

Resum

Aquest projecte neix de la necessitat del Departament d'Enginyeria Mecànica de l'ETSEIB de renovar l'actual banc de diagnòstic de fallades en elements mecànics. Aquest banc ha sofert un cert desgast a causa de l'ús i es vol aprofitar per a substituir-lo per un de més pràctic i ajustat a les necessitats d'ús.

L'objectiu principal del projecte és dissenyar un banc didàctic per al diagnòstic de l'estat d'elements de màquines mitjançant l'anàlisi de vibracions, que permeti a l'alumne simular defectes en elements mecànics i obtenir-ne, a través d'acceleròmetres, senyals diferenciats en funció del tipus de defecte observat. Es capacita el banc per a simular desalineaments entre eixos, fallades en rodaments, fallades en engranatges i fallades en transmissions per corretja. A més, es vol fer modular per a millorar-ne la usabilitat i aïllar-ne els efectes de cada tipus de defecte.

Aquest projecte consisteix en la concepció i el disseny d'aquest banc, i en l'elaboració d'un manual de muntatge i d'usuari, així com d'una guia orientativa sobre el tipus de senyals a adquirir en les experiències i la instal·lació dels acceleròmetres.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	2
1. GLOSSARI	7
2. PREFACI	11
2.1. Origen del projecte	11
2.2. Motivació.....	12
3. INTRODUCCIÓ	13
3.1. Objectius del projecte	13
3.2. Abast del projecte	14
4. BANC DIDÀCTIC DE DIAGNOSI PER ANÀLISI DE VIBRACIONS	15
4.1. Requeriments	15
4.1.1. Dimensions	15
4.1.2. Connectivitat a la xarxa elèctrica	15
4.1.3. Funcionalitat	16
4.1.4. Agilitat d'ús	16
4.1.5. Aprofitament de recursos ja existents.....	17
4.2. Estudi de mercat.....	17
4.2.1. G.U.N.T	17
4.2.2. SpectraQuest.....	18
4.2.3. VIBstand2 by EC Systems.....	18
4.2.4. STI CMCP601 Machinery Diagnostic Rotor Kits.....	19
4.2.5. Decisió	19
4.3. Alternatives de disseny per a un banc de producció pròpia.....	20
4.3.1. Solució anterior	20
4.3.2. Disposició en paral·lel.....	21
4.3.3. Multiplicitat de bancs.....	21
4.3.4. Disposició amb el fre fixat.....	22
4.3.5. Disposició amb el motor fixat.....	22
4.4. Solució adoptada.....	23
5. DISSENY	24
5.1. Elements de la bancada.....	25
5.1.1. Potes de la bancada	25

5.1.2.	Bloc principal de la bancada	26
5.1.3.	Suport del motor	27
5.2.	Motor	28
5.2.1.	Motor.....	28
5.2.2.	Regulador de freqüència	28
5.3.	Fre	30
5.3.1.	Fre de partícules magnètiques	30
5.3.2.	Control del fre	31
5.4.	Mòdul de simulació de desalineaments entre eixos	31
5.4.1.	Acoblament elàstic.....	32
5.4.2.	Suport del rodament en bon estat	32
5.4.3.	Rodament en bon estat	33
5.4.4.	Acoblament rígid.....	33
5.5.	Mòdul de simulació de fallades en rodaments	34
5.5.1.	Fixació a les guies en forma de “T”	35
5.5.2.	Rodament amb defecte	35
5.5.3.	Suport del rodament amb defecte	36
5.5.4.	Tensor del rodament en mal estat.....	36
5.6.	Mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja	39
5.6.1.	Rodaments	40
5.6.2.	Corretja.....	40
5.6.3.	Politges.....	41
5.6.4.	Conjunt tensor	42
5.7.	Mòdul de simulació de fallades en rodes dentades.....	43
5.7.1.	Caixa.....	43
5.7.2.	Rodaments	44
5.7.3.	Pinyó.....	44
5.7.4.	Roda	45
5.7.5.	Sistema de desplaçament axial de la roda	45
5.7.6.	Lubricació	46
6.	RESUM D'ELEMENTS DEL BANC	47
6.1.	Elements específics	47
6.1.1.	Bancada.....	47
6.1.2.	Motor.....	47
6.1.3.	Fre	47
6.1.4.	Mòdul de simulació de desalineaments entre eixos	47
6.1.5.	Mòdul de simulació de fallades en rodaments.....	48
6.1.6.	Mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja.....	48

6.1.7.	Mòdul de simulació de fallades en rodes dentades	49
6.2.	Elements d'ús general	49
7.	GUIA DE MUNTATGE	50
7.1.	Muntatge de la bancada	50
7.2.	Muntatge del mòdul de simulació de fallades en engranatges	52
7.3.	Muntatge del mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja	53
7.3.1.	Muntatge del braç tensor de la corretja	54
7.4.	Muntatge del mòdul de simulació de fallades en rodaments	55
7.5.	Muntatge del fre i el seu suport	56
7.6.	Disposició dels elements en cada experiència.....	57
8.	GUIA D'ÚS	58
8.1.	Simulació de desalineament entre eixos.....	58
8.2.	Simulació de fallades en rodaments	58
8.3.	Simulació de fallades en transmissions per corretja	59
8.4.	Simulació de fallades en engranatges	59
8.5.	Manteniment.....	59
9.	INSTAL·LACIÓ DELS ACCELERÒMETRES	61
9.1.	Introducció a les senyals a captar	61
9.1.1.	Desalineament angular entre dos eixos	61
9.1.2.	Defectes en rodaments	62
9.1.3.	Defectes en engranatges	64
9.1.4.	Defectes en transmissions per corretja	64
9.2.	Ubicació i muntatge dels acceleròmetres.....	66
9.2.1.	Instal·lació dels acceleròmetres	67
10.	PRESSUPOST DEL PROJECTE	68
11.	ESTUDI DEL CICLE DE VIDA I IMPACTE AMBIENTAL	69
11.1.	Fase de disseny.....	69
11.2.	Fabricació	69
11.3.	Funcionament.....	69
11.4.	Final del cicle de vida	70
CONCLUSIONS	71
AGRAÏMENTS	73
BIBLIOGRAFIA	75

Referències bibliogràfiques 75

1. Glossari

a' : distància entre eixos de l'engranatge.

b : amplada de la roda dentada.

c_0 : alçària de l'extrem suplementari de les dents de la cremallera emprat per a mecanitzar el fons de l'espai entre dents a la roda generada.

C_s : coeficient de seguretat.

d_{01} : diàmetre primitiu de generació de la roda dentada primària.

d_{02} : diàmetre primitiu de generació de la roda dentada secundària.

d_1 : diàmetre de la politja conductora.

d'_1 : diàmetre primitiu de funcionament, o de l'axoide de la roda dentada primària.

d_{a1} : diàmetre de cap de la roda dentada primària.

d_{A1} : diàmetre actiu de peu de la roda dentada primària.

d_{a2} : diàmetre de cap de la roda dentada secundària.

d_{A2} : diàmetre actiu de peu de la roda dentada secundària.

d_{b1} : diàmetre de circumferència base de la roda dentada primària.

d_{b2} : diàmetre de circumferència base de la roda dentada secundària.

d_{f1} : diàmetre de peu de la roda dentada primària.

d_{f2} : diàmetre de peu de la roda dentada secundària.

d_{inv1} : diàmetre límit d'evolvent de la roda dentada primària.

d_{inv2} : diàmetre límit d'evolvent de la roda dentada primària.

$d_{pol. Gran}$: diàmetre de la politja gran.

$d_{pol. Petita}$: diàmetre de la politja petita

e : distància entre eixos de la transmissió per corretja.

E : mòdul d'elasticitat de Young.

F_0 : força de tibet inicial sense càrrega de la corretja.

F_1 : tensió de la corretja a la branca descarregada.

F_2 : tensió de la corretja a la branca carregada.

f_c : freqüència de circulació de la corretja.

F_c : factor de força centrífuga en les transmissions per corretja.

- F_i : força de tibat de la corretja.
- F'_i : força tangencial en el cercle de funcionament.
- F_u : força útil.
- h_a : alçària de cap.
- h_{a0} : alçària de cap mesurada des de la línia mitjana.
- h_{a1} : alçària de cap de la roda primària.
- h_{a2} : alçària de cap de la roda secundària.
- h_f : alçària de peu.
- h_{f0} : alçària de peu mesurada des de la línia mitjana.
- h_{f1} : alçària de peu de la roda primària.
- h_{f2} : alçària de peu de la roda secundària.
- h_{inv} : alçària límit d'evolvent
- h_{inv1} : alçària límit d'evolvent de la roda primària.
- h_{inv2} : alçària límit d'evolvent de la roda secundària.
- i : relació de transmissió.
- K : factor K per al càlcul d'engranatges en l'avantprojecte.
- K_A : factor de servei d'un engranatge.
- K_{adm} : factor K admissible.
- K_m : factor de distribució de càrrega.
- K_v : factor de velocitat d'un engranatge.
- $L_{corretja}$: longitud de la corretja.
- $L_{corretja\ teòrica}$: longitud teòrica de la corretja.
- m : massa.
- m' : mòdul de funcionament.
- m_0 : mòdul de generació.
- M_{fre} : parell de frenat.
- M_{motor} : parell del motor.
- $M_{nom. Motor}$: parell nominal del motor.
- M_{t1} : parell que transmet la roda primària en el seu diàmetre de generació.
- n_{fre} : velocitat de gir del fre en min^{-1} .

n_{motor} : velocitat de gir del motor en min^{-1} .

p : pressió.

p_0 : pas de la cremallera sobre la línia mitjana.

P_{fre} : potència del fre.

P_g : potència del motor corregida en la transmissió per corretja.

P_{motor} : potència del motor.

P_N : potència nominal del motor.

P_{t1} : potència transmesa per la roda primària de l'engranatge.

R : força del corró tensor sobre la corretja.

v'_i : velocitat perifèrica en el diàmetre de funcionament de l'engranatge.

Y_{F1} : factor de forma per a engranatges amb perfil de cremallera normalitzat de la roda primària.

Y_{F2} : factor de forma per a engranatges amb perfil de cremallera normalitzat de la roda secundària.

Y_ε : coeficient de recobriment.

z : nombre de dents.

z_1 : nombre de dents de la roda primària.

z_{1min} : nombre de dents mínim de la roda primària.

z_2 : nombre de dents de la roda secundària.

Z_C : factor geomètric.

Z_E : factor de material.

α_0 : angle de pressió de generació

β : angle de contacte entre la politja i la corretja.

β_0 : angle d'inclinació de l'hèlix de les dents sobre la circumferència de generació.

ε_α : recobriment de perfil.

η : rendiment d'una transmissió.

μ : coeficient de fregament.

μ' : coeficient de fregament aparent en politges trapezoïdals.

σ_{adm} : tensió admissible a fatiga superficial en una roda dentada.

σ_{b1} : tensió a peu de la dent causada per la flexió de la roda primària.

σ_{b2} : tensió a peu de la dent causada per la flexió de la roda secundària.

σ_H : pressió superficial de Hertz.

ω_{01} : velocitat angular de la roda primària.

ω_{motor} : velocitat angular del motor.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Aquest projecte neix essencialment de la necessitat del Departament d'Enginyeria Mecànica de l'ETSEIB de renovar i millorar el banc de diagnòstic de vibracions utilitzat fins al moment. Aquest banc, que s'utilitza per a la formació en diagnòstic i detecció de vibracions en sistemes mecànics als alumnes de l'assignatura d'Assaig de Màquines, té algunes mancances quant a la facilitat d'ús i a la fidelitat dels resultats obtinguts.

Quant a la facilitat d'ús, s'observen alguns components el muntatge i desmuntatge dels quals és complicat, i atès que l'ús del banc es veu limitat en temps per la durada de les sessions de pràctiques convé facilitar-lo.

Quant a la fidelitat dels resultats s'observen dues problemàtiques:

- El desgast dels components: alguns dels components s'han desgastat amb l'ús del banc utilitzat fins ara. Això fa que alguns dels efectes resultants dels defectes introduïts de forma intencionada al banc d'assaig es vegin distorsionats per defectes fruit del desgast.
- Acoblament en cadena dels elements: en el banc utilitzat fins ara, tots els elements estan muntats en sèrie i sempre són actius, la qual cosa fa que la vibració generada pels elements no analitzats pugui influir en l'anàlisi de l'element que s'estudia.

És per aquests motius que des del Departament d'Enginyeria Mecànica s'ha detectat la necessitat de fer un projecte per a la renovació, la millora i el replantejament d'aquest banc d'assaig.

2.2. Motivació

L'anàlisi i l'estudi de les vibracions i els efectes produïts per aquestes és avui en dia un tema molt rellevant en el camp de l'enginyeria mecànica. En concret, l'anàlisi de vibracions és una de les eines més emprades en la diagnosi de l'estat de components de màquines i és àmpliament utilitzada en sectors com l'automoció, el transport ferroviari, la maquinària de producció i altres. És una de les eines bàsiques del manteniment predictiu.

Aquesta visió —que l'alumne en el moment de la realització de la pràctica segurament encara no té, però que esdevindrà altament transcendent a l'hora de ser valorat com a enginyer—, fa que la realització de pràctiques amb un nivell participatiu tan alt i de tan fàcil translació al món professional siguin clau en el currículum acadèmic de la carrera d'Enginyeria.

Per tant, en el moment de deixar aquesta Universitat com a estudiant, la possibilitat de deixar per als que vindran una eina útil per a la seva formació és una oportunitat engrescadora.

3. Introducció

En el context esmentat en el prefaci, es defineixen uns objectius concrets i realistes a fi de solucionar el problema plantejat.

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és dissenyar un banc didàctic per al diagnòstic de l'estat d'elements de màquines mitjançant l'anàlisi de vibracions, que permeti a l'alumne simular defectes en elements mecànics i obtenir-ne, a través d'acceleròmetres, senyals diferenciades en funció del tipus de defecte observat.

Aquest banc ha de ser capaç de simular les vibracions generades per part dels tipus de defectes següents:

- **Desalineament angular entre dos eixos:** en el qual ambdós eixos són concurrents, però no coaxials.
- **Desalineament radial entre dos eixos:** en el qual els dos eixos són paral·lels, però separats radialment.
- **Defectes en rodaments:** que pugui incloure un defecte bé a la pista externa del rodament, bé a la pista interna o bé al cos rodant.
- **Defectes en engranatges:** deixant la possibilitat d'actuar sobre una roda defectuosa i una en bon estat i que es pugui commutar de forma senzilla.
- **Defectes en transmissions per corretja:** per l'excentricitat d'una de les politges. Idènticament al cas dels engranatges, cal que hi hagi la possibilitat de commutar amb una politja en bon estat de forma fàcil.

A part d'aquest objectiu primari, s'estableix la millora d'algunes mancances en el banc d'assaig previ:

- **Millora de la fidelitat dels resultats:** La configuració en sèrie del banc utilitzat fins ara obliga a la intervenció de tots els elements mecànics sigui quin sigui el defecte concret que es desitgi analitzar. En aquesta situació la resta d'elements mecànics generen algunes vibracions degudes al seu deteriorament i, fins i tot, al seu propi funcionament. Es pretén aïllar els efectes resultants de cada defecte de forma que s'obtingui un senyal tan clar i nítid com sigui possible.

- Millora de l'agilitat d'ús: En l'anterior banc d'assaig el pas d'una anàlisi a una altra era un procés lent que feia perdre temps de la durada de la pràctica. S'estableix, per tant, com a objectiu, dotar la solució de la màxima agilitat possible a l'hora de fer canvis.

3.2. Abast del projecte

El projecte inclou les tasques següents:

- El disseny i una guia per al muntatge, funcionament i manteniment.
- Confecció del manual d'usuari que inclourà com adequar el banc per a diferents assaigs i la millor ubicació dels acceleròmetres durant la pràctica.
- De forma informativa el document inclou una introducció al diagnòstic de fallades en màquines per mitjà de l'anàlisi freqüencial de vibracions per tal de fonamentar teòricament la base del funcionament del banc.
- Anàlisi de costos i estudi de l'impacte ambiental derivat del disseny, la construcció i el cicle de vida de l'equip.

Queden fora de l'abast del projecte els aspectes següents:

- Selecció i muntatge de la instrumentació electrònica associada al banc.
- Desenvolupament de programari (*software*) per a l'anàlisi.
- Definició de la forma de tractament de les dades adquirides.

4. Banc didàctic de diagnosi per anàlisi de vibracions

Es tracta d'un banc que vol simular defectes típics dels diferents elements d'ús generalitzat en el disseny de màquines. Amb aquesta finalitat, s'han de poder utilitzar en el mateix muntatge elements en bon estat i en mal estat de manera no simultània, i així comparar-ne l'espectre freqüencial de la vibració resultant generada.

A continuació es presenten les diverses alternatives que presenta el mercat per a obtenir una solució comercial al problema que es planteja.

4.1. Requeriments

La solució que s'ha d'adoptar ha de respondre a un seguit de requeriments donats per la situació en la qual s'haurà d'utilitzar el banc d'assaig. Aquestes condicions són tant de tipus funcional com dimensional.

4.1.1. Dimensions

El banc serà utilitzat, ja sigui sobre un carretó o sobre una taula, en l'aula del laboratori d'enginyeria de màquines. A més, haurà de ser dipositat en aquest mateix lloc mentre no sigui utilitzat.

El banc antecessor a aquest ja resultava excessivament gran i pesant i feia àrdua la tasca de preparar la pràctica per part dels professors. En aquest cas el fet de ser modular fa que únicament s'hagi d'instal·lar la bancada i la resta de mòduls s'instal·len a mesura que s'utilitzen.

És per això que es defineixen com a limitacions de mida, les dimensions de l'anterior banc 800 x 650 x 293 mm, que en cap cas no se superaran.

4.1.2. Connectivitat a la xarxa elèctrica

Pel mateix motiu esmentat en el punt anterior, donada la utilització d'aquest banc dins l'aula del laboratori d'enginyeria mecànica, es prefereix dotar el banc de compatibilitat a la xarxa de 220V a 50Hz, amb l'objecte de no requerir cap instal·lació elèctrica extraordinària.

4.1.3. Funcionalitat

Com ja s'ha comentat en apartats anteriors, aquest banc ha de ser capaç de simular els principals defectes que presenten els elements de màquines més habituals i que s'estudien en assignatures de l'àmbit de màquines de l'ETSEIB.

- **Desalineament angular entre dos eixos:** El banc ha de ser capaç de desalinear angularment dos eixos de forma puntual, en algun punt del conjunt on sigui possible ubicar un acceleròmetre.
- **Desalineament radial entre dos eixos:** El banc ha de ser capaç de desalinear radialment dos eixos de forma puntual, en algun punt del conjunt on sigui possible ubicar un acceleròmetre.
- **Defectes en rodaments:** En alguna etapa ha de ser possible introduir de forma àgil rodaments amb diferents tipus de defectes coneguts:
 - Defecte en la pista interior: un pla en algun punt de la pista interior del rodament.
 - Defecte en la pista exterior: un pla en algun punt de la pista exterior del rodament.
 - Defecte en element rodant: un dels elements rodants (boles, corrons, agulles...) irregular.
- **Defectes en engranatges:** Idènticament al cas anterior, s'ha de poder introduir en el sistema un engranatge amb un defecte en una de les dents de la roda dentada.
- **Defectes en transmissions per corretja:** s'ha de poder introduir en algun punt del conjunt un sistema de politges amb una excentricitat en una de les politges, així com poder intercanviar corretges amb o sense defectes en el seu perfil.

El fet de dissenyar un banc d'assaig modular facilita ampliar en qualsevol moment el catàleg de defectes a simular. Únicament caldria dissenyar un nou mòdul.

4.1.4. Agilitat d'ús

El temps de la pràctica no arriba a les dues hores, i en aquest context s'ha de disposar de la meitat del temps per a recopilar les dades procedents del banc i l'altra meitat per a fer una introducció a l'anàlisi del senyal procedent dels acceleròmetres a l'aula d'ordinadors. És

per això que és necessari dotar la solució adoptada d'una bona flexibilitat a l'hora de canviar la configuració del banc i així reduir el temps dedicat a aquesta tasca.

4.1.5. Aprofitament de recursos ja existents

A fi de reduir costos en la realització del nou banc, es proposa reutilitzar elements que no estiguin directament implicats en l'assoliment dels requeriments del nou banc, i que siguin especialment costosos. Aquest és el cas del motor d'accionament i del fre utilitzat per a introduir parell resistent en tota la cadena cinemàtica del banc.

4.2. Estudi de mercat

El mercat presenta poques alternatives pel que fa a bancs d'assaig específics per a analitzar vibracions generades per elements mecànics en mal estat. Tot i així hi ha alguna alternativa dins del camp de l'anàlisi de fallades de màquines que inclouen complements d'aquest tipus:

4.2.1. G.U.N.T

Aquesta companyia alemanya especialitzada en equipament didàctic per a enginyers presenta una solució comercial per al diagnòstic de fallades mecàniques.



Fig. 4.2.1. G.U.N.T. Machinery Diagnostic System, Base Unit

Adicionalment, la mateixa casa ofereix com a complements un mòdul per a simular vibracions generades per fallades en desalineaments, en rodaments, en rodes dentades i en politges.

L'opció de G.U.N.T., a més, inclou cert grau de modularitat ja que els elements es poden desplaçar en un eix gràcies a un sistema de guies.

4.2.2. SpectraQuest

Aquesta companyia especialitzada en sistemes de simulació i diagnosi de vibracions mecàniques disposa en el seu catàleg d'un banc d'anàlisi de fallades mecàniques en el qual inclou les fallades que es volen analitzar.



Fig. 4.2.2. Spectra Quest Machinery Fault Simulator

El principal inconvenient d'aquesta opció davant de la de la marca G.U.N.T és que no és modular i els defectes actuen en sèrie.

4.2.3. VIBstand2 by EC Systems

Aquest banc permet simular petits desalineaments, fallades en rodaments i fallades en engranatges. No obstant això, no permet l'anàlisi de fallades en politges. A més, es tracta d'un habitacle tancat i no s'hi poden afegir mòduls addicionals.

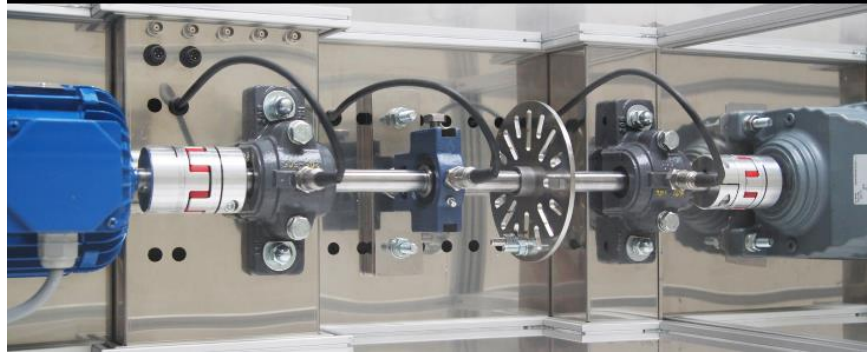


Fig. 4.2.3. VIBstand2 by EC Systems

4.2.4. STI CMCP601 Machinery Diagnostic Rotor Kits

Aquesta companyia especialitzada en monitorització de vibracions ofereix aquesta solució de diagnòstic de fallades en màquines a través de les vibracions generades.



Fig. 4.2.4. STI CMCP601 Machinery Diagnostic Rotor Kits

No obstant això, aquesta és una solució molt limitada ja que només permet simular desequilibris i fallades en rodaments.

4.2.5. Decisió

Si bé les dues primeres opcions podrien ser considerades en termes d'ajust a les necessitats, ambdues són descartables pel seu preu, que ronda els 30.000,00 euros.

4.3. Alternatives de disseny per a un banc de producció pròpia

En aquest apartat es presenten diverses alternatives pel que fa a la disposició de les diferents etapes de les quals constaria una hipotètica solució de producció pròpia.

4.3.1. Solució anterior

En primera instància, i per posar en context les possibles solucions, es presenta un esquema de la solució vigent fins al moment actual.

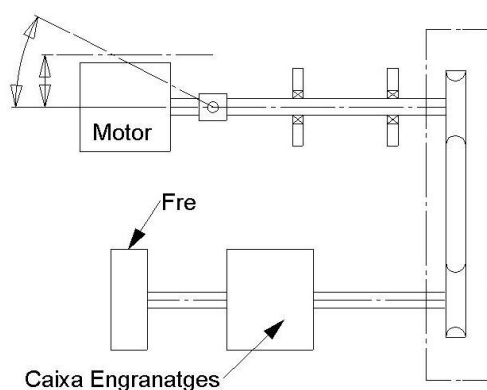


Fig. 4.3.1. Esquema banc d'assaig en sèrie

En aquest cas s'ubiquen en sèrie els elements següents:

- Una primera etapa amb un acoblament flexible per tal de simular els desalineaments entre eixos.
- Una segona etapa amb dos suports per a rodaments. El funcionament d'aquests rodaments es pot commutar mitjançant uns maneguets d'expansió radial que fixen el rodament a l'eix per fricció.
- Com a tercera etapa una transmissió per corretja trapezoidal i politges dobles intercanviables.
- I com a última etapa prèvia al fre, es troba la caixa d'engranatges.

Les possibles solucions que es consideraran a continuació no tindran en compte solucions amb els elements disposats en sèrie, ja que es la principal flaqueza que es vol pal·liar.

4.3.2. Disposició en paral·lel

Es fixen a la bancada tots els elements susceptibles de ser acoblats al fre i al motor l'un al costat de l'altre. La connexió d'aquests elements amb el fre i el motor es canvia en realitzar cada experiència a base de traslladar fre i motor sobre la bancada.

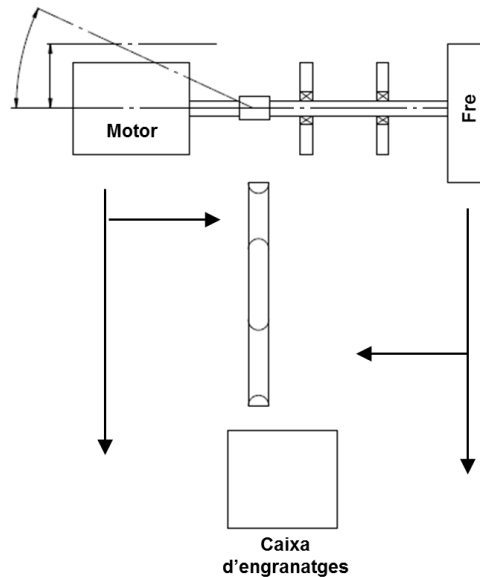


Fig. 4.3.2. Esquema banc d'assaig en paral·lel

En el cas de la Figura 4.3.2. s'ha considerat l'ús dels casquets sense xaveta per a l'etapa dels rodaments. Si no es fes així, hi hauria en paral·lel una etapa més per a cada un dels tres rodaments defectuosos.

Aquesta disposició es pot descartar pel fet que la bancada necessària hauria de ser d'unes dimensions molt superiors a les del banc anterior.

4.3.3. Multiplicitat de bancs

Aquesta solució proposa l'existència de tantes bancades com etapes té el banc original, on cada una hi té fixada una de les etapes. En aquest cas s'hauria de disposar de tants frens i motors com bancades, o muntar i desmuntar fre i motor a la bancada per a cada experiència.

Si bé aquesta opció resolldria la mancança de la solució anterior, no s'adaptaria als recursos disponibles (en cas d'usar diversos motors i frens) o d'agilitat d'ús (en el cas de muntar i desmuntar un mateix fre i un mateix motor).

4.3.4. Disposició amb el fre fixat

En aquest cas el fre queda fix a la bancada i són la resta d'elements els que es col·loquen en la posició pertinent en el moment de ser usats. En aquest cas, el motor es desplaça per la bancada en funció de l'element que s'ha de connectar.

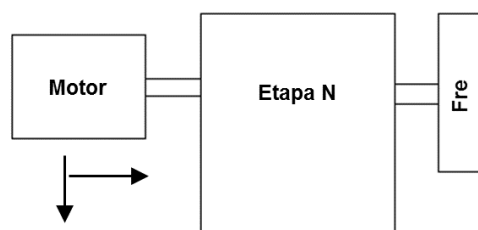


Fig. 4.3.4. Esquema banc d'assaig amb el fre fixat

En aquesta disposició el principal inconvenient és que la fixació del motor amb la bancada és la més complexa de totes, ja que ha de disposar d'una articulació que li permeti el desalineament angular.

4.3.5. Disposició amb el motor fixat

Es fixa el fre a la bancada disposant les etapes convenientes en la seva posició per a cada experiència. En aquest cas és el fre el que haurà de traslladar-se per la bancada en funció de la posició dels elements.

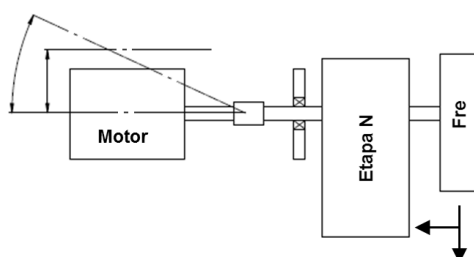


Fig. 4.3.5. Esquema banc d'assaig amb el motor fixat

Tal com mostra la Figura 4.3.5., es proposa mantenir un primer rodament en bon estat i l'acoblament flexible per als desalineaments fixos a la bancada.

4.4. Solució adoptada

Es decideix adoptar l'última opció esmentada. Es tria aquesta opció perquè és la que ofereix una agilitat major en la realització de la pràctica. A més, aquesta solució permet fàcilment reutilitzar el motor i el fre del banc actualment existent.

A més, aquesta disposició permet la utilització de forma flexible de tots els mòduls de simulació de defectes, i fins i tot és compatible amb mòduls que puguin ser creats en un futur, sense necessitat de modificacions addicionals.

5. Disseny

Com s'ha comentat en el punt anterior, la solució adoptada consisteix en una bancada amb el motor fixat en la qual s'hi introdueixen i es disposen en la posició que els pertoqui tant els mòduls de simulació de fallades com el fre.

Per a fixar i desplaçar tant el fre com els diferents mòduls, es disposen a la bancada un seguit de guies en forma de T.

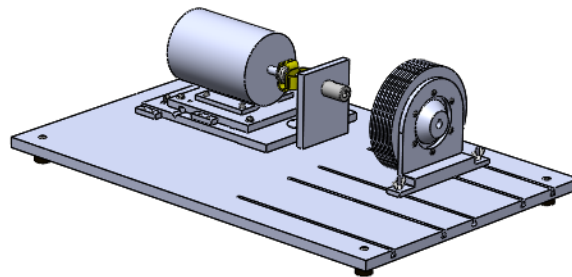


Fig. 5. Imatge del conjunt sense mòduls de simulació de fallada

Tal com es pot apreciar a la Figura 5, a la sortida del motor es troba l'acoblament flexible que servirà per a introduir els desalinemants.

A continuació de l'acoblament flexible es troba fixat a la bancada un suport per a un rodament en bon estat. Aquest element està ubicat a una distància suficient perquè el suport del fre pugui fer una rotació sobre la seva articulació fins a l'angle màxim de desalineament.

A la sortida d'aquest rodament, s'observa un acoblament rigid. És en aquest punt que s'acoblaran els diferents mòduls de simulació de fallada.

5.1. Elements de la bancada

La bancada consta de quatre potes de goma per aïllar les vibracions, un bloc principal de la bancada i un suport del motor.

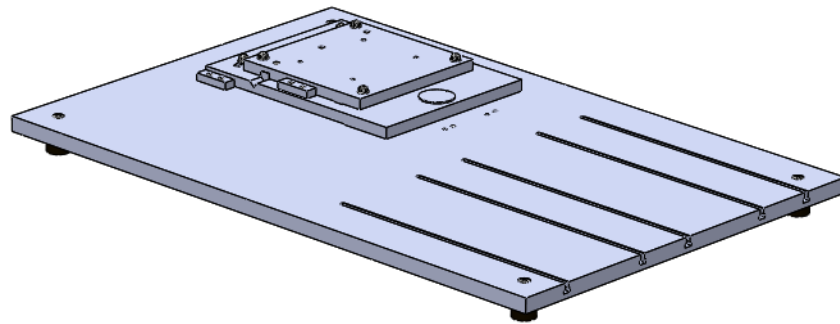


Fig. 5.1. Conjunt de la bancada

Pel que fa als elements de la bancada tots són reaprofitables a excepció del bloc principal que haurà de ser produït.

5.1.1. Potes de la bancada

Les potes de la bancada són potes de la marca comercial Paulstra de la sèrie Radiaflex. Són potes de goma cilíndriques amb una placa d'acer i un forat cec per a encabir-hi un cargol de M8.



Fig. 5.1.1. Potes de goma Paulstra Radiaflex

5.1.2. Bloc principal de la bancada

És un element que caldrà produir a partir d'una xapa d'alumini de 20 mm de gruix i de dimensions 860 x 560 mm.

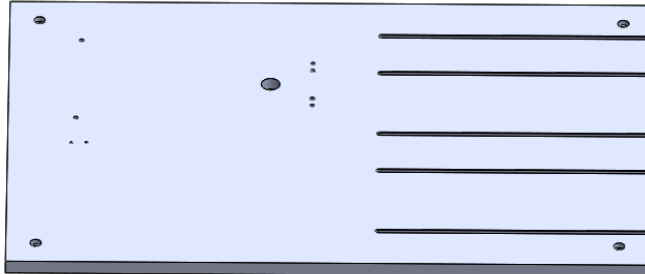


Fig. 5.1.2. Bloc principal de la bancada

En aquesta xapa es mecanitzen a la part de la dreta de la Figura 5.1.2. unes guies en T que permeten dur el fre a qualsevol de les posicions que ha d'adoptar.

Més a l'esquerra s'observen un seguit de petites guies en forma de T que són el lloc on es muntaran els mòduls de simulació de fallades.

A la part de l'esquerra, trobem els forats per a fixar el suport per al motor i un forat més gros que és on s'ubica l'articulació per al moviment angular del motor.

A les quatre cantonades s'observen els forats per a fixar les potes de la bancada.

5.1.3. Suport del motor

El suport del motor consta de quatre parts principals:

- **Base angular:** és la base que es troba a la part inferior, en contacte amb la bancada principal. Aquesta base està fixada per un extrem amb l'articulació i per l'altre amb dos espàrrecs fixats a una guia que permet el moviment angular.
- **Articulació:** consta de dues peces i, a l'hora que enllaça la base angular amb la bancada principal, constitueix l'eix sobre el qual gira la base angular.
- **Base lateral:** queda a la part superior de la base angular i és on s'acaba collant el motor. Aquesta, a més està, alineada amb la base angular per una guia de forma pentagonal. Aquesta guia permet un desplaçament lateral respecte a la base angular, un cop descollats els espàrrecs que els uneixen.
- **Guia de la base lateral:** aquesta guia de secció pentagonal va collada a la base lateral i garanteix l'alineació de la base lateral amb la base angular, gràcies a la ranura de secció triangular de què disposa la base angular.

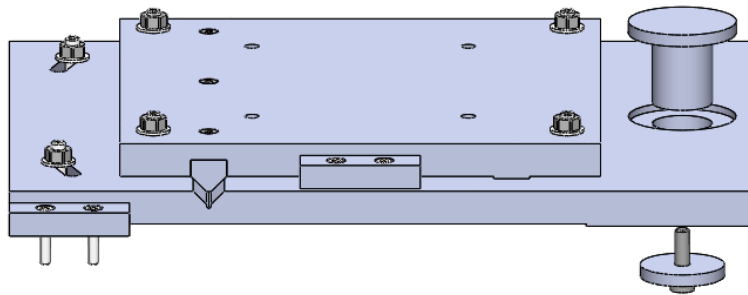


Fig. 5.1.3. Suport del motor

Tant la base angular com la base lateral tenen al seu lateral uns topalls que indiquen la seva posició natural.

5.2. Motor

Per a l'accionament s'utilitza un motor asíncron controlat per un regulador de freqüència. Tots dos elements són reaprofitats del muntatge anterior.

5.2.1. Motor

Per de dotar el banc d'unes característiques adequades per a la docència no és necessari instal·lar un motor de gran potència. No obstant això, per fer la pràctica correctament ha de ser possible regular el règim de funcionament d'aquest motor.

Per aquest motiu es considera la utilització d'un motor asíncron de corrent altern.

Aquest tipus de motors són fàcilment controlables mitjançant, per exemple, variadors de freqüència. En el context de la solució a dissenyar és important que l'accionament es pugui dur a terme en diferents règims de revolucions, per així poder acoblar a l'accionament mòduls amb diferents relacions de transmissió.

El motor que s'utilitzarà és l'utilitzat fins al moment en l'antecessor tecnològic d'aquest banc. Es tracta d'un motor trifàsic de baixa tensió de la marca ABB, d'ús general, amb carcassa d'alumini, de dos pols, amb una potència nominal de 0,37 kW, velocitat nominal del 2800 min⁻¹ i parell nominal d'1,26 Nm.

5.2.2. Regulador de freqüència

En el cas de la solució adoptada hi haurà situacions (com l'anàlisi de fallades en rodaments) en què no hi tindrà lloc una reducció de la velocitat de gir, i d'altres (com l'anàlisi de fallades en transmissions per politges o engranatges) en les quals hi haurà una diferència de velocitats de gir entre el motor i el fre. En aquest context, i atès que s'ha de mantenir tant el fre com el motor dins dels seus règims de funcionament, s'opta per controlar la velocitat del motor amb un regulador de freqüència.

Els variadors de freqüència, mitjançant un circuit de tres etapes: rectificador, bus de continu i inversor. En la primera es transforma el corrent altern monofàsic provinent de la xarxa a corrent continu. En el bus de continu s'emmagatzema l'energia d'aquest corrent continu en condensadors. I finalment en l'inversor un ondulador converteix aquesta energia en una sortida trifàsica amb valors de tensió i freqüència variable. Com a elements de commutació s'utilitzen generalment transistors bipolars.

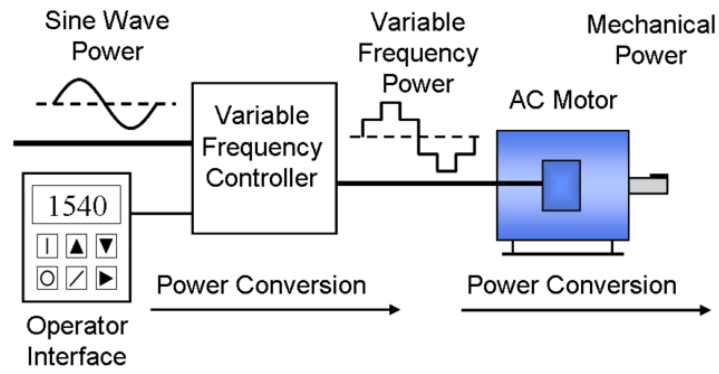


Fig. 5.2.2. Esquema funcionament variador de freqüència

El model que s'utilitzarà és el que ja es troba a disposició del Departament d'Enginyeria Mecànica de l'ETSEIB. Es tracta d'un variador de la marca Delta i de la sèrie VFD-L. En concret, la versió de 0,4 kW.

5.3. Fre

L'altre element imprescindible en totes les experiències és el fre. Aquest fre simula la càrrega de la màquina que absorbeix la potència introduïda pel motor al sistema.

Aquest fre s'ha de dimensionar de tal manera que treballi dins del seu règim de revolucions i que alhora no ofereixi una resistència excessiva per al motor. Per aquest segon motiu, és desitjable que la resistència del fre sigui controlable.

5.3.1. Fre de partícules magnètiques

El funcionament dels frens magnètics de partícules es fonamenta en la inducció d'un camp magnètic que travessa perpendicularment un disc rotor. Les partícules magnètiques del fluid ubicat entre aquest disc rotor i l'estator formen cadenes en la direcció del camp en ser excitades. Aquestes cadenes es resisteixen a ser estirades i, per tant, generen un parell resistent sobre el gir del rotor.

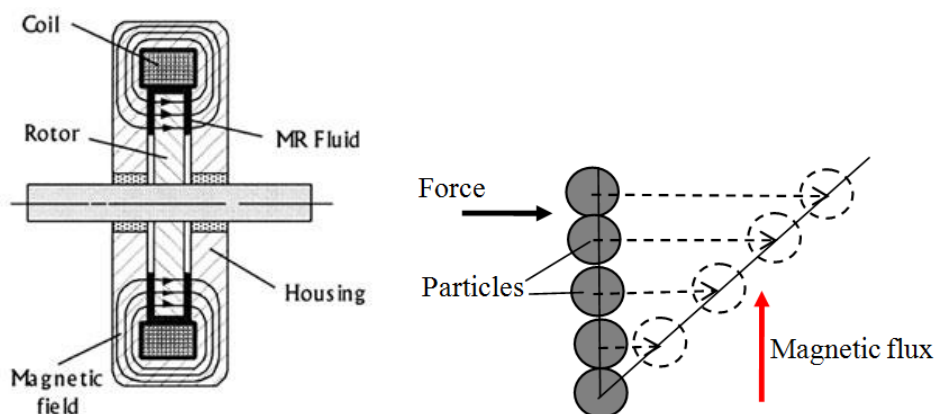


Fig. 5.3.1. Esquema funcionament fre de partícules magnètiques

L'avantatge principal d'aquest tipus de frens és el baix cost de manteniment i que no pateixen desgast amb el temps. A més, aquest tipus de frens són regulables quant al parell resistent modificant la intensitat del corrent inductor.

El principal inconvenient és que a alts règims de gir se sobreescalfen i aquesta característica en limita el rang de velocitats de gir. Per a minimitzar aquest efecte se selecciona un fre amb dissipador de calor (aletes).

Es tria, per tant, el fre ja existent en l'anterior banc d'assaig, de la marca Magneta de la família de frens de partícules magnètiques, dimensió 02, amb eix foradat de 14 mm de diàmetre, dissipador de calor i voltatge de 24 V (DC)

5.3.2. Control del fre

Atès que el control del fre magnètic, com s'ha esmentat prèviament, es fa amb corrent continu de 24 V, es necessita una etapa intermèdia entre la xarxa de 230 V de corrent altern monofàsic i el fre magnètic. La marca Magneta ofereix un controlador d'aquestes característiques. Aquest controlador, a més, permet donar una sortida d'un voltatge menor per a reduir la resistència del fre en cas que sigui necessari.

Aquest complement del fre magnètic ja està a disposició del Departament d'Enginyeria Mecànica.

5.4. Mòdul de simulació de desalineaments entre eixos

Com s'ha explicat en l'apartat de la base del motor, aquesta té la possibilitat de desplaçar-se lateralment, o bé de fer una rotació sobre la seva articulació.

Per aquest motiu i amb l'objectiu d'analitzar els efectes dels desalineaments entre eixos, s'ubica un acoblament elàstic a l'alçada de l'articulació.

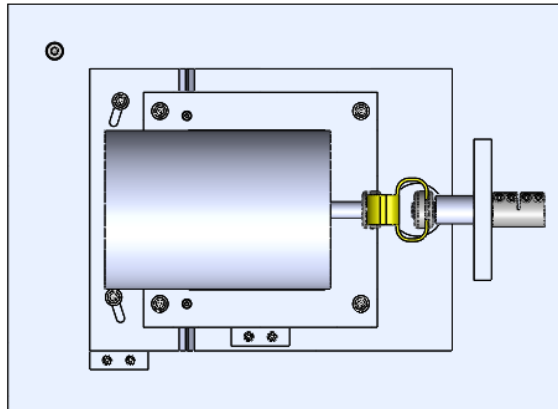


Fig. 5.4. Disposició dels elements per al desalineament

5.4.1. Acoblament elàstic

Acoblat a la sortida del motor, i a l'alçada de l'articulació de la base del motor, s'ubica un acoblament elàstic que permet desalinejar els dos eixos que enllaça. L'altre eix que enllaça és l'eix del coixinet en bon estat.

Aquest element s'aprofita de l'anterior muntatge, i es tracta d'una junta elàstica de poliuretà de la marca INDARBELT de la sèrie PAGUFLEX. Aquest model permet un parell de fins a 3,2 Nm (que supera de llarg el parell del motor), un desviament angular de fins a 15° i un desplaçament radial màxim de 3,2 mm.



Fig. 5.4.1. Acoblament elàstic Paguflex

5.4.2. Suport del rodament en bon estat

Ubicat just davant del motor es troba el suport del rodament en bon estat. Aquest és l'encarregat d'orientar l'eix de sortida de l'acoblament elàstic. És un component fet d'alumini a partir de l'arrencament de ferritja d'una xapa de 20 mm de gruix. A l'orifici que s'observa s'hi fixa el rodament.

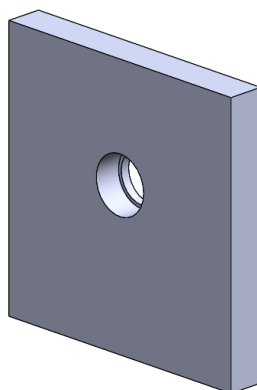


Fig. 5.4.2. Suport del rodament en bon estat

5.4.3. Rodament en bon estat

Aquest és un rodament de la marca SKF de la sèrie 61804-2RZ. Es tracta d'un rodament rígid de boles. Per la ubicació del rodament en el banc i les característiques del mateix banc, aquest rodament no està sotmès a grans càrregues axials ni radials i, per tant, no requereix de característiques especials. Aquest tipus de rodaments presenten una coberta plàstica entre les dues pistes que segella l'habitacle de les boles protegint-les de la brutícia i retenint-ne el lubricant.



Fig. 5.4.3. Rodament SKF 61804-2RZ

5.4.4. Acoblament rígid

A la sortida de l'arbre del rodament en bon estat, per a poder-hi acoblar la resta d'elements, es proposa d'ubicar-hi un acoblament rígid d'una peça amb claveter. D'aquesta manera s'hi acoblen els arbres d'entrada dels diferents mòduls de simulació de fallades de forma àgil.



Fig. 5.4.3. Acoblament rígid amb claveter

Hi ha una àmplia oferta d'aquest tipus d'elements, per aquest cas es proposa el model A5-280-12-12-1 de la marca Michaud Chailly. Es tracta d'un acoblament rígid d'una peça, amb claveter, d'acer inoxidable i per a arbres de 12 mm de diàmetre tant a l'entrada com a la sortida. Va collat amb cargols Allen de M4 x 12. No obstant això, qualsevol element d'una altra marca que compleixi aquestes característiques pot ser usat.

5.5. Mòdul de simulació de fallades en rodaments

L'objectiu d'aquest mòdul és el de simular tots els tipus de fallades possibles en un rodament (defecte en la pista interior, defecte en la pista exterior o defecte en algun element rodant). En no tractar-se de defectes en cap element involucrat en la transmissió de la potència pròpiament dita, aquesta experiència no requereix la intervenció del fre motor com a càrrega. No obstant això, perquè el defecte en un rodament tingui un efecte visible, sí que és necessari sotmetre el rodament a una certa càrrega radial. Amb aquest objectiu, a continuació del rodament en mal estat en lloc d'introduir el fre motor s'introduirà un element específicament dissenyat per a càrregar radialment el rodament.

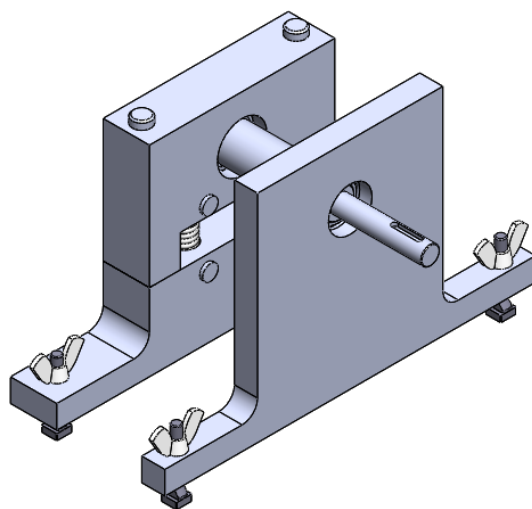


Fig. 5.5. Mòdul de simulació de fallades en rodaments

D'aquesta manera l'etapa del suport del rodament és commutable entre iguals etapes cadascuna amb un tipus concret de fallades en el rodament, mentre que es manté l'eix així com l'element tensor.

5.5.1. Fixació a les guies en forma de T

Tant aquest com tots els altres mòduls de simulació de fallades, se subjecten a la bancada mitjançant un sistema de ranures i cargols en forma de T. Les guies en forma de T permeten la translació en direcció axial de tots els mòduls de simulació de fallades. I la femella d'orelles permet collar el cargol en forma de T, fixant-lo a la bancada, un cop es troba en la posició desitjada.



Fig. 5.5.1. Cargol en forma de "T" (DIN 787) i femella d'orelles (DIN 315)

Atès que s'acoblaran els eixos entre si prèviament a collar el cargol en forma de T, ni aquest element ni les guies no intervindran en el centratge i l'alineació dels eixos. El joc entre el parell cargol-guia és suficient per a no forçar una posició que indueixi a desalineaments.

5.5.2. Rodament amb defecte

Per a aquesta etapa se selecciona un rodament rígid de boles de la marca SKF de la sèrie 61804. En aquest cas, però, per a poder mecanitzar els defectes simulats en l'interior del rodament, s'utilitza un tipus de rodament amb els elements rodants al descobert.



Fig. 5.5.2. Rodament SKF sèrie 61804

5.5.3. Suport del rodament amb defecte

Per a poder commutar el rodament segons la tipologia del defecte simulat es dissenya un suport independent del tensor capaç de ser acoblat a mà a l'eix i collat de manera àgil a la bancada. Aquest element consta d'una paret amb una cavitat trepada per a acoblar el rodament esmentat en l'anterior apartat per pressió. En el rodament en qüestió l'eix que el connecta al motor i al tensor de rodaments, pot ser inserit a mà.

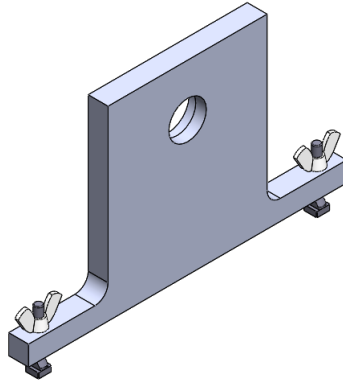


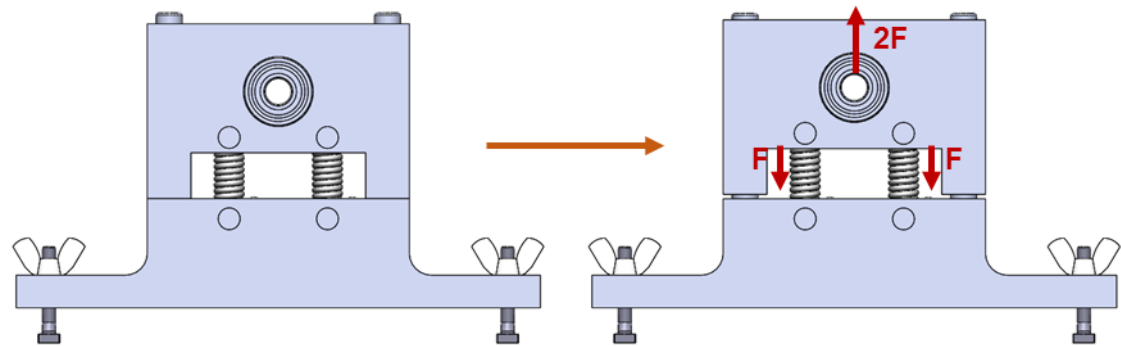
Fig. 5.5.3. Element de suport del rodament en mal estat.

S'ha de disposar d'un suport per a cada tipus de fallada que es vulgui simular. En aquest cas s'hauria de disposar de tres suports (defecte en la pista interior, defecte en la pista exterior o defecte en algun element rodant).

5.5.4. Tensor del rodament en mal estat

Aquest element acoblat a l'eix a la sortida del rodament en mal estat té com a funció aplicar un càrrega en voladiu a aquest eix de manera que sotmeti el rodament en mal estat a una càrrega radial. Per a aconseguir això es dissenya un tensor que funciona de la manera següent:

- Aquest tensor es basa en dues molles que tensen en direcció vertical la posició de l'eix.
- En el seu estat original la distància entre la base del tensor i la posició de l'eix és 2 mm inferior a la distància entre la base del suport del rodament en mal estat a la posició de l'eix.
- D'aquesta manera, en collar els cargols a les guies en forma de T, les dues molles s'elonguen 2 mm i en resulta una tensió vertical. Vegeu:



L'element tensor del rodament en mal estat està fotmat per 6 components:

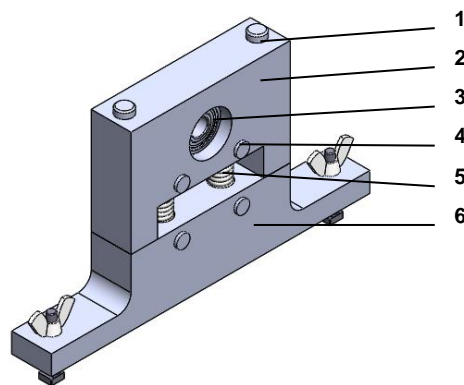


Fig. 5.5.4.(1) Funcionament del tensor del rodament en mal estat

- 1) **Guiat vertical:** dues guies asseguren que la tensió de les molles sobre l'eix sigui sempre vertical, de manera que no es desviï la tensió per efecte de la vibració del rodament, fet que afegiria soroll al senyal de sortida.
- 2) **Suport del rodament:** un element de suport amb una ranura circular per a encaixar-hi el rodament, és l'encarregat de lliscar per les guies verticals, mantenint el rodament alineat amb l'eix.

Fig. 5.5.4.(2) Components del tensor del rodament en mal estat

- 3) **Rodament autoalineant:** en aquest cas s'utilitza un rodament autoalineant en lloc d'un de rígid. D'aquesta manera, és aquest el rodament que assumeix els possibles desalineaments de l'eix provocats per la tensió vertical, evitant que el rodament en mal estat sigui sotmès a moment flexor. Es tracta d'un rodament de doble filera de boles amb pista exterior obliqua, de la sèrie 2201 E-2RS1TN9 de la marca SKF. Es tracta, també, d'un tipus de rodament amb làmina plàstica entre les pistes per a protegir-ne els elements rodants.
- 4) **Passadors:** els passadors subjecten les molles a la base del tensor i el suport del rodament per cadascún dels seus extrems i transmeten la tensió de les molles.
- 5) **Molles de tensió:** dues molles industrials de corda de piano generen una tensió proporcional a l'extensió de les molles, que un cop fixada la base a la bancada és de 2 mm. D'aquesta manera, i tenint en compte que la tensió en la posició natural és de 58,8 N i la constant elàstica de 44,6 N/mm, en la posició de muntatge cada molla transmet una força de 148 N. Aquestes molles són de la marca Sodemann del model A 32660.
- 6) **Base del tensor:** és l'element encarregat de contactar amb la bancada i estirar les molles cap a avall per a carregar el rodament.

5.6. Mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja

La simulació de fallades en transmissions per corretja es fa mitjançant politges intencionadament excèntriques.

Per a la simulació de fallades en politges s'ha de disposar d'un sistema que permeti simular fallades tant en la politja conductora com en la conduïda. Per aquest motiu ha de ser senzill i àgil el procés de commutar d'una transmissió per corretja amb una politja conductora excèntrica a una altra amb una politja conduïda excèntrica.

Amb aquesta finalitat es dissenya un sistema de dues parets paral·leles que suporten dos eixos paral·lels que es poden connectar mitjançant una de les dues opcions de transmissió per corretja: una parella de politges amb les dues politges en bon estat i una altra parella amb una politja amb l'eix excèntric.

La corretja té un cert joc abans de ser tensada i, per tant, es pot commutar d'una parella de politges a l'altra. El tibament de la corretja es duu a terme mitjançant un tensor automàtic.

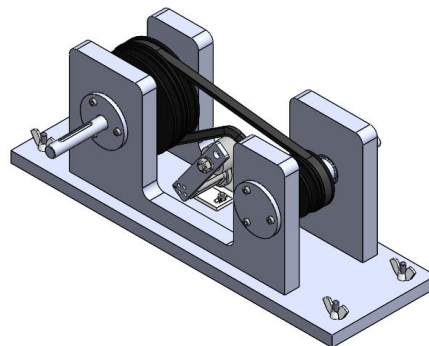


Fig. 5.6. Sistema de fallades en transmissions per corretja

5.6.1. Rodaments

Per a suportar els eixos, tant de l'arbre primari com del secundari s'utilitzen dos tipus de rodaments combinats, d'una banda rodaments de la sèrie 61804-2RZ de la marca SKF i en l'altre extrem dels arbres un rodament de la sèrie 6000-2RSL. Es tracta, en ambdós casos, de rodaments rígids de boles. Addicionalment aquests tipus de rodaments porten una coberta entre les dues pistes que segella l'habitacle de les boles protegint-les de la brutícia i en retenen el lubricant.



Fig. 5.6.1. Rodament SKF 61804-2RZ

5.6.2. Corretja

El tipus de corretja seleccionada és una corretja trapezoïdal, ja que una corretja dentada podria introduir petites vibracions generades pel joc de les dents amb la politja i en el cas d'una corretja plana caldria una força de tibament que en complicaria el muntatge.

Addicionalment però no menys important, una corretja trapezoïdal permet commutar la mateixa corretja en politges diferents i ser tensada i destensada de manera àgil.

La corretja escollida és una corretja de la sèrie SUPER X-POWER i de geometria XPZ de la marca Optibelt.

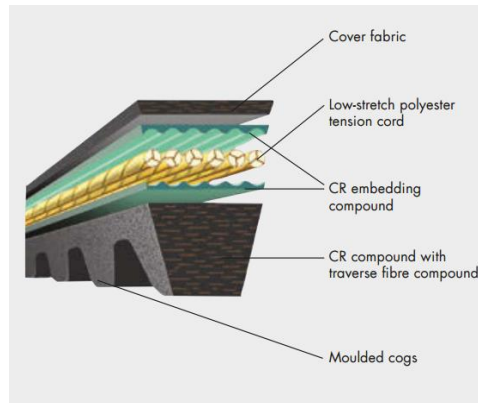


Fig. 5.6.2. Corretja Optibelt SUPER X-POWER

Aquesta sèrie de corretges són de petites dimensions i, a més, disposen d'unes dents a la part interior que els permeten assolir radis de curvatura més petits. Aquest fet serà favorable ja que el que es pretén és tenir una relació de transmissió alta minimitzant les dimensions.

5.6.3. Politges

El tipus de politja seleccionada és una politja SPZ a fi que sigui compatible amb la corretja seleccionada. Les politges conductores seran de 56 mm de diàmetre i les politges conduïdes seran de 106 mm de diàmetre.

S'utilitzaran dues politges per a cada eix:

- A l'eix d'entrada s'ubicaran dues politges del diàmetre especificat per a les politges conductores. Aquestes s'adquireixen sense forat passant per a l'eix ni claveter. En ambdues politges es mecanitzen un forat passant i un claveter. En una d'aquestes es perforen al centre de la politja i en l'altra es perforen desplaçats 2 mm en direcció radial.
- Idènticament a l'eix de sortida s'ubiquen dues politges del diàmetre especificat per a les politges conductores, i es mecanitzen el forat i el claveter centrat en un cas i excèntric en l'altre.

Les politges s'adquireixen de la sèrie SPZ de la marca Optibelt.

5.6.4. Conjunt tensor

L'element més important per tal d'agilitzar el procés de commutar d'una parella de politges a l'altra és un element de tibament de la corretja que en faciliti una preparació àgil.

En aquesta línia es tria un sistema de tibament automàtic que, mitjançant quatre elastòmers de cautxú inserits dins una cavitat quadrada, transmet un parell proporcional a l'angle girat pel braç. A més, el contacte amb la corretja té lloc per la part exterior (plana) mitjançant un corró.

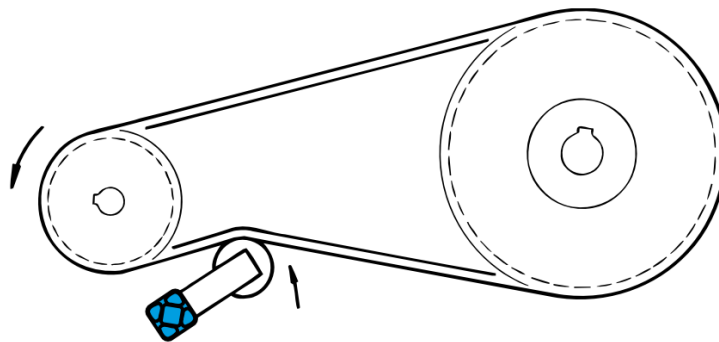


Fig. 5.6.4. Esquema del sistema de tibament de la corretja

Tant el braç com el corró s'adquireixen de la marca Rosta, i es tracten de la sèrie SE i R respectivament.

El braç es fixa a la bancada del mòdul mitjançant un suport específic de la mateixa marca comercial.

5.7. Mòdul de simulació de fallades en rodes dentades

La simulació de fallades en rodes dentades es fa a base d'introduir un defecte llimant un dels flancs d'una dent amb la qual cosa es deteriora el perfil d'evolvent i es crea una discontinuïtat en la transmissió de força entre les dues rodes. D'aquesta manera s'introdueix al sistema un impacte en cada instant que la dent afectada entra en contacte amb una dent de la roda.

Per a donar al banc la capacitat de comparar la vibració habitual generada pel contacte de les rodes dentades en bon estat amb la vibració generada per una dent en mal estat es dissenya un selector que permet intercanviar la posició de la roda. D'aquesta manera es disposen les dues rodes (la defectuosa i la correcta) l'una al costat de l'altra i es pot engranar una o altra per a fer les dues experiències.

Tots els elements s'encabeixen dins una caixa d'engranatges que protegeix les rodes de l'ambient.

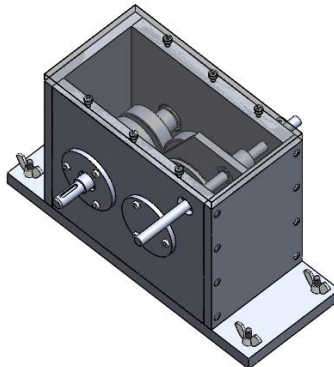


Fig. 5.7. Conjunt de la caixa d'engranatges

5.7.1. Caixa

Es dissenya una caixa amb dos objectius principals: sostenir l'engranatge i permetre la visió de l'engranatge.

En aquesta caixa d'engranatges no s'estableix com a objectiu l'estanquitat, ja que no es lubricarà submergint els rodaments en oli. Això no obstant, sí que interessa que els

elements estiguin relativament tancats dins un habitacle que els protegeixi de la pols i altres agents ambientals.

Per això es dissenya una caixa amb una base i quatre parets d'alumini, i una tapa de metacrilat transparent que en permet veure l'interior. A la base d'alumini, a més, s'hi perforaran els forats per a fer passar els cargols en forma de T a fi que sigui l'element de subjecció a la bancada.

5.7.2. Rodaments

Per a suportar els eixos, tant de l'arbre primari com del secundari s'utilitzen rodaments de la sèrie 61903-2RZ de la marca SKF. Es tracta d'un rodament rígid de boles. Addicionalment aquest tipus de rodaments porten una coberta plàstica entre les dues pistes que segella l'habitacle de les boles protegint-les de la brutícia i retenint-ne el lubricant.



Fig. 5.7.1. Rodament SKF 61903-2RZ

5.7.3. Pinyó

El pinyó és l'element de la caixa d'engranatges en què se simularà la fallada. No obstant això, se'n disposaran dos en paral·lel (amb i sense fallada) per a poder commutar l'engranatge. Això es farà mitjançant la translació de la roda d'un pinyó a l'altre. I és per aquest motiu que:

1. Les rodes es mecanitzen planes en lloc d'helicoïdals per a facilitar-ne la translació axial.
2. L'espai entre el dos pinyons no ha de superar l'amplada de la roda. Mantenint, així, el parell roda-pinyó contínuament engranat i síncron.

El pinyó doble es fabrica per arrencament de ferritja d'un sol cilindre d'acer, al qual també es perfora un botó al seu eix i un claveter per a transmetre el parell del motor.

5.7.4. Roda

El disseny de la roda s'adapta principalment al desplaçament axial al que s'haurà de sotmetre. Idènticament al cas del pinyó aquesta es produeix per arrencament de ferritja partint d'un cilindre d'acer. Hi ha una única roda, a diferència dels pinyons, però al costat de la roda hi ha una prolongació amb una ranura on s'adaptarà el selector. A més, s'hi perfora un forat cec en direcció radial per a inserir-hi la molla i el retenidor que la bloquejaran radialment.

5.7.5. Sistema de desplaçament axial de la roda

Per al desplaçament de la roda la solució adoptada és un braç accionable des de l'exterior de la caixa d'engranatges, que desplaça una peça plana a l'interior, que abraça la roda per la ranura que té disposada per a aquesta finalitat.

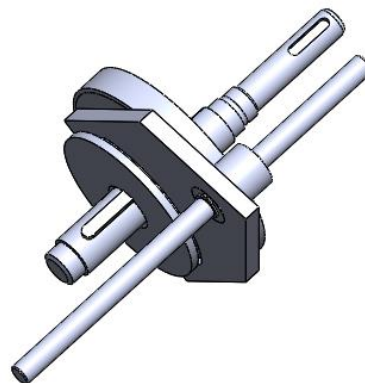


Fig. 5.7.5. (1) Muntatge de la roda amb l'eix i el selector

Accionant aquest braç es desplaça la roda axialment entre dues posicions fixades. En aquestes dues posicions la roda queda subjecta axialment a l'eix mitjançant una molla i un retenidor en forma d'esfera que queda inserida en dos cons que es mecanitzen a l'eix en les dues posicions predefinides.

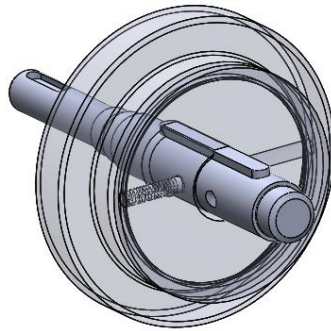


Fig. 5.7.5. (2) Vista de la molla i la bola i ranures a l'eix

Tractant-se de rodes amb dents rectes, no hi ha una força axial suficient per a accionar la molla, fins que no s'actua manualment per a commutar la posició de la roda.

5.7.6. Lubricació

Donada la circumstancialitat d'ús d'aquest banc, que s'utilitzarà tants cops com grups de pràctiques hi hagi per quadrimestre, és suficient amb aplicar lubricant de forma manual a l'engranatge un cop a l'inici de les pràctiques cada quadrimestre.

Per a lubricar l'engranatge cal enretirar la tapa de metacrilat i aplicar greix lític d'ús general a algunes dents del pinyó i fer-lo girar assegurant que es distribueix per totes les dents tant del pinyó com de la roda.

6. Resum d'elements del banc

A mode de resum s'elabora una llista del total de peces necessàries per a la fabricació del banc.

6.1. Elements específics

6.1.1. Bancada

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Base angular	1	Tall, fresa i trepat	Producció pròpia
Base lateral	1	Tall, fresa i trepat	Producció pròpia
Guia base lateral	1	Fresa i trepat	Producció pròpia
Topall del motor	2	Tall i trepat	Producció pròpia
Articulació peça 1	1	Tornejat	Producció pròpia
Articulació peça 2	1	Tornejat	Producció pròpia
Bancada principal	1	Tall, fresa i trepat	Producció pròpia
Potes de la bancada PAULSTRA 511156	4		Comprat

6.1.2. Motor

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Motor asíncron ABB 3GVA 071001-ASC	1		Comprat
Variador de freqüència DELTA VFD004L21B	1		Comprat

6.1.3. Fre

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Suport del fre	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Base del suport del fre	1	Tall, fresa i trepat	Producció pròpia
Fre de partícules Magneta 14.422.04.230	1		Comprat

6.1.4. Mòdul de simulació de desalineaments entre eixos

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Acoblament Paguflex PAGUFLEX 30	1		Comprat
Eix del coixinet en bon estat	1	Tornejat	Producció pròpia
Eix de l'acoblament rígid al fre	1	Tornejat	Producció pròpia
Acoblament rígid MICHAUD CHAILLY A5-280-12-12-1	1		Comprat
Suport del rodament	1	Tall i trepat	Producció pròpia

6.1.5. Mòdul de simulació de fallades en rodaments

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Suport del rodament en mal estat	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Eix del rodament en mal estat	1	Tornejat	Producció pròpia
Base del tensor	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Suport rodament tensor	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Molla del tensor SODEMANN 32660	2		Comprat
Guia del tensor	2	Tornejat	Producció pròpia
Passador suport de la molla	4	Tornejat	Producció pròpia
Rodament sèrie 2201 SKF E-2RS1TN9	1		Comprat
Rodament sèrie 68104 SKF	3		Comprat
Clip de retenció axial 1,3mm L=33mm	4		Comprat

6.1.6. Mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Bancada politges	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Paret politges	2	Tall i trepat	Producció pròpia
Eix politges grans	1	Tornejat	Producció pròpia
Eix politges petites	1	Tornejat	Producció pròpia
Politja D56 Fosa Optibelt SPZ 56	1	Fresat (eix i claveter)	Comprat
Politja D56 excèntrica Fosa Optibelt SPZ 56	1	Fresat (eix i claveter)	Comprat
Politja D106 Fosa Optibelt SPZ 106	2	Fresat (eix i claveter)	Comprat
Corretja Optibelt SUPER TX M=S XPZ L=710mm	1		Comprat
Separador politges grans	1	Tall	Producció pròpia
Separador politges petites	1	Tall	Producció pròpia
Conjunt tensor Rosta 06011001	1		Comprat
Corró tensor Rosta 06580001	1		Comprat
Suport del tensor ABSR Rosta 6202808	1		Comprat
Volandera elàstica per arbre 14x1 DIN 471 14x1	2		Comprat
Xaveta paral·lela, forma A, 4x4x40 DIN 6885	2		Comprat

6.1.7. Mòdul de simulació de fallades en rodes dentades

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Base de la caixa d'engranatges	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Paret 1 de la caixa d'engranatges	2	Tall i trepat	Producció pròpia
Tapa de la caixa d'engranatges	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Paret 2 de la caixa d'engranatges	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Paret 3 de la caixa d'engranatges	1	Tall i trepat	Producció pròpia
Arbre secundari	1	Tornejat	Producció pròpia
Pinyó	1	Roda dentada*	Producció pròpia
Roda	1	Roda dentada*	Producció pròpia
Selector peça 1	1	Tall, fresa i trepat	Producció pròpia
Selector peça 2	1	Tornejat	Producció pròpia
Arbre primari	1	Tornejat	Producció pròpia
Eix desplaçament roda	1	Tornejat	Producció pròpia
Tapa del rodament amb forat	2	Fresa i trepat	Producció pròpia
Tapa del rodament sense forat	2	Fresa i trepat	Producció pròpia
Rodament sèrie 61903 SKF	4		Comprat
Volandera elàstica per arbre 10x1 DIN 471 10x1	2		Comprat
Volandera elàstica per arbre 12x1 DIN 471 12x1	1		Comprat
Xaveta paral·lela, forma A, 6x6x28 DIN 6885	1		Comprat
Xaveta paral·lela, forma A, 6x6x63 DIN 6885	1		Comprat
Molla per fixació arbre mòbil	1		Comprat
Bola fixació engranatge D=5mm	1		Comprat

Roda dentada*: S'utilitza una fresa de forma específica per al dentat de rodes dentades.

6.2. Elements d'ús general

Descripció	Unitats	Observacions	Font
Femella d'orelles M6 DIN 315	14		Comprat
Cargol en T M6 x 40 DIN 787	14		Comprat
Cargol Allen M4 x 10 ISO 4762	3		Comprat
Cargol Allen M4 x 12 ISO 4762	1		Comprat
Cargol Allen M4 x 15 ISO 4762	4		Comprat
Cargol Allen M4 x 20 ISO 4762	2		Comprat
Cargol Allen M5 x 12 ISO 4762	10		Comprat
Cargol Allen M5 x 20 ISO 4762	4		Comprat
Cargol Allen M5 x 30 ISO 4762	4		Comprat
Cargol Allen M6 x 20 ISO 4762	1		Comprat
Cargol Allen M6 x 25 ISO 4762	2		Comprat
Cargol Allen M8 x 16 ISO 4762	4		Comprat
Espàrrec M6-30 22T.j=12 DIN 913	6		Comprat
Femella M5	2		Comprat
Femella H M6 ISO 4032	6		Comprat
Volandera M6 N ISO 7089	6		Comprat
Passadors per centratge ISO 8752 4x20	8		Comprat

7. Guia de muntatge

En aquesta guia de muntatge es donen les indicacions per al muntatge de cada mòdul per separat, així com les indicacions de la integració de tots aquests en l'últim apartat.

7.1. Muntatge de la bancada

Per a dur a terme el muntatge de la bancada és necessari seguir les directrius següents de forma ordenada:

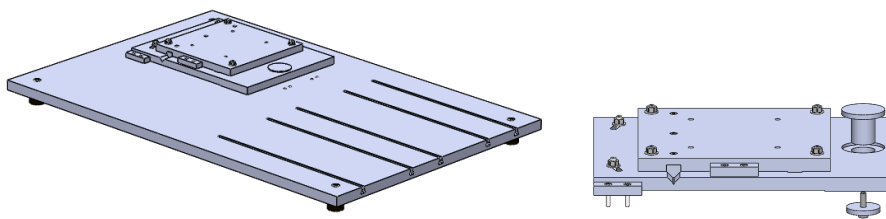


Fig. 7.1.1. Conjunt de la bancada

- 1) Collar les 4 potes elàstiques a la *bancada principal*.
- 2) Per separat, collar la *guia de la base lateral* a la *base lateral*.
- 3) Collar els quatre espàrrecs que fixen la *bancada lateral* a la *bancada angular*.
- 4) Fixar la base angular a la bancada principal mitjançant l'articulació.
- 5) Collar els dos espàrrecs que fixen la *base angular* a la *bancada principal*.
- 6) Collar els dos topalls a la *base angular* i a la *bancada principal* respectivament.
- 7) Collar el *motor* sobre la *base lateral*.

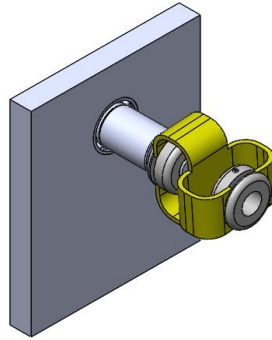


Fig. 7.1.2. Conjunt del suport de bon estat

- 8) Muntar el *rodament de la sèrie 61804-2RZ* al *suport del rodament en bon estat*.
- 9) *Acoblar l'eix del rodament en bon estat al rodament.*
- 10) *Collar l'acoblament elàstic a l'eix del rodament en bon estat.*
- 11) A continuació es col·loca, amb l'ajuda dels centradors, el *suport del rodament en bon estat* en la posició que li pertoca sobre la *bancada principal*, i s'introdueix i es colla l'altre extrem de *l'acoblament elàstic* a la sortida del *motor*.
- 12) A continuació es colla el *suport del rodament en bon estat* a la *bancada principal*.

7.2. Muntatge del mòdul de simulació de fallades en engranatges

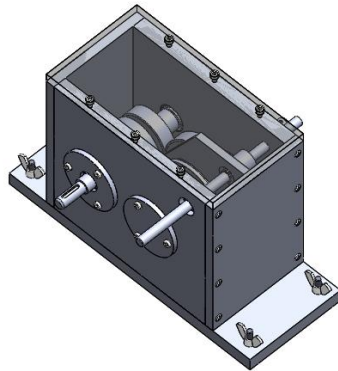


Fig. 7.2. Caixa d'engranatges

- 1) Col·locar els *centradors* de les parets a la *base de la caixa d'engranatges*.
- 2) Muntar les quatre parets i collar-les tant entre si com amb la *base de la caixa d'engranatges*.
- 3) Introduir l'eix primari al forat corresponent, tenint en compte que aquest forat és el més llunyà a la posició del forat del selector. No és indiferent el sentit, vegeu Fig. 7.2.
- 4) Abans d'acabar-lo d'introduir col·locar la xaveta, el pinyó i el circlip corresponents.
- 5) Col·locar els *rodaments* i les *tapes dels rodaments*.
- 6) El procediment per a la instal·lació de l'*arbre secundari* i la roda és idènticament el mateix. Això no obstant, abans d'introduir l'arbre dins la roda cal introduir la *molla* i el *retenidor esfèric*.
- 7) Acoblar les dues peces del *selector* i col·locar-les en contacte amb la *roda*.
- 8) Travessar les dues peces del *selector* amb l'*eix del selector* i posar els *circlips*.

- 9) Aplicar greix lític d'ús general al contorn de les dents i a *l'eix del selector* i fer girar l'engranatge a mà assegurant que es distribueix el greix per totes les dents.
- 10) Collar la tapa de metacrilat.

7.3. Muntatge del mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja

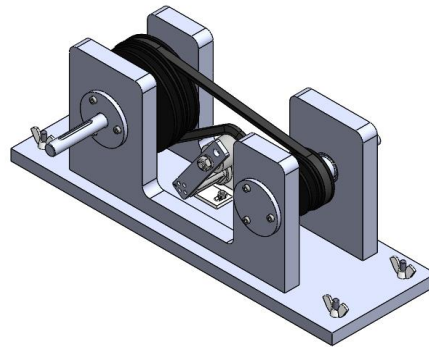


Fig. 7.3. Mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja

- 1) Col·locar els *centradors* de les dues parets a la *base del mòdul*.
- 2) Collar la *base del conjunt tensor* a la *base del mòdul*.
- 3) Collar les dues *parets* a la *base del mòdul*.
- 4) Introduir l'*eix primari*, sense introduir-lo del tot.
- 5) Col·locar a l'*eix primari* la corresponent *xaveta*, les dues *politges petites* (la defectuosa i la que està en bon estat) amb el corresponent *separador* entre elles i el *clip*.
- 6) Col·locar els *rodaments* i les *tapes dels rodaments*.
- 7) El procediment per a la instal·lació de l'*arbre secundari* i les *politges grans* és idènticament el mateix.
- 8) Col·locar el *braç tensor* seguint les indicacions que es donen en el subapartat següent.

- 9) Col·locar la *corretja* a la parella de *politges* que es desitgi, retirant a mà el *braç tensor* per a facilitar-ne la tasca.

7.3.1. Muntatge del braç tensor de la corretja

Tenint en compte que la posició final del muntatge ha de ser de 29° i l'angle respecte de la posició de pre-tibament ha de ser d' 1° [vegeu l'Annex A.3.5.], la posició inicial en la qual haurà d'anar muntat el braç tensor és de 30° respecte del pla horitzontal.

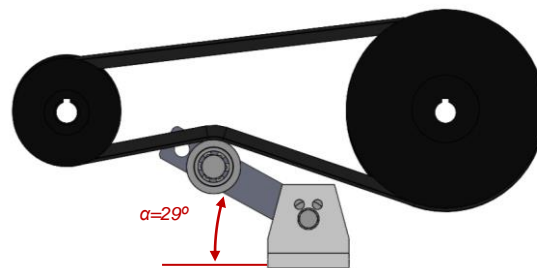


Fig. 7.3.1. Muntatge politges i tensor

7.4. Muntatge del mòdul de simulació de fallades en rodaments

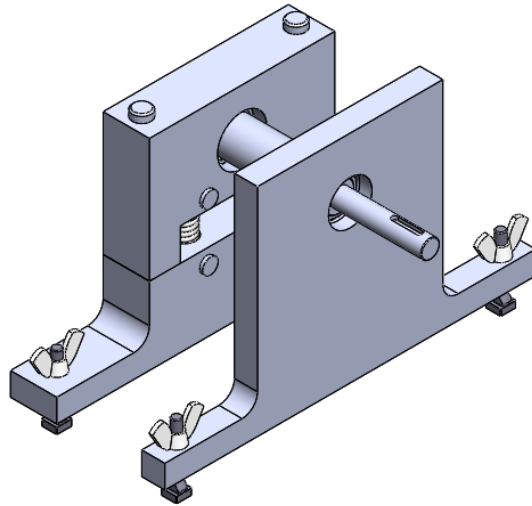


Fig. 7.4. Mòdul de simulació de fallades en rodaments

Mòdul tensor:

Aquesta primera part es realitza una sola vegada i seran els diferents mòduls amb rodaments defectuosos que s'aniran substituint

- 1) Collar les *guies* a la *base del tensor*.
- 2) Col·locar les dues *molles* i els corresponents *passadors* a la *base del tensor*.
- 3) Introduir el suport del *rodament tensor* fent-lo encaixar amb les dues *guies*.
- 4) Col·locar els *passadors de les molles* al suport del *rodament tensor*.
- 5) Introduir el *rodament de la sèrie 2201 E-2RS1TN9* al suport del *rodament tensor*.
- 6) Introduir l'*eix del rodament en mal estat* al *conjunt tensor*.

Rodament amb defecte:

- 1) Introduir el *rodament de la sèrie 61804* al *suport del rodament* amb el defecte prèviament realitzat.
- 2) En el moment de realitzar l'experiència introduir *l'eix del rodament en mal estat* al *rodament*.

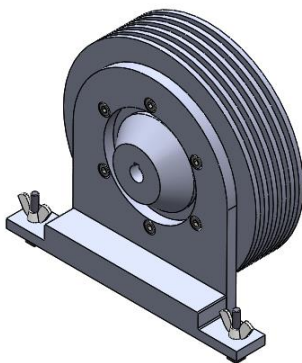
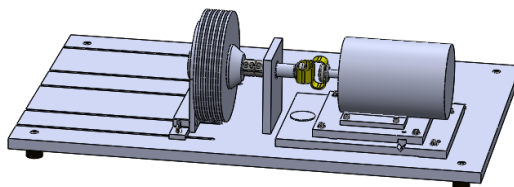
7.5. Muntatge del fre i el seu suport

Fig. 7.5. Fre

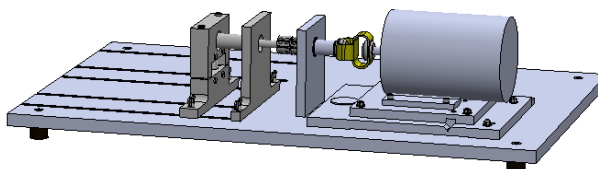
- 1) Collar la *base del suport* al *suport*.
- 2) Collar el *fre* al *suport*.

7.6. Disposició dels elements en cada experiència

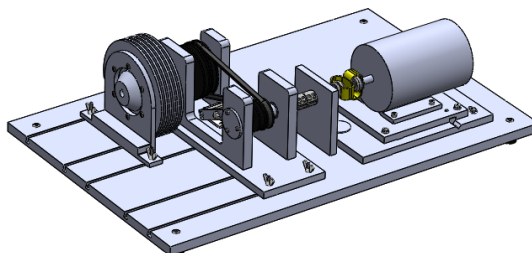
- 1) Simulació de desalineaments



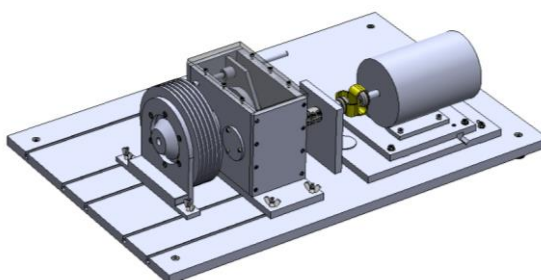
- 2) Simulació de defectes en rodaments



- 3) Simulació de defectes en transmissions per corretja



- 4) Simulació de defectes en transmissions per engranatge



8. Guia d'ús

En aquesta guia d'ús es donen indicacions de com s'ha de procedir a l'hora de fer les diferents experiències, en la disposició d'elements definida en la guia de muntatge, per a garantir-ne un bon funcionament.

8.1. Simulació de desalineament entre eixos

Per a aquesta experiència cal acoblar el motor mitjançant l'eix directe que permet acoblar el fre a l'acoblament rígid. Un cop acoblat cal collar les femelles d'orelles del fre.

En l'aspecte de l'accionament es recomana utilitzar una càrrega baixa del fre i engegar el motor. Cal tenir en compte [vegeu l'Annex A.2.1] que el règim de gir en aquestes condicions ha de ser de 1000 min^{-1} a 1.200 min^{-1} . Per a aquesta finalitat cal utilitzar el regulador de freqüència i situar la sortida entre un 36 % i un 42 % de la freqüència de la xarxa.

Per a introduir el desalineament angular cal afluixar les femelles que fixen la base angular a la bancada i empènyer a mà el motor cap a l'extrem més proper de la bancada. Un cop s'han capturat els senyals necessaris, es deixa retornar el motor a la seva posició original i es collen les femelles que s'havien afluixat.

Per a provocar el desalineament lateral s'afluixen les femelles que fixen la base lateral a la base angular i s'empeny idènticament el motor. Un cop adquirides les dades es torna el motor a la posició original i es collen les quatre femelles.

8.2. Simulació de fallades en rodaments

Per a aquesta experiència s'acobla el mòdul de fallades en rodaments a l'acoblament rígid. En primera instància es fixa l'eix dels rodaments en mal estat a l'acoblament rígid, i un cop fet això es collen les femelles d'orelles del suport del rodament i del tensor, per aquest ordre. L'ordre d'execució d'aquests passos garanteix no introduir desalineaments en els eixos.

Cal tenir en compte que en aquest cas el motor treballa en buit (sense càrrega), per tant, pot funcionar a la velocitat que es desitgi.

Cal enretirar el tensor i el rodament cada cop que es vulgui intercanviar el tipus de defecte en el rodament.

8.3. Simulació de fallades en transmissions per corretja

Per a aquesta experiència cal introduir primer el mòdul de fallades en transmissions per corretja fins a introduir l'eix primari a l'acoblament rígid i collar-lo. Tot seguit cal introduir el fre fins a introduir l'eix secundari dins del fre i collar-ne les femelles d'orelles. En últim moment es collen les femelles d'orelles del mòdul de simulació de fallades en transmissions per corretja. Aquest ordre garanteix no introduir desalineaments entre eixos.

Quant a l'accionament, cal tenir en compte que el motor ha de girar a velocitats d'entre 1.100 min^{-1} i 2.100 min^{-1} [vegeu l'Annex A.2.2.]. Per tant, cal ajustar el regulador de freqüència entre un 40 % i un 75 % de la freqüència d'entrada. Es recomana utilitzar el fre en posicions de resistència baixa per a no forçar el motor.

Per a canviar la corretja de parella de politges cal aturar el motor i enretirar amb la mà el tensor per a recol·locar la corretja.

8.4. Simulació de fallades en engranatges

Per a aquesta experiència cal procedir de forma idèntica a la simulació de fallades en transmissions per corretja pel que fa a la introducció del mòdul.

Pel que fa a l'accionament, cal garantir que el motor gira a règims de funcionament entre les 1.100 min^{-1} i 2.200 min^{-1} [vegeu Annex A.2.3.]. Per tant, cal ajustar el regulador de freqüència entre un 40 % i un 78 % de la freqüència d'entrada. Es recomana utilitzar el fre en posicions de resistència baixa per a no forçar el motor.

El canvi de roda dentada es fa desplaçant el selector des del seu eix. Es pot fer sense necessitat d'aturar el motor ja que en cap moment es perd l'engrenatge.

8.5. Manteniment

De forma semestral, abans de començar la realització de les pràctiques, caldria tenir en compte els aspectes següents de manteniment del banc:

- **Caixa d'engrenatges:** cal revisar l'estat de lubricació i afegir lubricant si és necessari, tant a les rodes dentades com als rodaments. En les primeres utilitzacions es poden desprendre partícules metàl·liques provinents del mecanitzat de les dents. Si aquest fos el cas o bé si s'hagués acumulat pols per haver estat

guardada en un mal lloc, cal netejar amb dissolvent l'interior de la caixa i les rodes i tornar a lubricar.

- **Rodaments:** Els rodaments de la resta del banc disposen de sistemes de segellament, per la qual cosa, un cop lubricats mantenen el lubricant i protegeixen les pistes del rodament i les boles dels agents externs.

Cal assegurar en dur a terme el manteniment que es compleixen les directives europees de tractament de residus de lubricants líquids i d'hidrocarburs.

Com a tasca de manteniment passiu es recomana, durant els períodes en què no s'usa el banc, emmagatzemar-lo desmuntat (mòduls per separat) amb la corretja i les molles sense tensió i en un ambient no corrosiu.

9. Instal·lació dels acceleròmetres

9.1. Introducció als senyals a captar

Les fallades a simular en el banc dissenyat i amb els mòduls inclosos dins de l'actual projecte són un recull de les més comunes en l'anàlisi vibracional de màquines:

- **Desalineament angular i/o radial entre dos eixos**
- **Defectes en rodaments**
- **Defectes en engranatges**
- **Defectes en transmissions per corretja**

Aquests defectes mostren cadascun senyals diferents quant a freqüència espectral.

9.1.1. Desalineament angular entre dos eixos

En aquest tipus de defecte el que s'observa en l'anàlisi espectral és una vibració que bé pot ser de component axial o radial, segons la direcció de les forces fluctuants pròpies del defecte.

Els desalineaments angulars introdueixen principalment forces axials als suports. Aquestes forces varien una vegada per volta.

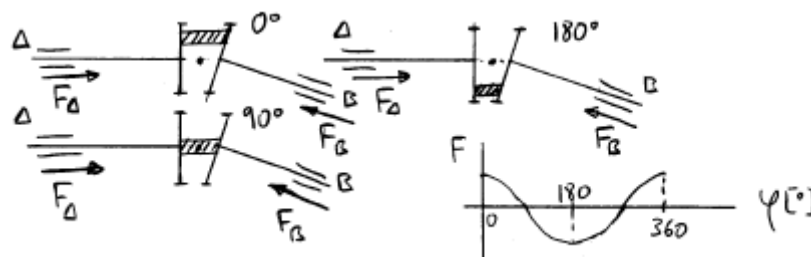


Fig. 9.1.1.1. Esquema de desalineaments angulars

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

Els desalineaments radials, en canvi, introdueixen principalment forces radials al suport que varien dues vegades per volta.

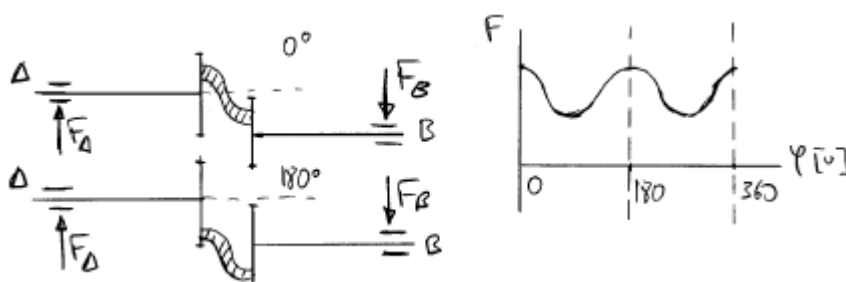


Fig. 9.1.1.2. Esquema de desalineaments radials

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

D'aquesta manera, els desalineaments radials generen una vibració en els suports dels eixos desalineats de freqüència doble a la de gir dels eixos. I els angulars, en variar un cop per volta generen vibracions de la freqüència de gir de l'eix.

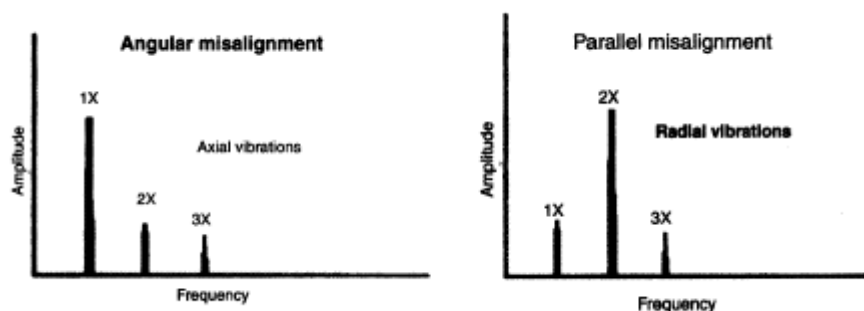


Fig. 9.1.1.3. Espectres de vibració en desalineaments

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

9.1.2. Defectes en rodaments

Els rodaments, ja en bon estat, generen una lleu vibració d'una freqüència entre 2 i 6 kHz deguda a la rugositat superficial de les pistes de rodament.

No obstant això, en cas que algun dels elements rodants o la pista interior o exterior tinguessin un defecte, es generaria una vibració amb una freqüència relacionada a la periodicitat amb la que aquest element interacciona amb els altres.

A continuació se'n mostren les freqüències associades:

Defecte a la pista externa	$f = \frac{n}{2} f_0 \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta \right)$
Defecte a la pista interna	$f = \frac{n}{2} f_0 \left(1 + \frac{d}{D} \cos \beta \right)$
Defecte en un cos rodant	$f = \frac{D}{d} f_0 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cos^2 \beta \right)$
Defecte a la gàbia	$f = \frac{1}{2} f_0 \left(1 - \frac{d}{D} \cos \beta \right)$

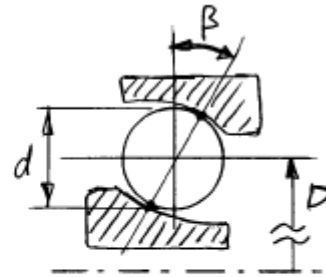


Fig.12 Paràmetres geomètrics d'un rodament

Essent (fig.12):

d : diàmetre dels cossos rodants.

D : diàmetre de la circumferència que conté els centres dels cossos rodants.

n : nombre de cossos rodants.

β : angle d'inclinació de la línia de contacte (diferent segons el rodament sigui de contacte radial, de contacte axial o de contacte angular).

f_0 : freqüència corresponent a la velocitat de gir relativa entre les dues pistes.

Fig. 9.1.2.1. Freqüències associades als tipus de defectes en rodaments

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

A part d'aquestes freqüències i els corresponents harmònics se sumen una sèrie de pics entre 0,5 i 2 Hz que corresponen a modes propis de vibració de les pistes.

En la figura es mostra la distribució espectral d'un senyal corresponent a un rodament en mal estat (a) i a un rodament en molt mal estat (b):

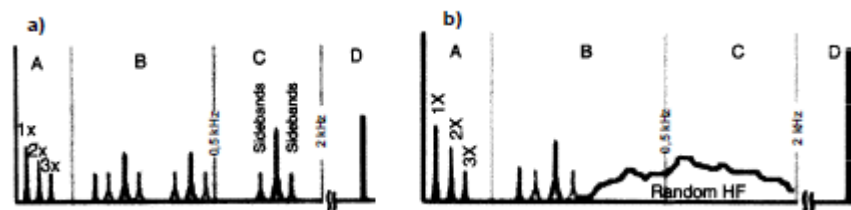


Fig. 9.1.2.2. Espectres de vibració en desalineaments

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

9.1.3. Defectes en engranatges

En el cas dels engranatges hi ha diferents tipus de vibracions que poden ser generades per diferents circumstàncies de defectuositat. En cas d'excentricitat d'una roda es genera un pic a la freqüència de gir d'aquella roda. En el cas d'un desalineament entre ambdues es formen pics a les freqüències que doblen les freqüències de gir de les rodes respectives. Addicionalment existeix una vibració a freqüència d'engrenament ($f_z = f_{01} \cdot z_1 = f_{02} \cdot z_2$) que no necessàriament va associada a un defecte, ja que la genera el mateix funcionament. No obstant això, en el cas d'un desgast excessiu, un picat superficial o alguna dent trencada aquesta última vibració s'accentua i amb això es seus harmònics.

La superposició d'aquests efectes dona lloc a l'aparició de "bandes laterals":

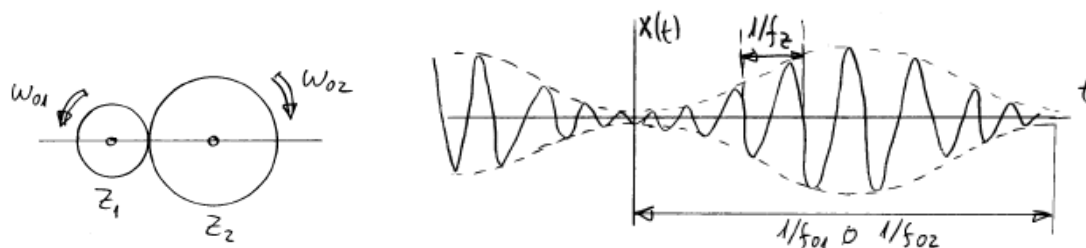
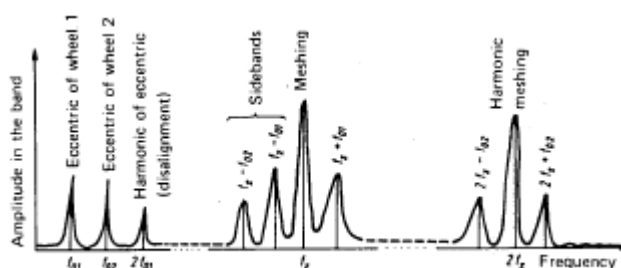


Fig. 9.1.3.1. Bandes laterals en les vibracions d'engrenatges

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

D'aquesta manera la disposició espectral en l'anàlisi d'engrenatges defectuosos queda de la manera següent:



9.1.4. Defectes en transmissions per corretja

Les vibracions provocades per defectes en les corretjes tenen una freqüència que correspon a la freqüència de circulació de la corretja:

$f_c = \frac{\omega_{01} \cdot d_1}{2L}$; on L és la longitud de la corretja i ω_{01} i d_1 la velocitat angular i diàmetre, respectivament, de la politja petita.

A continuació es mostra l'espectre de la vibració generada per la circulació de la corretja:

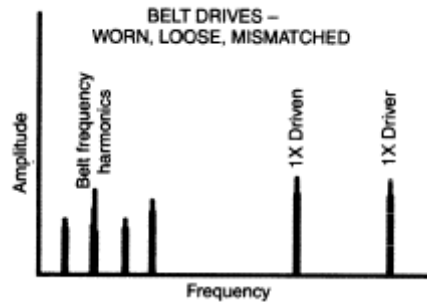


Fig. 9.1.4.1. Espectres de vibració per circulació de la corretja

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

No obstant això, en les transmissions per corretja també hi poden aparèixer vibracions amb la freqüència de gir d'una o d'ambdues politges. Això passa quan una de les politges o les dues tenen algun defecte com poden ser els desalineaments o les excentricitats.

En la figura es mostra l'espectre de la vibració generada per (a) un desalineament de les politges i (b) una excentricitat d'una de les politges:

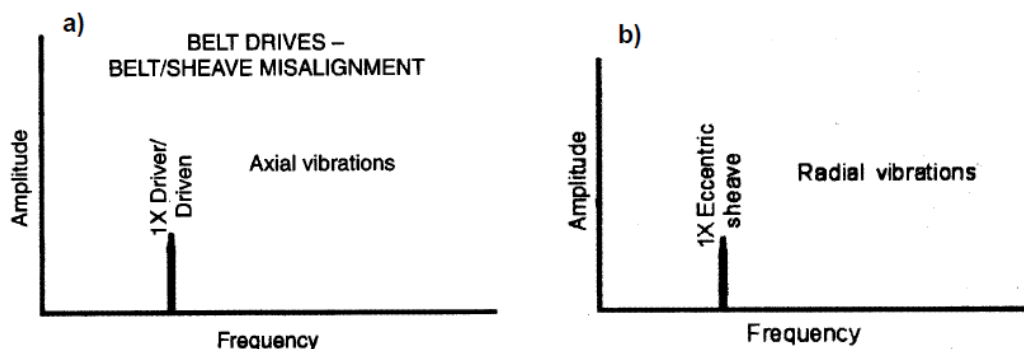
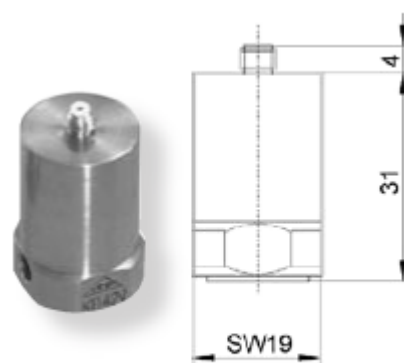


Fig. 9.1.4.2. Espectres de vibració per defectes en les politges

Font: DEM-ESTSEIB Apunts de l'assignatura Assaig de màquines

9.2. Ubicació i muntatge dels acceleròmetres

Els acceleròmetres dels quals es disposa al laboratori de pràctiques són de la marca MMF del model KD42V.



KD42V

Fig. 9.2.1. Acceleròmetre MMF KD42V

Per a obtenir-ne les dades es connecten a un ordinador mitjançant un sistema d'adquisició de dades de la marca DEWETRON en concret el model DEWE-43. Aquest dona una sortida digital que es pot registrar i analitzar des d'un ordinador amb el programari (*software*) específic DeWesoft - Data Acquisition Software instal·lat.

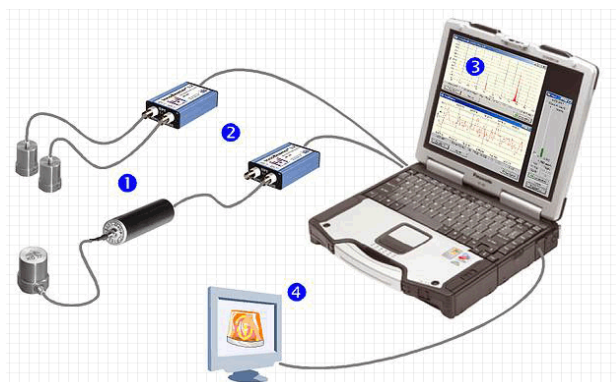


Fig. 9.2.2. Esquema acceleròmetre-conversor-ordinador

9.2.1. Instal·lació dels acceleròmetres

Els acceleròmetres disposen d'un suport magnètic a la part inferior per a fixar-los sobre superfícies metàl·liques. D'aquesta manera, i atès que la majoria de components del banc són d'alumini, s'instal·len en els punts on van els acceleròmetres quadrats de xapa de metall magnètic fixats amb cola de contacte.

Els punts per a instal·lar els acceleròmetres es defineixen tenint en compte la proximitat al punt en el qual es genera la vibració:

- Per als desalineaments s'ubicarà en el centre de la cara horitzontal superior del suport del rodament.
- En el cas de la fallada en rodaments se situarà en el centre de la cara horitzontal superior del suport del rodament malmès.
- En el cas de la fallada en transmissions per corretja se situarà en la cara superior de la paret que suporta la politja petita.
- En el cas de la caixa d'engranatges se situarà sobre la tapa just a sobre de l'entrada de l'eix primari.

10. Pressupost del projecte

El pressupost total del projecte es pot desglossar en diferents tipus de costos.

Per una banda hi ha tots els costos associats purament a la producció del banc com són el cost d'adquisició dels elements comprats, el cost de la matèria primera que s'ha d'utilitzar i el cost de fabricació del banc. Aquests costos estan desglossats i detallats en l'*Annex B*.

I per altra banda hi ha els costos de disseny i enginyeria, i un cost de muntatge. Aquests últims costos tenen a veure amb la dedicació horària que hagin hagut d'invertir els enginyers i l'instal·lador.

Per al cost d'enginyeria es contempla la dedicació d'un enginyer novell que es cotitza a 10 € l'hora i la supervisió i direcció per part d'un enginyer experimentat que es cotitza a 30 € l'hora. En el cas de l'enginyer novell, aquest dedica 350 h a la concepció i el disseny del banc, així com 100 h en càlculs, redisseny i documentació. L'enginyer experimentat en diverses sessions d'orientació, planificació del treball i revisió hi dedica 60 h. Per tant, la despesa associada a l'enginyeria és de 4.500 € d'enginyer novell i 1.800 € de l'enginyer experimentat, que sumen un total de 6.300 €.

Per al cost de muntatge es contempla que amb la guia de muntatge un operari la pot muntar i instal·lar en una jornada laboral de 8 h. Valorant el temps de l'operari en 15 €/h el cost total de muntatge és de 120 €.

D'aquesta manera la totalitat del cost del projecte és el següent:

Cost d'enginyeria	6.300,00 €
Cost d'elements de compra	377,59 €
Cost de matèries primeres	128,67 €
Cost de fabricació	1.110,90 €
Cost de muntatge	120,00 €
Total	8.037,56 €

11. Estudi del cicle de vida i impacte ambiental

Tenint en compte que aquest projecte tracta de dur a terme el disseny d'un prototip, no un banc de producció seriada, l'impacte ambiental que pugui generar és limitat. No obstant això, cal tenir en compte certs aspectes quant al funcionament i el cicle de vida.

11.1. Fase de disseny

En el transcurs del procés de disseny del projecte s'ha tingut com a prioritat reutilitzar els elements que ho permetessin del banc anterior.

Adicionalment a aquesta consideració, s'ha canviat la forma de lubricació del banc per sistemes de rodaments tancats i pasta lubricant a la caixa d'engranatges en lloc d'olis que s'hagin de canviar regularment i donin lloc a residus.

Finalment però no menys important, la modularitat del banc n'allarga la vida en conjunt, ja que en cas que es faci malbé només caldrà canviar aquell mòdul malmès i, si es necessita un nou mòdul, el banc no quedarà obsolet, simplement s'hi haurà d'afegir un mòdul addicional.

11.2. Fabricació

Les peces fabricades expressament són d'alumini o d'acer i s'han fabricat per arrencament de ferritja i tall làser o tall d'aigua. El taller al qual s'encarreguen aquestes peces garanteix un control dels olis i altres substàncies utilitzades en aquest procés, així com el tractament adequat dels residus segons indica la normativa del Catàleg Europeu de Residus.

Els tallers als quals s'encarreguen les peces són tallers de proximitat geogràfica la qual cosa evita l'impacte mediambiental generat pel transport de llarga distància.

11.3. Funcionament

El funcionament del banc és molt ocasional i ho fa connectat a la xarxa elèctrica convencional consumint un màxim de 370 W, per tant no té un impacte ambiental important degut a emissions o residus generats pel seu funcionament. No es recomana, de forma general, l'ús d'altres fonts d'energia més contaminants com pot ser un grup electrogen.

A l'hora de fer el manteniment cal tenir en compte les directives vigents de tractament de residus.

11.4.Final del cicle de vida

No calen consideracions especials pel que fa a la fi del cicle de vida de la màquina. De la mateixa manera que amb el banc actual, en la mesura que sigui possible s'han de reaprofitar tots els elements que ho permetin. Amb la resta de components que estiguin desgastats o per als quals no es trobi una utilitat fora del banc, cal procedir al seu reciclatge o a l'abocament controlat segons la normativa vigent.

Conclusions

Amb el disseny d'aquest banc d'assaig s'ha acomplert la totalitat dels objectius inicials del projecte. Un cop construït, el banc permetrà al Departament d'Enginyeria Mecànica de dur a terme pràctiques en el camp de la diagnosi de fallades en màquines de forma àgil, per passos i ajustada al tipus de fallades que es vulguin analitzar.

El banc dissenyat no solament és molt competitiu amb la resta d'ofertes del mercat, sinó que a més és ampliable i ajustable a les necessitats dels usuaris. S'han dissenyat un seguit de mòduls que permeten als usuaris simular desalineaments entre eixos, fallades en rodaments, fallades en transmissions per politges i fallades en transmissions per engranatge. La modularitat d'aquest banc facilita la fidelitat i l'aïllament dels defectes que es volen observar. També permet ampliar aquest catàleg de defectes i, en cas de mal funcionament d'algun element, és possible la reparació o reposició d'aquest sense tenir efectes en el conjunt del banc.

Aquest seguit de millores s'han aconseguit sense comprometre'n la usabilitat, que en tot cas millora, i sense utilitzar elements de preus molt elevats, sinó mitjançant solucions creatives de disseny que doten l'estudiant d'enginyeria d'una eina per al coneixement de solucions en el camp de l'enginyeria mecànica.

Finalment, s'ha aconseguit el reaprofitament dels recursos existents generant així un estalvi econòmic i una reducció del possible impacte mediambiental que es pugui generar de tot el cicle de vida d'un projecte amb aquestes característiques.

Agraïments

Aquest projecte no hauria estat possible sense l'ajuda i el suport del professor Jordi Martínez, director del projecte, des de molt abans fins i tot del seu inici. El seu suport, ajuda i comprensió de les circumstàncies personals han estat clau per a la bona realització d'aquest treball.

Vull expressar el meu agraïment també a la meva família i, en especial, als meus pares que són els que m'han donat suport, com en totes les fases de la meva vida, i han fet possible que arribés fins a l'entrega d'un projecte de final de carrera.

En un altre nivell, vull donar les gràcies a tots els professors i companys que he tingut a l'ETSEIB, dels quals he après molt i de qui m'emporto experiències des del punt de vista tant vital com acadèmic i professional.

A tots, gràcies!

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

Chevalier A. *Guide du dessinateur industriel*, Paris: HACHETTE LIVRE 1969

DEM-ESTSEIB *Apunts de l'assignatura Assaig de màquines*, Barcelona 2005

Daniel Clos *QUADERN D3 Preprojectes*, Barcelona-ETSEIB 2013

Jordi Martínez, Joaquim M. Veciana *QUADERN CM2 RODAMENTS*, Barcelona-ETSEIB 2009

Josep Fenollosa, Jordi Martínez, Joaquim M. Veciana *QUADERN CM3 ENGRANATGES*, Barcelona-ETSEIB 2009

Jordi Martínez, Joaquim M. Veciana *QUADERN CM4 TRANSMISSIONS PER CORRETJA*, Barcelona-ETSEIB 2012

NIEMANN, G. *Tratado Teórico – Práctico de Elementos de Máquinas I*. Munich, 1981.

G.U.N.T.: [http://www.gunt.de/static/s4880_1.php?p1=&p2=&pN=] - Juliol 2016

SpectraQuest: [<http://spectraquest.com/products/simulators/machinery-fault-simulators/>] - Juliol 2016

Vibstand2 by EC-Systems: [<http://www.ec-systems.pl/en/vibstand2.html>] - Juliol 2016

STI CMCP601 Machinery Diagnostic Rotor Kit: [<http://www.stiweb.com/proddata/CMCP601-Machinery-Diagnostic-Rotor-Kit.html>] - Juliol 2016

Rodaments: [<http://www.skf.com/uy/products/bearings-units-housings/index.html>] - Juliol 2016

Tensors de la corretja: [<http://www.tracsa.com/images/imagenes/catalogos/Tensores-Automaticos-ROSTA.pdf>] - Juliol 2016

Fre: [[http://www.magneta.de/download/doku/Datenblatt-Bremse-14.512.--.12-\(22\).pdf](http://www.magneta.de/download/doku/Datenblatt-Bremse-14.512.--.12-(22).pdf)] - Juliol 2016

Motor:

[https://library.e.abb.com/public/0f7edbb341354f1aa21b850e14161cc4/Catalog_General%20performance%20IE1%20aluminum%20M1AA%20motors%20lowres_05-2015.pdf] - Juliol 2016

Potes de goma: [<http://www.paulstra-industry.com/index-en.html>] - Juliol 2016

Molles del tensor:

[<http://www.muelles-industriales.es/tienda-online/muelles-de-traccion/alambre-de-piano-gama-a-y-b>] - Juliol 2016

Corretjes i politjes: [<http://www.optibelt.com/fileadmin/content/pdf/Produkte/EN/Optibelt-TH-v-belt-drives.pdf>] - Juliol 2016

Acoblamnet flexible: [<http://www.indarbelt.es/html/productos/acoplamientos.htm#paguflex>] - Juliol 2016

Acoblament rígid: [<http://www.michaud-chailly.fr/accouplement-rigide-acier-bruni-inox-une-partie-avec-sans-rainure-clavette-a5-28/>] - Juliol 2016