – EXPEDIENT TÈCNIC..... | 37 |
| 1. Condicions generals | 38 |
| 2. Requisits de seguretat | 38 |
| 3. Connexions i accionament..... | 41 |
| 4. Esquemes elèctrics..... | 42 |
| | |
| ANNEX D – MANUAL D'ÚS..... | 43 |
| 1. Muntatge de la màquina | 44 |
| 2. Ús | 45 |
| 3. Manteniment..... | 46 |
| | |
| ANNEX E – EQUILIBRAT | 48 |
| 1. Introducció | 49 |
| 2. Equilibrat..... | 49 |
| 3. Variacions a la pràctica d'equilibrat de rotors..... | 50 |
| 4. Realització pràctica..... | 51 |
| 5. Exemples pràctics..... | 53 |

1.- Introducció

1.1.- Antecedents

El Laboratori de Mecànica de l'Escola Politècnica Superior, actualment, disposa d'una màquina equilibradora de rotors per a ús docent. Aquest aparell va ser dissenyat per un antic alumne de l'escola, ja fa uns anys, com a projecte final de carrera.

Aquesta màquina s'utilitza per a realitzar les pràctiques de laboratori d'equilibrat de rotors. Degut a l'ús bastant freqüent de l'aparell, s'ha pogut comprovar que té certes limitacions:

- Estava alimentada per un petit motor de corrent continua, que donava una acceleració lenta.
- Els suports dels rodaments permetien molt moviment axial al rotor.
- La màquina en general tenia molta vibració.

Això ha provocat que es plantegés un disseny alternatiu de l'equilibradora de rotors per poder-ne millorar les prestacions.

1.2.- Objecte

El següent projecte té com a objecte fer un nou disseny complet de l'equilibradora de rotors. En aquests moments, però, no es contempla la possibilitat de construir la màquina.

El projecte consisteix en plantejar un nou disseny de la màquina que s'adapti a les necessitats del laboratori. Fer el disseny de totes les peces amb els plànols corresponents, realitzar tots els càlculs necessaris per assegurar-ne el bon funcionament i pressupostar l'aparell, per si en un futur es creu convenient la seva construcció.

1.3.- Especificacions

Especificacions tècniques:

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| - Dimensions: | 683x320x336 mm |
| - Potència del motor: | 0.061 kW |
| - Velocitat de gir: | 200 rpm |
| - Transmissió: | per corretja |
| - Relació de transmissió: | 1:1 |
| - Precisió de lectura de les galgues: | 1 mdef |
| - Precisió de l'encoder: | 1° |

Especificacions de disseny:

- Mantenir un principi de funcionament i un manteniment el més senzills possibles.
- Tenir una gran flexibilitat a l'hora de poder plantejar diferents casos pràctics.
- Permetre tensar la corretja per assegurar una bona transmissió.
- Garantir una bona lectura de les galgues.

Especificacions de seguretat:

- La zona del motor i la transmissió estaran protegides amb panells per tal de que no s'hi pugui accedir quan la màquina està en funcionament.
- La velocitat de gir del rotor no serà molt elevada per evitar grans acceleracions de les peces en moviment.
- S'establirà una zona de seguretat al voltant de l'aparell, on no es podrà accedir quan la màquina estigui en funcionament.
- Tots els controls de la màquina estaran situats fora d'aquesta zona de seguretat.

2.- Descripció de la solució

L'equilibradora de rotors està formada per diversos components, però la podríem dividir en quatre parts principals:

- Estructura
- Rotor
- Conjunt motor
- Instruments de mesura

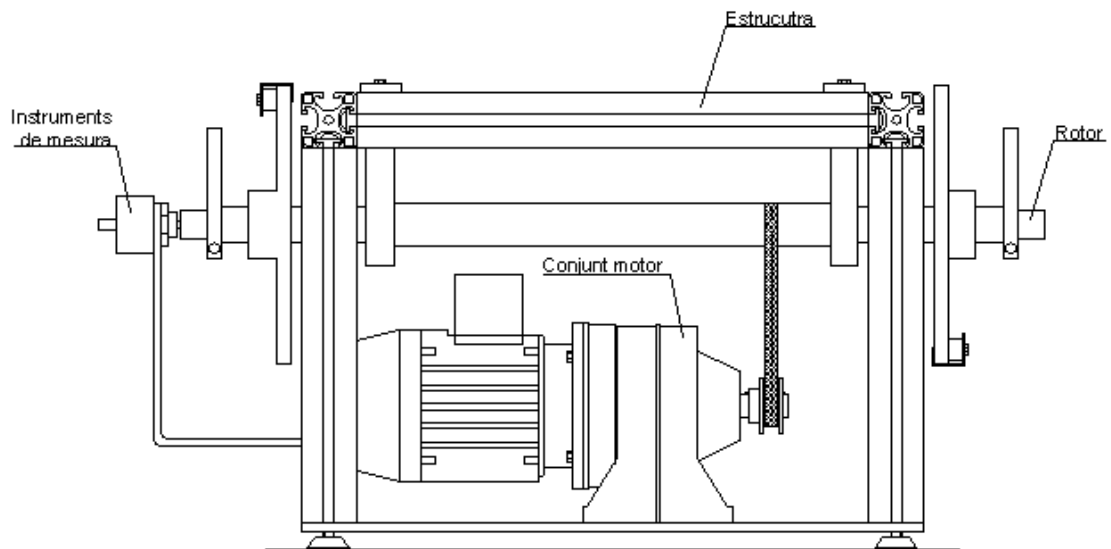


Figura 1: Equilibradora de rotors

L'estructura és la base de la màquina, és la part estàtica que suporta tots els altres components de l'aparell. Un d'aquests components són els suports dels rodaments, que tot i no formar part de l'estructura en si, són una de les peces més importants de la part estàtica de la màquina. Són uns dels components de l'equilibradora que uneixen l'estructura amb el rotor.

El rotor és la part mòbil de la màquina, està format per tots els components que adquireixen moviment quan la màquina entra en funcionament. És a dir, l'eix principal, les masses desequilibradores i el conjunt equilibrador.

El conjunt motor és qui permet el moviment del rotor. El componen el motor, la poltija de sortida del motor i la corretja de transmissió. El conjunt motor també uneix

l'estructura amb el rotor. El motor és una part estàtica de la màquina, i està fixat a la base de l'estructura. Mitjançant la corretja es transmet el moviment generat al motor directament a l'eix del rotor.

Els instruments de mesura són els que ens permeten l'obtenció de dades per tal de realitzar posteriorment els càlculs d'equilibrat. A l'equilibradora de rotors tenim dos instruments de mesura. L'encoder, que és qui ens dóna la posició exacte de l'eix, i les galgues extensiomètriques que ens donaran la deformació dels suports dels rodaments per tal de poder calcular la força deguda al desequilibri.

2.1.- Estructura

L'estructura principal de l'equilibradora de rotors està formada, bàsicament, per perfils d'estructura modular d'alumini de la casa ITEM, o similar. En aquest projecte s'han utilitzat perfils d'aquesta marca comercial perquè disposen d'una àmplia gamma de components per a construir estructures d'aquest tipus. També permeten un muntatge senzill i donen un bon acabat superficial al producte.

El model de perfil utilitzat és el de 40x40 de la sèrie 8 de ITEM. La fixació d'aquests perfils entre si es fa mitjançant el tipus de unió estàndard, de la mateixa casa. Per tal de donar més rigidesa a l'estructura s'han col·locat uns cartabons. Aquests cartabons també els facilita aquesta casa comercial.

Un altre element important de l'estructura és la planxa d'acer inoxidable que s'ha col·locat com a base. Aquesta planxa fa de suport del motor, alhora que fa augmentar molt la rigidesa de l'estructura ja que evita que es mogui de la base.

Finalment, i per tal de donar un bon suport a l'estructura es col·locaran uns peus que comercialitza la mateixa casa ITEM. Aquests peus permetran, mitjançant una rosca, ajustar l'alçada de l'estructura de forma independent a cada puntal. Això ens ajudarà a anivellar l'estructura amb el terra.

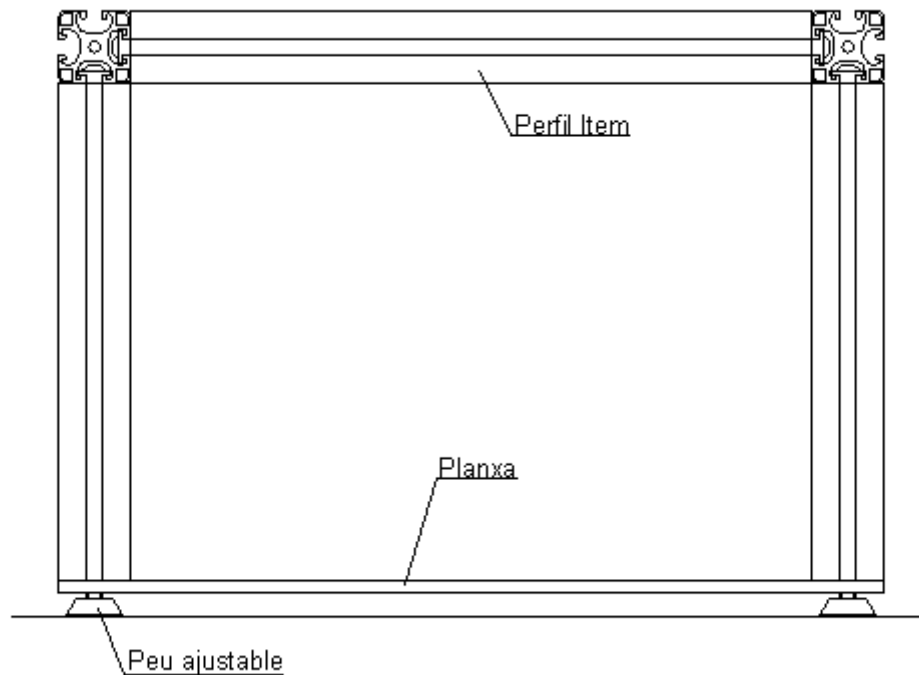


Figura 2: Estructura

2.2.- Rotor

El rotor de l'equilibradora està format per l'eix principal de la màquina, les masses desequilibradores i els conjunts equilibradors.

L'eix és una part molt important del rotor. Està subjectat mitjançant dos rodaments, i els seus respectius suports, a l'estructura. Per tal d'ajustar correctament aquests rodaments, i els altres components del rotor, s'ha optat per mecanitzar l'eix. Això, tot i encarir el cost de la màquina, ens assegura un muntatge més senzill i eficaç dels components que van fixats en aquest eix.

S'ha mecanitzat a tres diàmetres diferents. Un diàmetre de 30mm a la part central que ens marcarà la posició dels rodaments. Un segon diàmetre de 25mm que ens donarà la posició dels discs equilibradors. I finalment, s'ha mecanitzat un tercer diàmetre de 20mm per tal de poder col·locar aquests discs i les masses desequilibradores.

Les masses desequilibradores¹ són les peces que faran girar el rotor de forma desequilibrada. Es tracta de dues peces d'alumini, que al col·locar-les sobre l'eix, li creen un grau de desequilibri. El pla on col·locarem aquestes masses serà l'anomenat pla de desequilibri. Aquest pla, gràcies a uns fixadors, el podem situar en diferents posicions sobre l'eix². El fet de muntar les masses a diferents angles en un mateix pla de desequilibri fa que el grau de desequilibri sigui diferent. Això, juntament amb la posició del pla de desequilibri, és el que permetrà obtenir diferents casos de desequilibrat. Les masses desequilibradores van collades sobre l'eix mitjançant un cargol.

De conjunts equilibradors també n'hi ha dos. Estan formats, cada un d'ells, per un disc equilibrador i unes masses equilibradores. Els discs equilibradors són uns discs d'alumini de 200mm de diàmetre. Aquests discs tenen una sèrie de forats a cada una de les seves cares, on es fixaran les masses per equilibrar. A una de les cares hi ha forats de 2mm de diàmetre cada 5 graus on es col·locarà el fixador de les masses equilibradores, a l'altre i també repartits cada 5 graus hi ha un forat roscat de mètric 4 on es collaran aquestes masses amb un petit cargol. La fixació radial dels discs sobre l'eix es fa mitjançant una xaveta. La seva posició ve donada per la geometria de l'eix, i queda fixat gràcies als fixadors de posició i les masses desequilibradores.

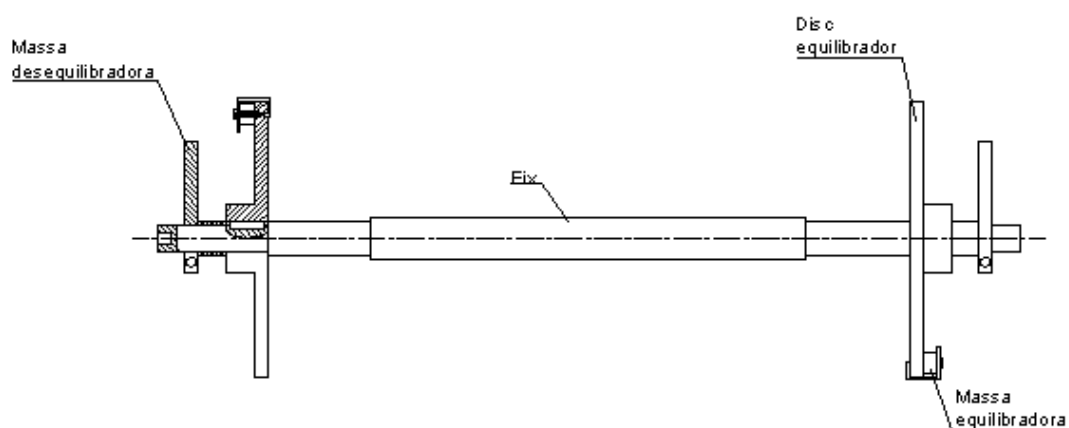


Figura 3: Rotor

¹ Veure Annex A – Dissenys preliminars; apartat 3.4.- Masses desequilibradores

² Veure Annex D – Equilibrat; apartat 3.- Variacions a la pràctica d'equilibrat de rotors

2.3.- Conjunt motor

El conjunt motor de l'equilibradora està format per un element motor, una politja i una corretja de transmissió.

L'element motor es tracta d'un motor-reductor trifàsic de 0.061kW de potència que girarà a 200rpm. S'ha escollit un motor trifàsic per tal de que el sistema tingui una major acceleració que la que tenia l'antiga equilibradora, ja que era un dels punts que es volia millorar. La velocitat de gir serà baixa per tal de garantir la seguretat, ja que es tracta d'un aparell amb masses en moviment. En aquest projecte s'ha optat per col·locar el motor a la part inferior de la màquina, i no a la part superior del rotor com amb l'antiga equilibradora. Aquest fet es deu a que es tracta d'un motor de majors dimensions i pes, i a que al col·locar-lo a la base de la màquina s'eviten vibracions de l'estructura degudes al seu funcionament. Tenir el motor a la part superior del rotor ens assegurava una bona tensió de la corretja, ja que el propi pes del rotor ens la tensava. Per poder tensar la corretja, s'han fet uns traus polissos a la planxa que fa de suport del motor per permetre un lleuger moviment lateral d'aquest, que farà tensar la corretja de transmissió.

A l'eix de sortida del motor s'hi acoblarà una politja d'acer de diàmetre 30mm per poder col·locar la corretja. Amb aquest diàmetre de la politja obtindrem una relació de transmissió $i=1$ que ens farà girar el rotor a 200rpm, com el motor.

La corretja de transmissió serà una corretja plana de 10mm d'amplada i 360mm de longitud, que la col·locarem directament sobre l'eix del rotor i a la politja del motor.

2.4.- Instruments de mesura

Per tal d'obtenir les dades necessàries per els càlculs de l'equilibrat a la màquina s'hi col·locaran unes galgues extensiomètriques i un encoder incremental.

Les galgues extensiomètriques estaran situades en un dels suports dels rodaments. Es col·locaran una a cada lateral, a l'alçada del forat passant. S'utilitzaran dues galgues per tal de poder fer el muntatge d'un pont de Wheatstone complet. D'aquesta manera podem obtenir les dades de deformació dels suports dels

rodaments, que ens permetran conèixer, mitjançant un càlcul d'equilibrat, quin grau de desequilibri tenim al rotor.

L'encoder ens donarà la posició de l'eix. S'utilitzarà un encoder incremental. En aquest projecte s'ha escollit la sèrie 21 de la casa Hohner, amb la opció C de fixació. Aquest encoder és un aparell de dimensions reduïdes i poc pesant. Això fa que es pugui acoblar a un extrem de l'eix mitjançant un suport senzill. De totes maneres, ens proporciona els impulsos per volta necessaris per tal de conèixer en tot moment la posició de l'eix.

3.- Resum econòmic**EQUILIBRADORA DE ROTORS**

| | |
|--|------------------------|
| Peces de compra | 568.56€ |
| Peces de fabricació pròpia | 547.61€ |
| Muntatge de la màquina | 94.08€ |
| <u>PRESSUPOST EXECUCIÓ MATERIAL</u> | <u>1210.25€</u> |

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| <u>Pressupost execució material</u> | <u>1210.25€</u> |
| <u>Despeses generals</u> | <u>229.95€</u> |
| <u>Suma</u> | <u>1440.20€</u> |
| <u>16% IVA</u> | <u>230.43€</u> |

PRESSUPOST EXECUCIÓ PER CONTRACTE **1670.63€**

El cost total de fabricació i muntatge de l'equilibradora de rotors per a ús didàctic dissenyada en el present projecte és de:

Mil sis-cents setanta euros amb seixanta-tres cèntims.

4.- Conclusions

Una vegada finalitzat el projecte es pot dir que s'han complert els objectius principals que es pretenien. Amb el nou disseny s'ha aconseguit millorar aquelles limitacions que tenia l'antiga equilibradora mantenint aquells aspectes que donaven un bon rendiment.

S'ha aconseguit augmentar el temps d'acceleració del rotor mitjançant un petit motor de corrent alterna. El nou disseny dels suports dels rodaments ha permès obtenir un suport més rígid, però que permet una bona lectura de les galgues.

S'ha mantingut un principi de funcionament i un manteniment senzills, tal com tenia la màquina anterior. I també s'ha mantingut la bona flexibilitat que tenia l'equilibradora a l'hora de plantejar diferents casos pràctics.

El fet d'equipar un motor més potent que el de l'antiga equilibradora ha fet que s'hagués de tenir més cura en els aspectes de seguretat.

Es pot dir, doncs, que amb el nou disseny obtingut per aquesta equilibradora s'han millorat les prestacions d'aquest aparell, adaptant-lo a les necessitats de la pràctica d'equilibrat de rotors.

5.- Índex de documents del projecte

Document 1: Memòria descriptiva

Annexos:

Annex A: Dissenys preliminars

Annex B: Càlculs

Annex C: Expedient tècnic

Annex D: Manual d'ús

Annex E: Equilibrat

Document 2: Plànols

Document 3: Plec de condicions

Document 4: Estat d'amidaments

Document 5: Pressupost

ANNEX A – DISSENYIS PRELIMINARS

1.- Introducció

A l'hora de dissenyar l'equilibradora de rotors s'han estudiat diferents alternatives de cadascun dels seus components i diferents composicions generals de la màquina, per tal d'arribar a la solució més adequada a les necessitats originals.

En aquest annex es detallen els diferents estudis que s'han realitzat de cada una de les parts de la màquina, explicant els motius que ens han portat a escollir una solució concreta.

2.- Estructura

Donat que ja hi havia una equilibradora de rotors al laboratori ha fet que no es partís de zero a l'hora de dissenyar aquesta equilibradora. S'ha intentat respectar al màxim aquells aspectes que funcionaven més bé de l'antiga equilibradora, i centrar l'estudi en aconseguir una millora important d'aquells aspectes on s'havien trobat mancances.

Des d'un primer moment es va decidir utilitzar un petit motor de corrent alterna per alimentar el nou aparell, en comptes d'un de corrent continua. Aquest fet va plantejar col·locar el motor a la part inferior de la màquina, ja que es tracta d'un motor molt més gran i pesat que el de corrent continua. A més el fet de tenir el motor a una alçada important respecte el terra, provocaria més vibracions a l'estructura.

Per tal de poder mantenir l'estructura de l'antiga equilibradora es va plantejar col·locar el motor a un extrem de l'eix, i només utilitzar un pla d'equilibri i un de desequilibri (figura 4). Això es va descartar, ja que el fet de tenir dos plans d'equilibri i dos de desequilibri feia més senzill l'equilibrat. Es va optar, doncs, per la mateixa composició que l'antiga equilibradora (figura 5), ja que era una solució molt vàlida, que havia donat bons resultats i facilitava la comprensió de l'equilibrat de rotors.

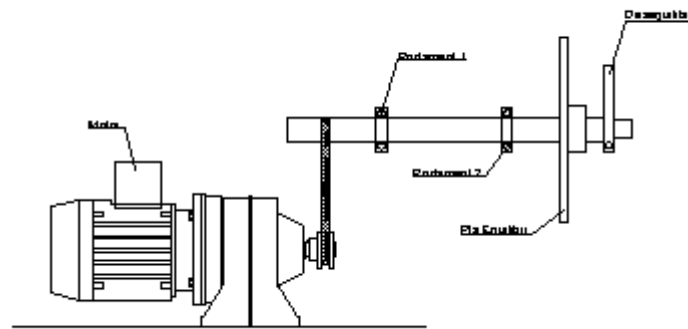


Figura 4: Equilibradora amb la transmissió a l'extrem de l'eix

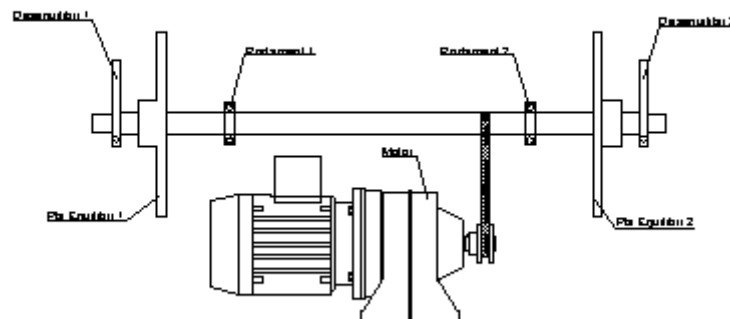


Figura 5: Equilibradora amb la transmissió central

Les dimensions del motor han estat un factor determinant en el disseny de l'estructura. Al decidir col·locar la transmissió al centre de l'eix va fer que s'hagués de fer una estructura nova, molt semblant a l'antiga, però lleugerament més gran. En aquest primer disseny ja es podia col·locar el motor dins l'estructura, però la transmissió no es podia fer entre els dos rodaments (figura 6). Aquest fet podia provocar problemes de soroll, i es va decidir descartar aquesta opció i redissenyar l'estructura. Tot i que aquesta opció era perfectament vàlida, es va preferir situar la transmissió entre els dos rodaments.

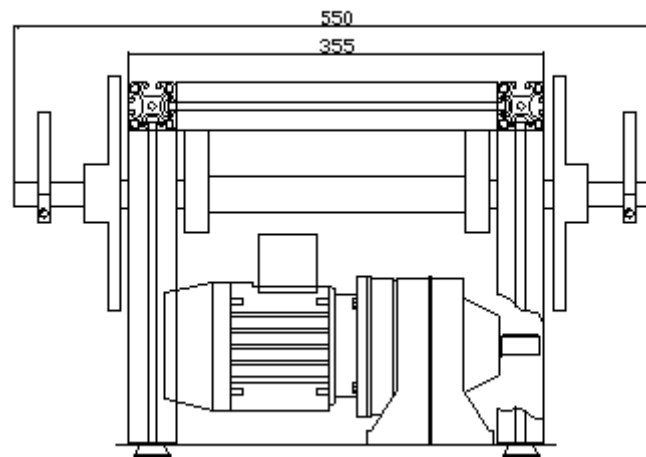


Figura 6: Primer disseny de l'estructura

Aquest nou disseny de l'estructura ha estat ja el definitiu. Però, per tal de poder situar la transmissió entre els dos rodaments, aquesta es va haver d'allargar considerablement (figura 7) .

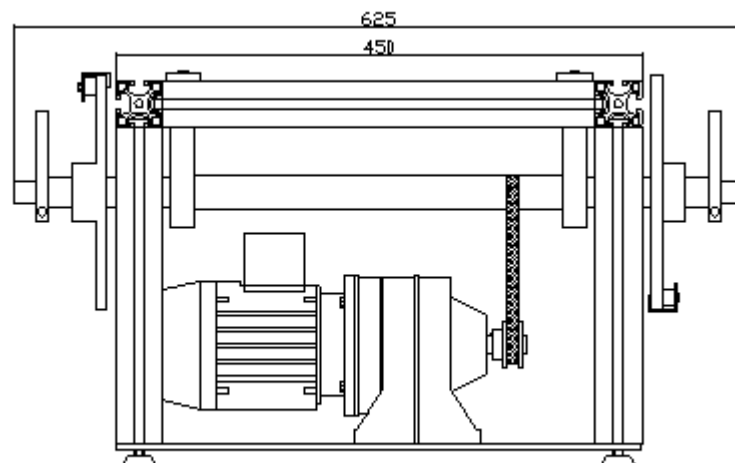


Figura 7: Disseny definitiu de l'estructura

3.- Peces de l'equilibradora

3.1.- Eix

L'eix, en aquesta nova màquina es va decidir mecanitzar-lo, per tal de poder fixar millor tots els components del rotor. Aquest fet ha provocat que, al mateix temps que es variava el disseny de l'estructura, també s'hagués de variar l'eix, per tal de poder adaptar-lo a la nova estructura.

Les variacions de l'eix, així com les de l'estructura, només s'han fet en dimensions. Per tal de fixar-hi els rodaments, els discs equilibradors i les masses equilibradores, s'havia de mecanitzar a tres diàmetres diferents. El diàmetre més petit havia de ser de 20mm, per tal de poder col·locar les masses desequilibradores (veure apartat 3.4). A partir d'aquí s'havia de mecanitzar un primer diàmetre superior perquè fixés la posició dels discs equilibradors, impedit que aquests toquessin l'estructura. Aquest diàmetre s'ha fet de 25mm, ja que era una mida correcte pels rodaments. I finalment, un últim diàmetre que ens marqués la posició dels rodaments. Aquest diàmetre s'ha mecanitzat a 30mm, ja que permet un correcte funcionament dels rodaments. El tram d'eix d'aquest darrer diàmetre és la part que s'ha anat variant al fer els nous dissenys de l'eix.



Figura 8: Eix de la màquina

3.2.- Suports dels rodaments

Els suports dels rodaments, a part de ser la peça que ens aguanta els rodaments, com el seu nom indica, també fa de fixador d'aquests. És una peça que va collada a l'estructura, en una posició determinada. D'aquesta manera i gràcies a la seva geometria interior no permet el moviment axial del rodament. Així doncs es tracta d'una peça força important.

S'havia de dissenyar una peça que fos suficientment rígida, per aguantar la vibració de l'eix, però que alhora permetés la lectura de les galgues.

En un primer disseny es va pensar en utilitzar un bloc massís d'alumini de 60x20mm de suport. És va descartar perquè dificultava molt la lectura de les galgues. Per tal de millorar aquest aspecte, es va decidir fer un rebaix a la part central del suport (figura 9). Aquesta opció, era vàlida. Però finalment, es va decidir mecanitzar un forat passant (figura 10), enlloc d'un rebaix, ja que era molt més ràpid i econòmic de mecanitzar. I al mateix temps que millorava lleugerament la lectura de les galgues, mantenia la rigidesa del suport que necessitàvem.

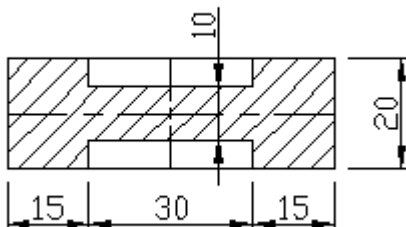


Figura 9: Suport amb rebaix

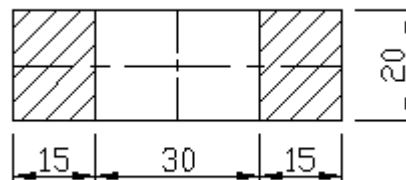


Figura 10; Suport amb forat passant

3.3.- Rodaments

El tipus de rodament escollit per l'equilibradora són els rígids de boles. S'han escollit aquest tipus de rodaments perquè es tracta d'un rodament senzill i amb un manteniment gairebé nul, requisits importants per aquest aparell. Al ser un aparell de laboratori fa que el seu temps de funcionament no sigui molt llarg, i no s'utilitzi cada dia, i a més, la seva velocitat de gir serà baixa, això fa que no sigui una màquina molt exigent als rodaments.

El punt més important a l'hora d'escollir els rodaments, ha estat el diàmetre interior necessari.

3.4.- Masses desequilibradores

Les masses desequilibradores utilitzades per l'antiga equilibradora assolien perfectament l'objectiu pel qual s'havien dissenyat, crear un desequilibri a l'eix. Per aquest motiu, no s'ha fet cap disseny alternatiu per aquestes peces. Des d'un primer moment es va decidir que s'utilitzarien les de la màquina antiga. En l'únic aspecte que han influenciat en el disseny de la màquina, ha estat en les dimensions del diàmetre que havia de tenir l'eix per la seva fixació. És per aquest motiu que es va mantenir el diàmetre de 20mm en aquesta part de l'eix.

3.5.- Discs equilibradors

El primer disseny que es va fer d'aquesta peça va ser un disc de 200mm de diàmetre i 10mm d'espessor (figura 11). Aquest disseny es va descartar perquè el fet de tenir només 10mm de gruix, suposava molt poca base sobre l'eix respecte el diàmetre que tenia. Això podia provocar vibracions de la peça quan sobre aquesta es col·loqués una massa equilibradora i es posés en moviment.

Degut a aquest fet es va fer un segon disseny del disc (figura 12). Es va mantenir el diàmetre de 200mm i un gruix de 10mm en la part de la peça on es col·locarien les masses equilibradores. Però, es va fer una base més ampla, per tal

d'assegurar l'estabilitat del disc. Aquest fet va fer que la xaveta de fixació hagués de ser més llarga.

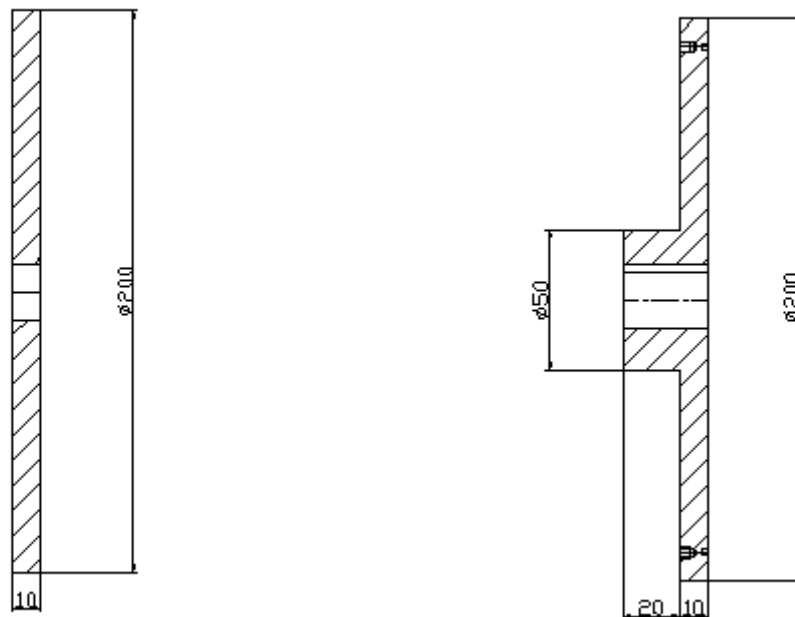


Figura 11: Primer disseny del disc equilibrador

Figura 12 Disseny final del disc equilibrador

3.6.- Fixació masses equilibradores

En l'antiga equilibradora, s'utilitzaven una sèrie de cargols i femelles que feien de masses equilibradores. Per aquesta equilibradora es va decidir crear unes masses d'acer per tal de dur a terme l'equilibrat. Per col·locar aquestes masses sobre el disc, s'havia de trobar una manera que permetés determinar-ne la posició i impedir el moviment d'aquestes quan el sistema es posés en moviment. Es va decidir fer una petita peça que servís de fixador.

Per poder aguantar aquesta peça i la massa, es va fer un primer disseny del disc amb una ranura en tot el seu voltant. Aquesta solució podia permetre col·locar la massa a qualsevol posició. Però la seva precisió no era gens bona. A més a més, tenia l'inconvenient de que la massa equilibradora no quedava ben fixada i quan el sistema es posés en moviment aquesta podia perdre la seva posició, i això provocaria que el rotor no s'equilibrés.

Es va fer un segon disseny, que en lloc de tenir una ranura al disc, el que tindria serien uns forats, on es fixarien les masses mitjançant el fixador. Aquesta opció semblava correcte, però per més seguretat es va decidir fer unes petites variacions. Aquest fet va suposar un tercer disseny, que seria el definitiu. Es va decidir fer un dels forats roscat i mitjançant un petit cargol collar bé la massa³.

D'aquesta manera, gràcies als forats fets al disc, podrem saber la posició exacta on col·loquem la massa equilibradora. I al collar la massa amb un cargol assegurarem la seva fixació quan el sistema gira. Cal dir també, que amb aquest nou disseny s'ha augmentat la precisió de la màquina. A l'antiga equilibradora es podien col·locar les masses equilibradores cada 10 graus, i en aquest nou aparell les masses equilibradores es podran col·locar cada 5 graus.

³ Veure Document num.2 – Plànols; 105-P01

1.- Càlculs de dimensionat

Per dissenyar l'equilibradora de rotors s'han hagut de realitzar una sèrie de càlculs. Aquests càlculs s'han fet, bàsicament, per poder dimensionar el motor i per dissenyar els suports dels rodaments. Quan es fa un disseny d'aquestes característiques, una petita variació pot comportar haver de refer una gran quantitat de càlculs. Per aquest motiu es va crear un full de càlcul amb Microsoft Excel. D'aquesta manera s'ha pogut facilitar el càlcul de tots els possibles dissenys que han anat sorgint. En aquest annex es mostren els resultats d'aquests càlculs.

Per poder dimensionar el motor que es necessita per fer girar el rotor, cal conèixer la inèrcia d'aquest rotor, és a dir, quina inèrcia haurà de vèncer el motor per posar el sistema en moviment. Primer s'ha hagut de calcular les masses de tots els elements del rotor, i a partir d'aquí s'han trobat les inèrcies corresponents.

1.1.- Massa del rotor

El rotor està format per l'eix, les masses desequilibradores i els conjunts equilibradors. La massa d'un element és el producte del seu volum per la densitat del material del qual està format. Per aquesta raó abans de calcular la massa s'ha hagut de trobar el volum de cada element.

$$A_{\text{circ}} = \pi \cdot r^2$$

$$A_{\text{rec}} = b \cdot h$$

$$V = A \cdot l$$

$$M = V \cdot \rho$$

Disc Equilibrador: el rotor de l'equilibradora té dos discs equilibradors.

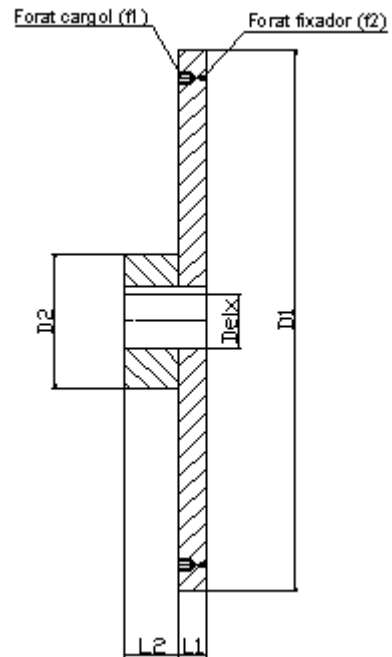
Dades: material: alumini ($\rho = 2.70 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$)

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| $r_1 = 100 \text{ mm}$ | $l_1 = 10 \text{ mm}$ |
| $r_2 = 25 \text{ mm}$ | $l_2 = 20 \text{ mm}$ |
| $r_{\text{eix}} = 10 \text{ mm}$ | $l_{\text{eix}} = 30 \text{ mm}$ |
| $b_{\text{xaveta}} = 6 \text{ mm}$ | $h_{\text{xaveta}} = 2.8 \text{ mm}$ |
| $r_{f1} = 2 \text{ mm}$ | $l_{f1} = 5 \text{ mm}$ |
| $r_{f2} = 1 \text{ mm}$ | $l_{f2} = 2 \text{ mm}$ |

$$\left. \begin{aligned} A_{T1} &= A_1 - A_{eix} - A_{xaveta} = 31084.97 \text{ mm}^2 \\ A_{T2} &= A_2 - A_{eix} - A_{xaveta} = 1632.54 \text{ mm}^2 \\ A_{f1} &= 12.56 \text{ mm}^2 \\ A_{f2} &= 3.14 \text{ mm}^2 \end{aligned} \right\}$$

$$V_1 = (A_{T1} \cdot l_1) - 72 \cdot (A_{f1} \cdot l_{f1}) = 305873.39 \text{ mm}^3$$

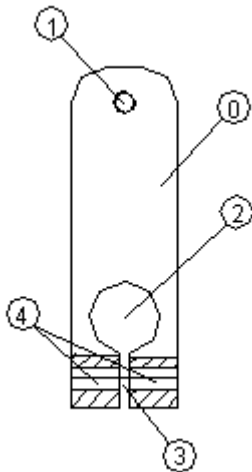
$$V_2 = A_{T2} \cdot l_2 = 32650.72 \text{ mm}^3$$



$$V_{disc} = 338524.11 \text{ mm}^3$$

$$\underline{M_{disc} = 0.914 \text{ Kg}}$$

Massa desequilibradora: el rotor està format per dues masses desequilibradores.



Dades: material: alumini ($\rho = 2.70 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$)

$$A_0 = 2800 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = 28.27 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 314.16 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 45 \text{ mm}^2$$

$$A_4 = 50.26 \text{ mm}^2$$

$$e_{massa} = 10 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_0 = 28000 \text{ mm}^3 \\ V_1 = 287.74 \text{ mm}^3 \\ V_2 = 3141.59 \text{ mm}^3 \\ V_3 = 450 \text{ mm}^3 \\ V_4 = 1357.17 \text{ mm}^3 \end{array} \right\} V_{\text{massa}} = 22768.50 \text{ mm}^3$$

$$\underline{M_{\text{massa}} = 0.061 \text{ Kg}}$$

- A aquesta massa s'hi ha de sumar la massa del cargol que la fixarà a l'eix.
(aprox. 10 g.)

$$\underline{M_{\text{massa}} = 0.071 \text{ Kg}}$$

Eix:

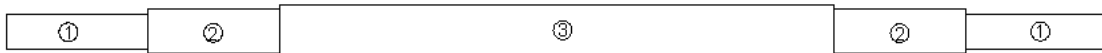
Dades: material: acer ($\rho = 7.85 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$)

$$r_1 = 10 \text{ mm} \quad l_1 = 160 \text{ mm}$$

$$r_2 = 12.5 \text{ mm} \quad l_2 = 150 \text{ mm}$$

$$r_3 = 15 \text{ mm} \quad l_3 = 315 \text{ mm}$$

$$V_{\text{forat xaveta}} = 25 \times 6 \times 3.5 \text{ mm}$$



$$\left. \begin{array}{l} A_1 = 314.16 \text{ mm}^3 \\ A_2 = 490.87 \text{ mm}^3 \\ A_3 = 706.86 \text{ mm}^3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} V_1 = (A_1 \cdot l_1) - 2 \cdot V_{\text{ix}} = 99480.97 \text{ mm}^3 \\ V_2 = A_2 \cdot l_2 = 147262.16 \text{ mm}^3 \\ V_3 = A_3 \cdot l_3 = 222660.38 \text{ mm}^3 \end{array}$$

$$V_{\text{eix}} = 469403.50 \text{ mm}^3$$

$$\underline{M_{\text{eix}} = 3.685 \text{ Kg}}$$

Xaveta:

La xaveta utilitzada per fixar els discs equilibradors a l'eix és del tipus A 6x6x25 DIN 6885, per tant podem aproximar el seu volum a 900mm^3 . Està fabricada d'acer, la densitat del qual és $7.85 \cdot 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$. A partir d'aquestes dades podem calcular la seva massa:

$$\underline{M_{xaveta} = 0.007 \text{ Kg}}$$

Un cop calculades les masses de cada un dels components d'aquest rotor, podem trobar la massa total del rotor:

$$M_{\text{rotor}} = 2 \cdot (M_{\text{disc}}) + 2 \cdot (M_{\text{massa}}) + M_{\text{eix}} + 2 \cdot (M_{\text{xaveta}})$$

$$\underline{M_{\text{rotor}} = 5.656 \text{ Kg}}$$

1.2.- Càlcul de les inèrcies del rotor

Un cop coneixem les masses dels components, ja podem calcular la inèrcia reduïda de cadascun d'ells respecte l'eix del rotor.

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot r^2$$

Disc equilibrador:

$$\left. \begin{array}{l} m_1 = 0.826 \text{ Kg} \\ r_1 = 0.1 \text{ m} \end{array} \right\} I_1 = 6.88 \cdot 10^{-4} \text{ Kg m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} m_2 = 0.088 \text{ Kg} \\ r_2 = 0.025 \text{ m} \end{array} \right\} I_2 = 4.59 \cdot 10^{-6} \text{ Kg m}^2$$

$$\underline{I_{\text{disc}} = 6.93 \cdot 10^{-4} \text{ Kg m}^2}$$

Massa desequilibradora:

$$\left. \begin{array}{l} m_1 = 0.826 \text{ Kg} \\ r_1 = 0.1 \text{ m} \end{array} \right\} \quad \underline{I_{\text{massa}} = 2.74 \cdot 10^{-6} \text{ Kgm}^2}$$

Eix:

$$\left. \begin{array}{l} m_1 = 0.78 \text{ Kg} \\ r_1 = 0.010 \text{ m} \end{array} \right\} \quad I_1 = 6.51 \cdot 10^{-6} \text{ Kgm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} m_2 = 1.15 \text{ Kg} \\ r_2 = 0.0125 \text{ m} \end{array} \right\} \quad I_2 = 1.51 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} m_3 = 1.75 \text{ Kg} \\ r_3 = 0.015 \text{ m} \end{array} \right\} \quad I_3 = 3.28 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2$$

$$\underline{I_{\text{disc}} = 5.43 \cdot 10^{-5} \text{ Kgm}^2}$$

La inèrcia equivalent del rotor de l'equilibradora, serà:

$$I_{\text{rotor}} = 2 \cdot (I_{\text{disc}}) + 2 \cdot (I_{\text{massa}}) + I_{\text{eix}}$$

$$\underline{I_{\text{rotor}} = 1.45 \cdot 10^{-3} \text{ Kgm}^2}$$

1.3.- Dimensionat del motor

Un vegada coneixem la inèrcia equivalent del rotor de la màquina, ja podem calcular quin motor necessitarem.

Aquest motor serà un motor de corrent alterna, ja que a l'antiga equilibradora es va utilitzar un motor de corrent continua i hi havia dificultats per accelerar el sistema.

Per tal de que el motor funcioni correctament, s'ha de complir la següent igualtat:

$$\mathbf{M_m - M_R = I_{eq} \cdot \epsilon}$$

El moment resistent (M_R) és el moment degut als fregaments. Com que no sabem quins fregaments hi haurà, l'igualarem a 0. Per tal de compensar-ho, donarem un coeficient de seguretat de 2.2 al moment motor (M_m). És a dir, el moment real que ens haurà de donar el motor, serà més del doble del que calcularem. D'aquesta manera ens assegurarem que vencerà els fregaments.

La inèrcia equivalent del sistema (I_{eq}) és la inèrcia equivalent del rotor. S'ha calculat a l'apartat 1.2 d'aquest annex.

L'acceleració angular (ϵ) és un paràmetre que el definirem nosaltres, segons les especificacions que volem que compleixi la màquina. Ens interessa que el rotor giri a 200rpm. Com que la relació de transmissió és $i=1$, el motor ha de girar a la mateixa velocitat. El temps d'acceleració serà de 4 segons. A partir d'aquestes dades podem calcular l'acceleració angular de l'equilibradora:

$$\epsilon = \frac{\omega}{t} = \mathbf{5.24 \text{ rad/s}^2}$$

El moment motor (M_m) és la incògnita d'aquesta igualtat. És el moment que necessitarem a la sortida de l'eix del motor perquè el rotor ens giri adequadament.

$$M_m = 2.2 \cdot (I_{eq} \cdot \varepsilon)$$

$$\mathbf{M_m = 1.67 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}}$$

Un cop sabem el moment que necessitem i la velocitat de funcionament del motor, s'ha de buscar un motor que compleixi aquest requisits en un catàleg.

En aquest cas hem buscat un motor que giri a 200 rpm, i amb un parell a la sortida el més semblant possible al que necessitem per la nostra màquina. Al catàleg veiem que, el motor de potència més baixa (0.061 kW) dona a la sortida un moment de 2.8 Nm. Tot i ser el parell més petit possible, aquest és un parell molt més elevat que el necessari. Podem dir, doncs, que tindrem un motor sobredimensionat. De totes maneres, tot i que el motor estarà sobredimensionat, s'utilitzarà aquest motor de corrent alterna perquè ens interessa tenir una bona acceleració, que un motor de corrent continua no ens la donaria.

1.4.- Càlcul suports dels rodaments

Als suports dels rodaments és on es col·locaran les galgues extensiomètriques. Aquest càlcul pretén comprovar si la geometria escollida per aquest suport donarà suficient sensibilitat perquè les galgues emetin senyal.

La sensibilitat de les galgues és de $1 \mu\text{def}$. Primerament, s'ha de calcular quina força ha d'actuar sobre aquest suport per tal de que les galgues donin senyal.

d: distància entre la bancada i el centre de la galga

L: longitud total del suport dels rodaments

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \longrightarrow \boxed{\sigma = \varepsilon \cdot E}$$

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \longrightarrow \boxed{M = \frac{\sigma \cdot I}{y}}$$

$$M = F \cdot L \longrightarrow \boxed{F = \frac{M}{L}}$$

$$\boxed{I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot a^3}$$

El material utilitzat per a fer els suports dels rodaments és l'alumini.

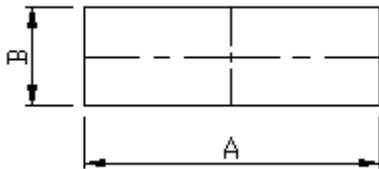
$$E = 6.90 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = 1 \mu\text{def}$$

$$\underline{\underline{\sigma = 6.90 \cdot 10^{-2} \text{ N/mm}^2}}$$

Aquests càlcul s'ha realitzat per als diferents dissenys que s'han fet dels suports dels rodaments:

a) bloc massís de 60x20 mm



$$L = 93.55 \text{ mm}$$

$$d = 35.02 \text{ mm}$$

$$a = 20 \text{ mm}$$

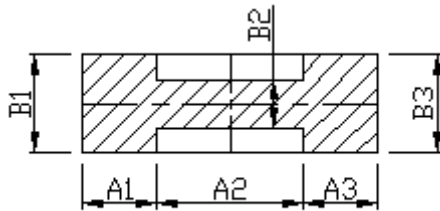
$$b = 60 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} y = L - d = 58.53 \text{ mm} \\ I = 40000 \text{ mm}^4 \end{array} \right\}$$

$$M = 47.16 \text{ Nmm}$$

$$\mathbf{F = 0.50 \text{ N}}$$

b) bloc de 60x20 mm amb rebaix central



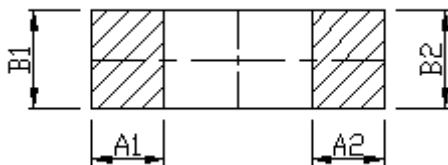
$$\begin{aligned} L &= 93.55 \text{ mm} & d &= 35.02 \text{ mm} \\ a_1 &= 15 \text{ mm} & b_1 &= 20 \text{ mm} \\ a_2 &= 30 \text{ mm} & b_2 &= 10 \text{ mm} \\ a_3 &= 15 \text{ mm} & b_3 &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} y &= L-d = 58.53 \text{ mm} \\ I &= 22500 \text{ mm}^4 \end{aligned} \right\}$$

$$M = 26.52 \text{ Nmm}$$

$$F = 0.28 \text{ N}$$

c) bloc de 60x20 mm amb forat passant



$$\begin{aligned} L &= 93.55 \text{ mm} & d &= 35.02 \text{ mm} \\ a_1 &= 15 \text{ mm} & b_1 &= 20 \text{ mm} \\ a_2 &= 15 \text{ mm} & b_2 &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} y &= L-d = 58.53 \text{ mm} \\ I &= 20000 \text{ mm}^4 \end{aligned} \right\}$$

$$M = 23.58 \text{ Nmm}$$

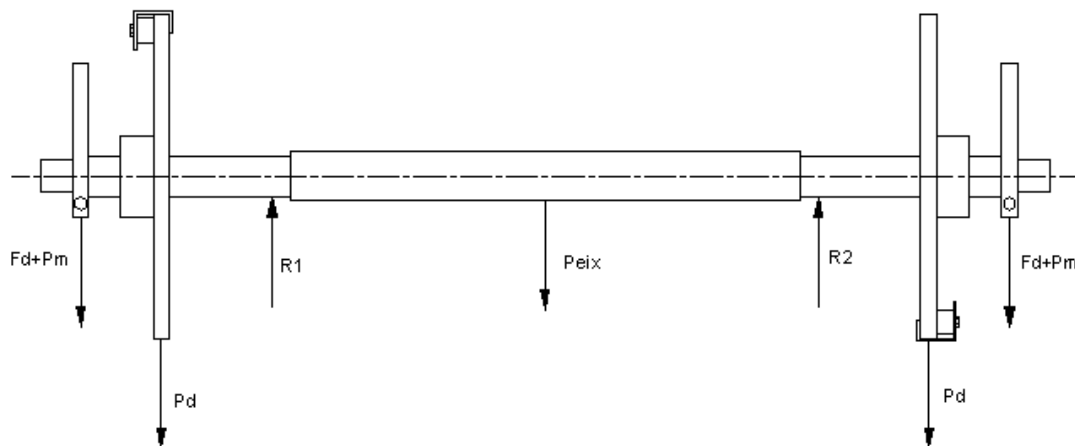
$$F = 0.25 \text{ N}$$

Com que tenim un factor de resolució de l'aparell de mesura de 100, la força que realment necessitarem serà la de cadascun d'aquests valors obtinguts multiplicat per cent.

El disseny definitiu dels suports dels rodaments s'ha fet segons el disseny "c". Per tant, la força mínima necessària perquè les galgues donin senyal es de 25 N.

1.5.- Força de reacció dels rodaments

Una vegada s'ha trobat la força mínima necessària, s'ha de calcular quina força actuarà realment sobre els suports dels rodaments quan la màquina estigui en funcionament. La força que actuarà sobre aquests suports serà la reacció provocada pels rodaments.



F_d : força provocada pel desequilibri

P_m : pes massa desequilibradora

P_d : pes disc equilibrador

P_{eix} : pes de l'eix

R : reacció del rodament

$$R_r = \frac{\Sigma F}{2} = \frac{2 \cdot F_d + 2 \cdot P_m + 2 \cdot P_d + P_{eix}}{2}$$

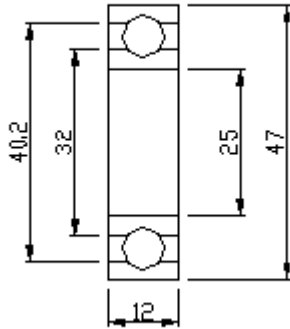
$$\mathbf{R_r = 28.414 N}$$

$$\mathbf{R_r > F_{min}}$$

Després de realitzar aquest càlcul es pot comprovar que la reacció dels rodaments, o sigui, la força que actuarà sobre els suports és més gran que la força mínima que es necessita perquè les galgues donin senyal. Així doncs, podem assegurar que les galgues extensiomètriques podran mesurar la deformació que tindrem, i d'aquesta manera calcular el desequilibri del rotor de la màquina.

2.- Càlcul dels rodaments

En aquest apartat es calcula la vida dels rodaments utilitzats per l'equilibradora. Aquests rodaments seran uns rodaments rígids de boles, concretament es muntaran uns rodaments FAG 6005.



$$C = 10000 \text{ N}$$

$$C_0 = 5850 \text{ N}$$

$$P = R_r = 28.375 \text{ N}$$

$$\omega = 200 \text{ rpm}$$

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = 43.77 \cdot 10^{12} \text{ rev}$$

$$h = \frac{L}{\omega} = \underline{\underline{3.65 \cdot 10^9 \text{ hores}}}$$

La vida dels rodaments es pot dir que serà il·limitada. No hi haurà cap de desgast al llarg de la vida de l'equilibradora.

El càlcul en estàtic no s'ha realitzat perquè la força de reacció és molt més petita que el coeficient estàtic del rodament. Per aquest motiu es pot assegurar que els rodaments no presentaran cap problema.

3.- Càlcul de les masses equilibradores

L'equilibrat del rotor es fa mitjançant les masses equilibradores. Aquestes masses són petites peces cilíndriques de diferents diàmetres. D'aquesta manera s'obtenen diferents pesos i es pot fer un equilibrat correcte.

Les masses equilibradores van fixades als discs mitjançant un fixador i un cargol. La massa d'aquestes peces s'ha de tenir en compte a l'hora de dimensionar les masses equilibradores.

$$M_{\text{cargol}} = 3 \text{ g.}$$

$$M_{\text{fixador}} = 9.45 \text{ g.}$$

Les masses equilibradores es fabricaran d'acer ($\rho = 7.85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$). Es faran masses de 15g., 20g., 25g., 30g. Aquestes masses seran les totals, tenint en compte el cargol i el fixador.

| | | |
|----------|--------------|---------------------------|
| M = 15g. | m = 2.55 g. | $\phi = 7.59 \text{ mm}$ |
| M = 20g. | m = 7.55 g. | $\phi = 11.80 \text{ mm}$ |
| M = 25g. | m = 12.55 g. | $\phi = \quad \text{mm}$ |
| M = 30g. | m = 17.55 g. | $\phi = 17.39 \text{ mm}$ |

Per tal de facilitar la fabricació d'aquestes peces, s'arrodoniran els diàmetres, i es recalcarà la nova massa de les peces.

| | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|------------------|
| $\phi = 7.5 \text{ mm}$ | m = 2.46 g. | M = 14.91 g. | M = 15 g. |
| $\phi = 12 \text{ mm}$ | m = 7.84 g. | M = 20.29 g. | M = 20 g. |
| $\phi = 15 \text{ mm}$ | m = 12.80 g. | M = 25.25 g. | M = 25 g. |
| $\phi = 17.5 \text{ mm}$ | m = 17.78 g. | M = 30.23 g. | M = 30 g. |

4.- Càlcul de seguretat per les masses equilibradores

Com que les masses equilibradores són peces en moviment, s'ha de tenir especial atenció en els perills que això pot comportar.

Un dels possibles perills podria ser el desprendiment d'una d'aquestes masses amb la màquina en funcionament. Per tal de saber amb quina força sortiria aquesta massa, s'ha realitzat el següent càlcul.

La massa més gran que es podria fixar al disc equilibrador seria d'un 60 grams aproximadament (massa doble de 30 g.) Com ja sabem el rotor de l'equilibradora gira a 200 rpm.

$$\omega = 20.944 \text{ rad/s}$$

$$R = 0.1 \text{ m}$$

$$M = 60 \cdot 10^{-3} \text{ kg.}$$

$$A_n = \omega^2 \cdot r = 43.87 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a = \underline{\underline{2.63 \text{ N}}}$$

La força amb què sortiria després un cos de 60 grams de massa seria molt petita. A més a més, cal recordar que no seria un cos amb aquesta massa, sinó dos cossos de 30 grams de massa cadascun. Per tant es pot dir que el fet de tenir aquestes masses en moviment, sense cap protecció, no provocaria cap perill per l'usuari.

1.- Condicions generals

Aquesta equilibradora ha estat dissenyada per realitzar les pràctiques de laboratori d'equilibrat de rotors. Actualment ja existeix una màquina per aquesta funció, però degut al seu ús s'han detectat certes limitacions, certs aspectes que es poden millorar. Aquest nou disseny s'ha fet per tal de millorar aquests punts.

Ha estat dissenyada amb una finalitat docent. No es apte per fer-ne un ús industrial o similar. L'única finalitat per la qual s'ha dissenyat aquest aparell és per portar a terme pràctiques de laboratori, concretament, una pràctica d'equilibrat de rotors.

L'àmbit de treball d'aquesta equilibradora de rotors és el Laboratori de Mecànica de l'Escola Politècnica Superior, ja que es tracta únicament d'una eina de treball pel professorat que imparteix classe al Laboratori de Mecànica. Aquest aparell només es pot posar en funcionament dins el laboratori, el seu ús fora d'aquest recinte queda totalment restringit.

2.- Requisits de seguretat

Al tractar-se d'un aparell per a ús docent s'ha de donar especial importància a la seguretat. Per tal de poder garantir aquesta seguretat s'han de complir una sèrie de requisits.

Com s'ha explicat en l'apartat anterior, el lloc de funcionament d'aquesta màquina serà el Laboratori de Mecànica. Un cop s'hagi ubicat la màquina dins aquest recinte, s'ha d'establir un perímetre de seguretat d'un metre al voltant de l'aparell. Dins aquest perímetre no hi podrà accedir ningú quan l'aparell estigui en funcionament.

El quadre de comandaments (veure apartat 3, connexions i accionaments) estarà situat fora del perímetre de seguretat (figura 13). Aquest quadre haurà de disposar d'un polsador d'emergència.

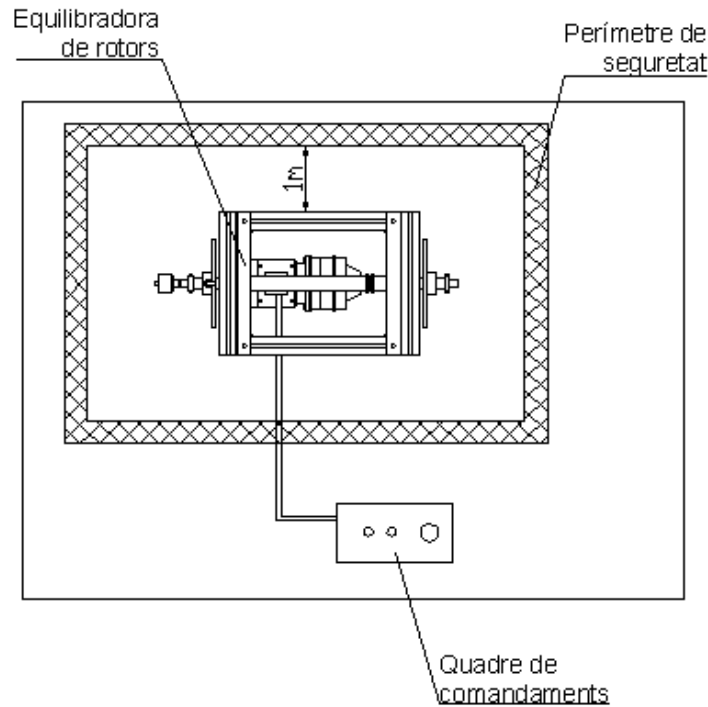


Figura 13: Emplaçament de l'equilibradora

Un cop la màquina entri en funcionament, es poden detectar tres perills importants.

El primer d'aquests perills, seria la transmissió de l'aparell: el conjunt creat per el motor, la politja i la corretja de transmissió. Aquests elements creen una zona d'alt risc. El fet de que algú pogués accedir en aquesta zona, quan l'aparell estigui funcionant, podria provocar un greu accident, ja que el motor, tot i tenir poca potència per ser de corrent alterna, genera suficient parell a la sortida com per provocar una enganxada. Per evitar aquest risc s'han instal·lat uns panells de protecció al lateral i a la part superior de la màquina⁴. Aquest panells han d'estar connectats al control de l'aparell, de tal manera que si es treu alguna d'aquestes proteccions quan la màquina funciona, aquesta s'ha d'aturar immediatament; igualment, si una d'aquestes proteccions no esta col·locada correctament, la màquina no es pot posar en funcionament.

Un altre dels perills que es poden donar, és que es descargoli una de les masses equilibradores, amb la màquina funcionant. Això suposaria que aquesta massa, al no tenir cap protecció física, sortís disparada de l'aparell. Al tractar-se

⁴ Veure Document num.2 – Plànols; 111-C00

d'unes peces de pes molt reduït, i com que la velocitat de gir de la màquina és molt baixa, en un principi semblaria que aquesta massa no hauria de sortir amb una força molt gran. Per tal d'assegurar-nos que la força amb la qual sortiria disparada una d'aquestes masses, si és donés el cas, no seria perillosa s'ha realitzat un petit càlcul de comprovació⁵. Aquest càlcul s'ha realitzat suposant el cas més desfavorable. S'ha considerat que en el moment del despreniment de la massa, la màquina tenia col·locada, en el seu disc equilibrador, una massa doble de 30 grams, és a dir, una massa total de 60 grams. La força amb la qual sortiria disparada aquesta massa seria lleugerament superior a 2.5 N. Aquest força no es pot considerar perillosa per l'usuari. En aquest càlcul no s'ha tingut en compte el fixador de les masses, s'ha considerat que la massa sortiria disparada lliurement. Així doncs, la força amb que realment sortiria la massa seria més petita degut als fregaments ocasionats.

Tanmateix, també es podria descarregar una de les masses desequilibradores. Si es donés aquest cas, aquesta massa no sortiria disparada, degut a la seva geometria (figura 14). La massa està entrada a l'eix, a través d'un forat passant. Si aquesta s'afluixés, perdria la seva posició, provocant un funcionament incorrecte de la màquina. Això faria que el desequilibri del rotor no fos el calculat teòricament. Però, de totes maneres, no suposaria un perill per l'usuari perquè la massa quedaria agafada a l'eix, no sortiria disparada.

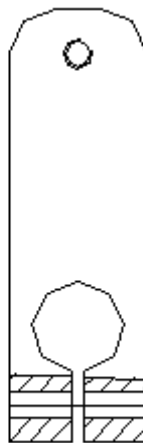


Figura 14: Geometria massa desequilibradora

⁵ Veure Annex B – Càlculs; apartat 4.- Càlcul de seguretat per les masses equilibradores

3.- Connexions i accionament

L'equilibradora de rotors s'accionarà mitjançant un quadre de comandaments alimentat per corrent alterna monofàsica de 230 volts. Aquest quadre disposarà d'un polsador d'engegada, un de parada i un polsador d'emergència. Per tal de protegir l'aparell contra curtcircuits i sobrecàrregues s'instal·larà un interruptor magnetotèrmic.

El polsador d'emergència s'accionarà manualment des del quadre de comandaments, i també s'accionarà si s'obre algun dels panells de protecció dels que disposa l'aparell. Aquest polsador aturarà completament la màquina. Per tal de tornar-la a posar en marxa, primer, s'haurà de rearmar manualment aquest polsador.

El motor de l'equilibradora estarà alimentat per corrent alterna trifàsica de 400 volts. L'accionament d'aquest motor es farà mitjançant un variador de freqüència. Una de les raons d'instal·lar un variador es que al laboratori hi ha més preses de corrent de 230V que de 400V. El variador de freqüència està alimentat amb corrent monofàsica (230V) i a la sortida dóna corrent trifàsica (400V), d'aquesta manera es facilita la connexió de l'aparell. El variador de freqüència ens permetrà augmentar o disminuir la velocitat de gir del motor, si es creu convenient. D'aquesta manera es dóna més flexibilitat a l'aparell.

El motor estarà connectat amb engegada directa, ja que es tracta d'un motor de baixa potència (0.061 kW), i no provocarà pics elevats d'intensitat que puguin causar problemes per engegar l'aparell.

1.- Muntatge de l'aparell

El disseny d'aquesta nova equilibradora, s'ha fet de tal manera que el seu muntatge fos el més senzill possible, tot assegurant la fixació de tots els components de la màquina en la posició adequada per a un correcte funcionament. A continuació s'explica com s'ha de realitzar aquest muntatge.

El primer que s'ha de muntar es tot el conjunt de l'estructura. Primer es muntaran tots els perfils estructurals, una vegada estiguin tots ben collats, es posaran els cartabons de reforç, d'aquesta manera assegurarem una estructura rígida. Tot seguit es muntarà la base de l'estructura: la planxa i els peus. Un cop estigui tota l'estructura muntada, aquesta s'haurà d'anivellar. Això es portarà a terme gràcies a aquests peus que muntarem. El fet d'anar roscats als perfils de l'estructura ens permetran anivellar-la correctament.

Tot seguit es col·locaran els rodaments als seus suports, i es fixarà un d'aquests suports a l'estructura. L'altre suport en un primer moment no es fixarà per tal de poder entrar l'eix. Abans d'entrar l'eix del rotor, s'ha d'introduir la corretja de transmissió a aquest. Un cop entrada la corretja, es collarà el segon suport, i d'aquesta manera tindrem l'eix situat.

Un cop muntat l'eix, s'han de col·locar els altres components del rotor. El primer que es muntarà serà el disc equilibrador. Aquest disc s'introduirà fins la posició que ens marcarà l'eix. Tot seguit col·locarem el fixador de posició i finalment la massa desequilibradora. A continuació es provarà que el rotor giri correctament, sense que toqui a l'estructura de la màquina.

El següent que s'ha de muntar és el conjunt motor. Fora de la màquina fixarem la politja a l'eix de sortida del motor. La corretja ja la tindrem col·locada a l'eix de la màquina. Per tant només caldrà fixar el motor a la seva posició, entrar la corretja a la politja i tensar-la.

El següent pas serà col·locar els instruments de mesura. Es posaran les galgues al suport dels rodaments, i es muntarà el suport de l'encoder i l'encoder. Un cop tinguem tots els instruments col·locats, es col·locaran els panells de protecció.

Finalment, es faran totes les connexions de la màquina: els instruments de mesura, el motor i els panells de protecció.

Abans de donar per acabat el muntatge de la màquina es comprovarà que tot funciona correctament. És a dir, que la transmissió és bona, que el rotor gira correctament i que els instruments de mesura donen senyal.

2.- Ús

El principi de funcionament d'aquesta equilibradora és el mateix que el de l'antiga. Es tracta de desequilibrar l'eix del rotor, que en un principi gira equilibrat, mitjançant unes masses desequilibradores, i tornar-lo a equilibrar gràcies a unes altres masses, en aquest cas equilibradores.

L'eix de la màquina, és un eix que no presenta cap problema d'equilibrat. Per tal de crear el desequilibri necessari per realitzar la pràctica, es col·loquen sobre l'eix dues masses d'alumini, les masses desequilibradores. Aquestes masses tenen el centre de gravetat a una certa distància del centre de l'eix, fet que provoca el desequilibri del rotor.

Les masses desequilibradores es situen en dos plans de desequilibri diferents. La posició d'aquests plans ve definida per els fixadors de posició que es munten. Els fixadors es poden canviar fàcilment. Només cal treure la massa desequilibradora per poder-los canviar. Variant l'angle de fixació d'aquestes masses, en el mateix pla de desequilibri, s'obtenen diferents graus de desequilibri de l'eix.

Per tal de tornar a equilibrar l'eix, s'han creat dos plans d'equilibri. Aquests plans els formen dos discs. Per tal d'equilibrar l'eix es col·loquen unes petites masses en aquests discs. Les masses equilibradores es fixen sobre el disc mitjançant un fixador. De masses equilibradores n'hi ha de diferents pesos. El pes d'aquesta massa i la seva posició sobre el disc es determina mitjançant un càlcul previ⁶.

⁶ Veure Annex E - Equilibrat

3.- Manteniment

Una de les principal especificacions que es volien complir era aconseguir un manteniment de l'equilibradora pràcticament nul, semblant al que tenia l'anterior màquina.

El fet de tenir un principi de funcionament senzill i no utilitzar peces molt complexes en el seu disseny, permet disposar d'aquest manteniment mínim. En aquest apartat s'explica quins factors s'han de tenir en compte per tal d'assegurar un bon funcionament de la màquina, i allargar al màxim la seva vida útil.

Els components de la màquina que poden tenir un major desgast són els rodaments, ja que són les peces que subjecten el rotor i permeten que aquest giri. Però, la baixa velocitat de gir del rotor, i les poques hores de funcionament que tindrà la màquina al llarg de la seva vida fan que no presentin problemes de desgast ⁷.

Al tractar-se d'una màquina que gran part de les hores de funcionament girarà desequilibrada s'ha de tenir especial atenció en totes les unions cargolades. Les vibracions que tindrà la màquina poden provocar que les unions s'afluixin, i que per tant, l'estructura perdi part de la seva rigidesa. Dins les unions cargolades, també s'ha de vigilar que els cargols que collen les masses equilibradores als discs estiguin en bon estat, i que fixin correctament aquestes masses.

Com tota màquina que té una transmissió per corretja, s'ha mantenir aquesta corretja ben tensada, per tal que transmeti bé el moviment del motor.

Com a últim punt important tenim les connexions de la màquina. S'han de revisar les connexions d'alimentació del motor, així com totes les connexions dels aparells de mesura, abans de posar en funcionament la màquina.

A continuació es presenta una taula-resum de tots els punts en els que s'ha de realitzar aquest manteniment, explicant quan i com s'ha de portar a terme, i les possibles conseqüències que pot comportar el fet de no tenir-ho en compte.

⁷ Veure Annex B – Càlculs; apartat 2.- Càlcul dels rodaments

| Període | Element | Manteniment | Conseqüències |
|--|-------------------------------|----------------------------------|--|
| Abans de posar en funcionament l'aparell | corretja | tensar | Mala transmissió |
| | connexions alimentació | comprovar bona connexió | El motor no funcionarà bé El rotor no girarà correctament |
| | connexions aparells de mesura | comprovar bona connexió | Les dades obtingudes no seran fiables |
| | cargols masses equilibradores | comprovar bon estat | Un mal estat dels cargols pot provocar perill de despeniment |
| 1 ó 2 vegades l'any () | rodaments | lubricació | El rotor no girarà correctament Provocar el trencament dels rodaments |
| | unions cargolades estructura | comprovar que estan ben collades | L'estructura perd rigidesa Pot provocar vibracions de la màquina |

* és recomanable després de llargs períodes sense funcionament: abans de començar un nou quadrimestre.

1.- Introducció

Quan es fabrica un rotor, interessa que estigui equilibrat correctament per tal d'evitar que sorgeixin forces que en perjudiquin el seu funcionament, i malmetin la màquina de la qual forma part, així com els seus components. Per tal de tenir un rotor ben equilibrat, aquest ha d'estar en equilibri estàtic i dinàmic.

Un rotor estarà en equilibri estàtic quan el sumatori de les forces que actuen sobre seu sigui nul. I estarà en equilibri dinàmic quan el sumatori de tots els moments que actuen sobre seu, respecte un pla d'aquest rotor, sigui zero. Per tal d'assegurar un bon equilibrat d'un rotor, ens hem d'assegurar que aquests dos sumatoris siguin zero.

La finalitat d'aquest annex és explicar com s'ha de portar a terme l'equilibrat en aquesta màquina.

2.- Equilibrat

L'equilibradora de rotors del projecte esta pensada per un ús docent. Per aquesta raó el seu eix no presenta cap desequilibri per si sol. Per tal de desequilibrar-lo es col·loquen les dues masses desequilibradores en els dos plans de desequilibri. Només pel fet de col·locar aquestes dues masses sobre l'eix, com que el seu centre de gravetat està situat a una certa distància del centre d'aquest eix, es crea un desequilibri. Aquest desequilibri fa que no es compleixin les condicions d'equilibrat.

Per compensar aquest fet s'ha d'afegir o treure massa al rotor. Per tal de facilitar l'ús docent de l'equilibradora en els dissenys i càlculs del projecte sempre s'afegeix massa. Però si en lloc d'afegir-la, es tragués aquesta massa en el radi adequat, l'equilibrat del rotor també seria possible.

Aquesta massa s'ha d'afegir en els plans d'equilibri de la màquina. De plans d'equilibri també n'hi ha dos. Es tracta dels dos discs equilibradors. Aquests discs tenen un radi considerablement gran respecte a la distància que hi ha entre el centre de l'eix i el centre de gravetat de les masses desequilibradores. Aquest fet provoca que al col·locar una petita massa equilibradora en el disc, aquesta compensi el

desequilibri provocat per les masses desequilibradores, ja que el seu radi es molt més gran. Per tant, el producte massa per radi també serà gran.

3.- Variacions a la pràctica d'equilibrat de rotors

L'antiga equilibradora ja s'utilitzava per realitzar la pràctica de l'equilibrat de rotors en el laboratori. Però hi havia alguns aspectes que es podien modificar en aquesta màquina per tal de poder millorar aquesta pràctica. Per aquest motiu es va fer aquest nou disseny de l'equilibradora de rotors.

El fet d'utilitzar aquesta nova equilibradora, no modifica de manera important la pràctica d'equilibrat de rotors. El principi de funcionament de la pràctica és el mateix. Es tracta d'aconseguir l'equilibrat estàtic i dinàmic del rotor per diferents posicions de les masses desequilibradores.

Un dels aspectes que es volia millorar, era la fixació de les masses equilibradores. En l'antiga equilibradora s'utilitzaven cargols i femelles per realitzar l'equilibrat. Aquests cargols es col·locaven a uns forats roscats que s'havien mecanitzat al llarg del perímetre del disc. Aquests forats estaven fets cada 10°. Per aquesta nova màquina s'han dissenyat uns discs equilibradors nous, de tal manera que permeten col·locar les masses equilibradores amb més precisió. Aquest aparell ens permet una precisió de 5°.

Les masses aniran subjectades al disc mitjançant un fixador. Per tal de col·locar aquestes masses a la posició correcta s'han fet uns forats al disc, a cada una de les cares. Per una cara s'ha fet un petit orifici on es col·locarà la pestanya del fixador, així assegurarem la posició de la massa. Per l'altre cara del disc s'ha fet un forat roscat, on mitjançant un petit cargol es collarà la massa equilibradora i el fixador al disc. D'aquesta manera assegurarem la fixació de la massa.

Per tal de variar la massa, segons el desequilibri que presenti l'eix, s'ha fabricat un joc de masses equilibradores de diferents pesos. Aquestes masses es poden col·locar de forma simple o de forma doble (figura 17), només variant el cargol que les subjecte. Aquest fet fa que no ens variï el centre de gravetat respecte el centre de l'eix, ja que es tracta de masses de secció circular. El fet de col·locar una massa simple o

una de doble no afecta a la posició del pla de desequilibri, ja que es tracta d'unes masses de dimensions molt petites.

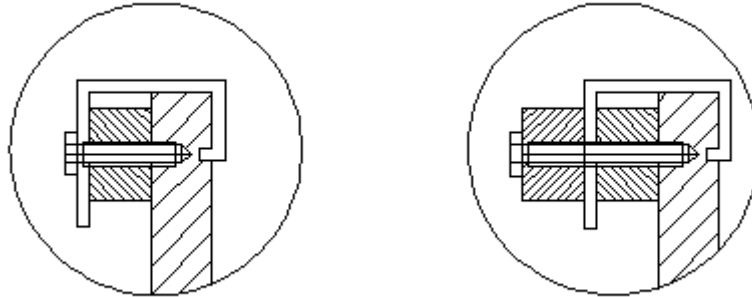


Figura 17: Fixació de les masses equilibradores (simple i doble)

La posició dels plans d'equilibri és fixa, ja que la posició ve determinada per la geometria de l'eix. En canvi, un aspecte important d'aquesta equilibradora, és que els plans de desequilibri poden variar de posició. Aquest fet ens permet augmentar la flexibilitat de la màquina a l'hora de plantejar casos pràctics.

Per tal de variar la posició d'aquests plans de desequilibri s'utilitzen uns fixadors de posició. Els discs equilibradors estan fixats en un sentit per la geometria de l'eix, i per l'altre mitjançant aquests fixadors i les masses desequilibradores. El fet de variar el fixador fa que el pla de desequilibri s'apropi o s'allunyi del pla d'equilibri. De fixadors de posició se n'han dissenyat de tres longituds diferents: 20, 25 i 30 mil·límetres. L'ús d'aquests fixadors permet conèixer la posició exacte del pla de desequilibri.

4.- Realització pràctica

La finalitat de la pràctica d'equilibrat de rotors és aconseguir l'equilibrat estàtic i dinàmic de l'aparell per diferents casos plantejats.

Per portar a terme aquesta realització pràctica es disposa de l'equilibradora i tots els seus complements, és a dir, les diferents masses equilibradores i els tres jocs de fixadors de posició.

Per poder plantejar un primer cas de desequilibri, primer, cal escollir quin joc de fixadors de posició s'utilitzarà, per tal de saber en quina posició tenim situats els plans de desequilibri, respecte als plans d'equilibri.

Un cop tenim situats aquests plans, es tracta de col·locar les masses desequilibradores en una posició determinada. D'aquesta manera tenim el rotor desequilibrat, i en podem conèixer el grau de desequilibri mitjançant un full de càlcul creat amb MS Excel.

Per conèixer quin desequilibri tenim en el rotor s'ha d'introduir el valor de l'angle en el que hem col·locat les masses desequilibradores, en la taula adequada del full de càlcul segons el fixador de posició escollit. Aquest full de càlcul ens donarà el valor de la massa equilibradora i l'angle en el qual s'ha de col·locar sobre el disc equilibrador (pla d'equilibri), per tal de tenir el rotor equilibrat.

El full de càlcul ens calcularà aquesta massa per tal de que el sumatori de forces que actuen sobre el rotor sigui zero i el sumatori de moments respecte el pla A d'equilibri també sigui zero. Per tant tindrem el rotor en equilibri estàtic i dinàmic.

Seguint el mateix procediment, es tractarà de plantejar diferents casos per portar a terme l'equilibrat del rotor: variant la posició de les masses desequilibradores sobre el pla de desequilibri, i canviant el fixador de posició per tal de desplaçar aquests plans de desequilibri.

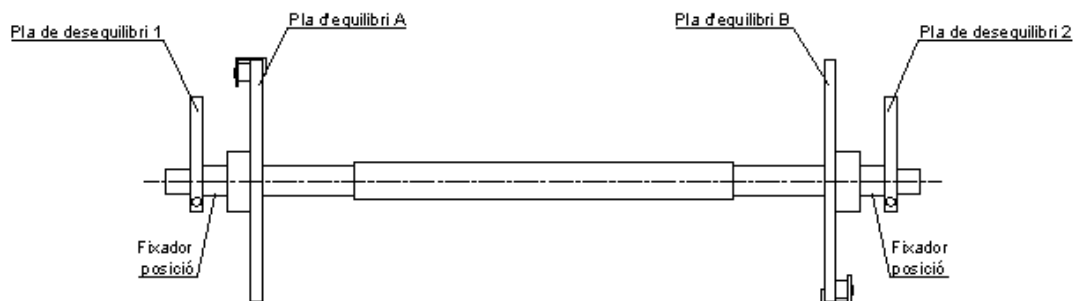


Figura 18: Situació dels plans d'equilibri i desequilibri

5.- Exemples pràctics

En el full de càlcul s'ha creat una taula per cada posició del pla de desequilibri. S'han considerat només els tres casos simètrics, és a dir, s'utilitza la mateixa longitud de fixador per cada pla de desequilibri. A continuació es mostra un exemple d'aquesta aplicació.

CAS 1: s'utilitzen els fixadors de 20mm de longitud.

CAS 2: s'utilitzen els fixadors de 25mm de longitud.

CAS 3: s'utilitzen els fixadors de 30mm de longitud.

| CAS 1 | m | r | l | ϕ | m·r | m·r·cosϕ | m·r·sinϕ | m·r·l·cosϕ | m·r·l·sinϕ | ϕ (°) |
|-------|-------|-------|-----|-----------|---------|------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 1 | 71 | 21.45 | -40 | 0 | 1522.95 | 1522.95 | 0 | -60918 | 0 | 0 |
| 2 | 71 | 21.45 | 535 | 45 | 1522.95 | 1076.88827 | 1.08E+03 | 576135.226 | 5.76E+05 | 45 |
| A | 17.35 | 90 | 0 | 3.09 | 1561.42 | -1559.00 | 8.70E+01 | 0 | 0 | 177 |
| B | 17.35 | 90 | 495 | -2.30E+00 | 1561.42 | -1040.84 | -1163.90955 | -515217.226 | -5.76E+05 | -132 |
| | | | | | s | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| CAS 2 | m | r | l | ϕ | m·r | m·r·cosϕ | m·r·sinϕ | m·r·l·cosϕ | m·r·l·sinϕ | ϕ (°) |
|-------|-------|-------|-----|-----------|---------|----------|-------------|------------|-------------|-------|
| 1 | 71 | 21.45 | -45 | 180 | 1522.95 | -1522.95 | 1.8658E-13 | 68532.75 | -8.3963E-12 | 180 |
| 2 | 71 | 21.45 | 540 | 180 | 1522.95 | -1522.95 | 1.87E-13 | -822393 | 1.01E-10 | 180 |
| A | 16.92 | 90 | 0 | 0.00 | 1522.95 | 1522.95 | -1.87E-13 | 0 | 0 | 0 |
| B | 16.92 | 90 | 495 | -1.23E-16 | 1522.95 | 1522.95 | -1.8658E-13 | 753860.25 | -9.24E-11 | 0 |
| | | | | | s | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| CAS 3 | m | r | l | ϕ | m·r | m·r·cosϕ | m·r·sinϕ | m·r·l·cosϕ | m·r·l·sinϕ | ϕ (°) |
|-------|-------|-------|-----|-----------|---------|----------|-------------|------------|------------|-------|
| 1 | 71 | 21.45 | -50 | 0 | 1522.95 | 1522.95 | 0 | -76147.5 | 0 | 0 |
| 2 | 71 | 21.45 | 545 | 180 | 1522.95 | -1522.95 | 1.87E-13 | -830007.75 | 1.02E-10 | 180 |
| A | 20.34 | 90 | 0 | 3.14 | 1830.62 | -1830.62 | 1.88E-14 | 0 | 0 | 180 |
| B | 20.34 | 90 | 495 | -1.12E-16 | 1830.62 | 1830.62 | -2.0543E-13 | 906155.25 | -1.02E-10 | 0 |
| | | | | | s | 0 | 0 | 0 | 0 | |

 Dades fixes

 Dades variables

 Resultats