

## Resum

El present Projecte Final de Carrera té com a títol "Pulper vertical de 12m<sup>3</sup> de capacitat" i el principal objectiu que persegueix és la de dissenyar aquesta màquina i donar la informació suficient per a la seva fabricació, si es donés el cas.

Un pulper és una màquina que intervé en la fabricació de paper tant si és a partir de cel·lulosa com a partir d'altre paper reciclat. El pulper és la primera d'una llarga cadena de màquines que es necessiten per a obtenir aquest paper i la seva missió és la de fer una primera barreja entre el paper reciclat i/o la cel·lulosa amb aigua al 4-5% de paper. Aquesta barreja posteriorment es millorarà i s'anirà progressivament premsant i assecant fins arribar al paper pròpiament dit.

Un pulper consta d'un recipient, que en el nostre cas tindrà un volum operatiu de 12 m<sup>3</sup> i estarà fet de xapa d'acer i d'un ròtor (amb eix vertical) que està format per diversos elements com l'hèlix, l'eix, els rodaments, la carcassa, etc. La transmissió d'aquest pulper serà per corretja i també està englobada i dissenyada en aquest projecte.

En aquest projecte s'han perseguit també altres objectius a part del de dissenyar pròpiament el pulper, ja sigui per decisió del projectista com per requeriments de la màquina en si mateixa, per tal de que tingui un funcionament idoni. S'ha intentat simplificar la màquina en tot el possible amb diverses accions com la de treure la lubricació posant rodaments autolubricats per tal de facilitar el muntatge i desmuntatge del pulper per a la seva neteja. També s'ha perseguit el proporcionar una superfície el més llisa possible a l'interior del recipient del pulper per evitar problemes amb l'adherència de fibres de paper als diferents òrgans de la màquina i així, una erosió excessivament ràpida. S'han aïllat les zones que contenen líquid per tal de que no hi apareguin fuites que facin perdre rendiment a la màquina i desgastin els diferents elements del pulper. Com a últim objectiu important també citar que s'ha perseguit acabar amb el disseny de la màquina amb un pressupost assumible i competitiu en la mesura de les possibilitats del projectista.





# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ I ANÀLISI DE MERCAT</b>	<b>5</b>
1.1. Introducció	5
1.1.1. Objectius del projecte	5
1.1.2. Abast del projecte	5
1.1.3. Elecció de la màquina	5
1.2. Anàlisi de mercat	6
<b>2. DEFINICIÓ DE LES PRESTACIONS</b>	<b>11</b>
<b>3. ALTERNATIVES CONCEPTUALS I JUSTIFICACIÓ DE LA SOLUCIÓ ESCOLLIDA</b>	<b>13</b>
<b>4. DISSENY DE LA MÀQUINA</b>	<b>15</b>
4.1. Solucions constructives globals	15
4.2. Estudi del ròtor	16
4.2.1. Forces que rep el ròtor	16
4.2.2. L'eix	17
4.2.3. L'hèlix	17
4.2.4. Els rodaments	18
4.3. Estudi del dipòsit	19
4.3.1. El dipòsit	19
4.3.2. La placa colador	21
4.4. Estudi de l'accionament	21
4.5. Estudi de la transmissió	22
4.5.1. Consideracions prèvies i tria de la transmissió	22
4.5.2. Les politges	23
4.5.3. Tensat previ	24
4.6. Components a comprar	24
4.7. Components a fabricar	27
4.8. Procés de muntatge	29
4.9. Lubricació	30
<b>5. INSTAL·LACIÓ</b>	<b>33</b>



<b>6. MANTENIMENT</b>	<b>35</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>37</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>41</b>
Referències bibliogràfiques .....	41
Bibliografia complementària .....	44



# 1. Introducció i anàlisi de mercat

## 1.1. Introducció

### 1.1.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és el de dissenyar un pulper vertical de la capacitat esmentada (12 m<sup>3</sup>).

A part del que és l'objectiu principal d'aquest projecte i englobats dins ell, hi ha altres objectius secundaris però per altra banda també importants com són la simplificació de la màquina, el crear una superfície suficientment llisa a l'interior en contacte amb les fibres de cel·lulosa, aïllar les zones que han de contenir un fluid per evitar fuites i acabar amb un pressupost raonable i assumible per a aquesta màquina.

### 1.1.2. Abast del projecte

Aquest projecte tindrà el seu principal abast a la indústria paperera ja que un pulper d'aquest estil només té aplicació en aquest sector i més concretament a l'inici de la cadena d'obtenció del paper ja sigui per reciclatge d'altre paper, per fabricació d'aquest partint de la seva matèria prima, la cel·lulosa, o per una combinació d'ambdós mètodes.

Pel que fa al projecte en si mateix aquest inclourà, a més dels plànols necessaris per a la comprensió de la màquina i de totes les seves parts, la definició de les prestacions del pulper, els càlculs dels seus principals elements així com dels més crítics; l'especificació i explicació de cada element tant si aquest s'ha de comprar com si és de fabricació específica per aquest disseny de pulper; el procés de muntatge, lubricació, instal·lació i manteniment que hi són adients; i per acabar, un estudi econòmic del projecte i l'especificació d'un pressupost.

### 1.1.3. Elecció de la màquina

Lògicament la primera decisió presa una vegada se sap que es vol dissenyar un pulper és si aquest serà horitzontal o bé vertical. L'elecció de fer la variant vertical de la màquina atén a raons estètiques i també a que aquesta és menys comuna que la horitzontal, la qual cosa el projectista troba més motivant que no pas triar una opció força més habitual.

Una altra decisió és la d'optar per un pulper que treballi en continu i la raó pertinent és que d'aquesta manera la màquina dona un rendiment molt superior pel que fa a quantitat de pasta de paper processada respecte de l'energia que es consumeix per a mantenir el pulper



en funcionament. Igualment el disseny de la màquina no varia excessivament per la presa d'aquesta decisió ja que simplement s'ha de preveure un sistema d'extracció en continu com un dipòsit amb una tovera per exemple.

## 1.2. Anàlisi de mercat

Una de les primeres decisions que cal prendre a l'hora de començar amb el disseny d'un pulper és la d'escollir-ne un volum. Els volums de pulpers van des de 2 o 3 m<sup>3</sup> fins a 50 m<sup>3</sup> o, en alguns casos, fins i tot més.

També cal fixar una velocitat de rotació adient pel nostre ròtor i veure quina potència consumeix al treballar. La velocitat de gir del ròtor vindria determinada per raons hidràuliques que no pertanyen als objectius perseguits en aquest projecte i la potència que aquest consumeix per tal de vèncer la resistència que suposa el trinxar el paper i la cel·lulosa mesclats amb aigua i també per vèncer les friccions i inèrcies pròpies de la màquina en si s'haurien de determinar a un laboratori si és que no venen directament donades per l'experiència dels fabricants mateixos.

Per aquestes raons, es fa ara un breu estudi de mercat amb l'objectiu de determinar aquests tres paràmetres bàsics en el disseny del nostre pulper.

La taula següent ha estat confeccionada a partir d'algunes de les dades trobades a diferents pàgines web (especificades a l'apartat *Bibliografia*) i agrupa pulpers de diferents fabricants. Alguns d'aquests fabricants son *Allimand*, *Beloit*, *Black Clawson*, *Escher Wyss*, *Grubbens*, *Knoevenagel*, *Lamort*, *PetrozavodskMash* o *Voith*. També s'ha de remarcar que un dels fabricants més consultats és *Cellwood-Grubbens* ja que és un dels que tenen més desenvolupat els pulpers com a màquina i aconsegueixen uns temps de cicle de treball menors amb unes potències consumides també menors.

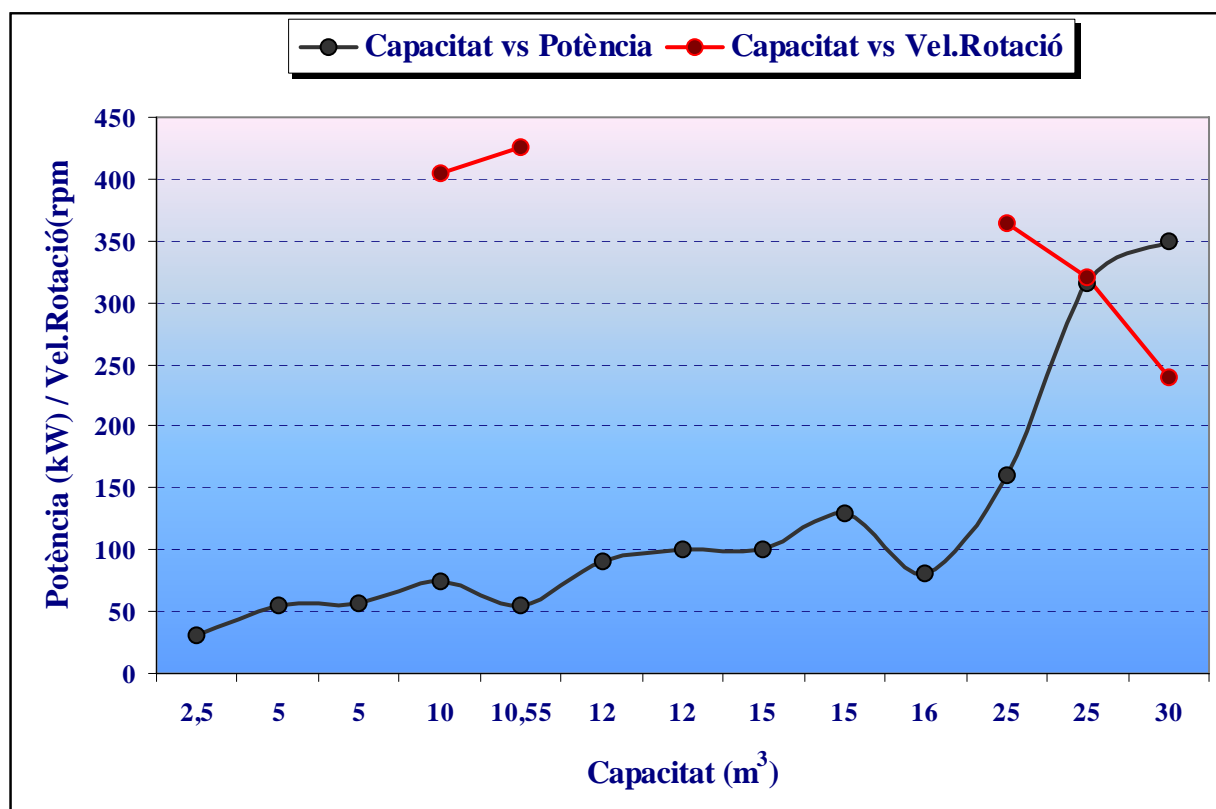


Verticals			Horizontals		
Capacitat	Motor	Ròtor	Capacitat	Motor	Ròtor
2.5 m <sup>3</sup>	30 kW		10 m <sup>3</sup>	75 kW / 1000 rpm	62 kW / 405 rpm
5 m <sup>3</sup>	55 kW		10.55 m <sup>3</sup>	55 kW	425 rpm
5 m <sup>3</sup>	56 kW / 1175 rpm		25 m <sup>3</sup>	160 kW / 980 rpm	365 rpm
12 m <sup>3</sup>	90 kW				
12 m <sup>3</sup>	90-110 kW				
15 m <sup>3</sup>	100 kW / 980 rpm				
15 m <sup>3</sup>	130 kW				
16 m <sup>3</sup>	81 kW				
25 m <sup>3</sup>	315 kW / 1200 rpm	320 rpm			
30 m <sup>3</sup>	350 kW / 1200 rpm	240 rpm			

**Fig. 1.1** Taula de capacitats, potències i velocitats de rotació de diferents pulpers del mercat

Tot seguit es grafiquen les dades de la taula anterior (*Fig. 1.1*) per tal de poder analitzar-les millor i decidir els valors que prendré per al meu projecte. En una de les gràfiques està representada la capacitat del pulper respecte de la potència del motor que es requereix i a l'altra, la capacitat respecte de la velocitat de rotació del ròtor.





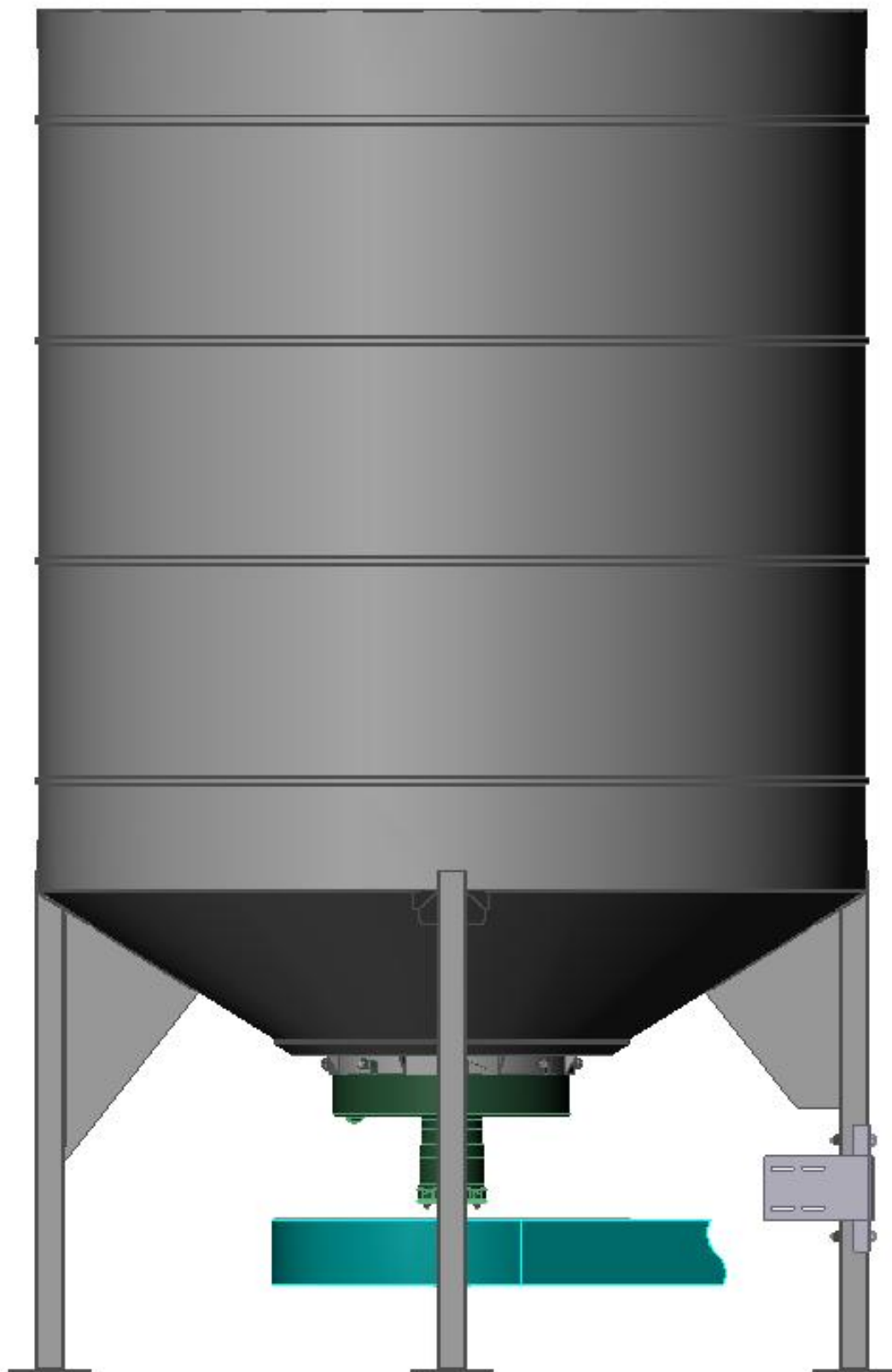
**Fig. 1.2** Gràfiques de les dades de la Fig.1.1

Analitzant aquestes gràfiques i tenint en compte també que depenent del disseny hidràulic i hidrodinàmic de la hèlix es poden aconseguir potències consumides menors, els valors que s'han decidit prendre per a aquest pulper són:

- Capacitat del pulper de **12 m³**
- Velocitat del ròtor de **400 rpm**
- Potència consumida de **75 kW** (potència del motor d'uns **90kW**, que encara hem d'escollir i estudiar)









## 2. Definició de les prestacions

Les prestacions del pulper que dissenyem seran les següents:

Disseny:	<b>Vertical</b>
Material utilitzat:	<b>Paper tipus oficina (OCC Craft waste)</b>
Densitat bàsica:	<b>115-150g/m<sup>2</sup></b>
Capacitat:	<b>80t / 22h</b>
Consistència material entrada:	<b>93%</b>
Consistència material sortida:	<b>4-5%</b>
Consistència material interior:	<b>5%</b>
Funcionament:	<b>Continu</b>
Diàmetre pulper:	<b>Ø = 2600mm</b>
Alçada pulper:	<b>h = 4264mm</b>
Volum pulper:	<b>16m<sup>3</sup></b>
Volum operatiu:	<b>12m<sup>3</sup></b>
Velocitat ròtor:	<b>400rpm</b>
Motor necessari:	<b>90kW / 1000rpm → MCRF 28 (315M) Fabricant ASEA-CES</b>
Potència consumida:	<b>75kW</b>
Diàmetre ròtor:	<b>650mm</b>
Transmissió:	<b>Corretja plana → LL40P Sèrie Extremultus Fabricant Siegling</b>





### 3. Alternatives conceptuals i justificació de la solució escollida

Les dues primeres alternatives conceptuals que s'han de justificar són la del disseny de l'hèlix del ròtor i la del disseny, especialment interior, del que seria el dipòsit del pulper on es du a terme el pulpejat. Aquests poden tenir dissenys molt variats depenent del fabricant, especialment pel que fa a l'hèlix. Aquests dissenys venen donats, a part de per l'experiència del propi fabricant, per un estudi hidràulic i hidrodinàmic exhaustiu per a intentar conèixer el comportament de la pasta de paper dins el pulper i aconseguir que aquesta tingui una circulació òptima dins d'ell; també per a que la hèlix trinxí el paper i en separi les fibres de la millor manera possible. Degut a que el projectista no disposa dels laboratoris adients per a fer aquests estudis i que, per altra part, això s'allunya dels objectius força més mecànics del projecte, el disseny d'aquests dos elements, tot i estar fets per l'autor del projecte, ha estat fortament influenciat per la observació dels models del fabricant *Cellwood-Grubbens*.

Una altra alternativa presa en el projecte és la de fer el ròtor i especialment la seva carcassa d'unes dimensions el més petites possibles (encara que suficients). Aquesta decisió ve determinada per la raó de que si les dimensions del ròtor son petites aquest també serà més manejable, més fàcilment instal·lable i lògicament estalviarem material i així costos en la fabricació del pulper. Malauradament aquest criteri no s'ha pogut seguir en el disseny de la resta de la màquina perquè aquesta ha de tenir un volum operatiu donat (12 m<sup>3</sup>). Integrat en la carcassa del ròtor també s'ha dissenyat la safata que serveix per a recollir la pasta de paper ja pulpejada perquè així també obtenim uns resultats més compactes. La base de l'esmentada safata s'ha fet inclinada cap a l'orifici de sortida (on ha d'anar acoblada una bomba d'extracció) per un millor buidat d'aquesta.

També s'ha optat per utilitzar una placa colador o "strainer plate" per a la tria de quina pasta ja està prou pulpejada (processada) i quina no. Aquesta alternativa s'ha escollit perquè és la més compatible amb un pulper de treball continu com el nostre. L'explicació de la forma i funcionament d'aquesta placa es farà al seu apartat específic, el **4.3.2**.

Les decisions de caire més constructiu venen justificades a l'apartat 4.1 i d'altres com per exemple el perquè d'utilitzar corretja plana, el seu sistema de tensat o l'elecció d'un motor de sis pols estan justificades als seus apartats específics.

Cal però no perdre de perspectiva que el disseny del pulper d'aquest projecte està pensat per una fabricació petita d'entre 2 i 5 unitats l'any.





## 4. Disseny de la màquina

El pulper dissenyat en aquest projecte té 134 peces de les quals 56 són diferents entre elles, en aquest apartat s'intentarà respondre el com i el perquè d'aquestes peces, referint-se a la seva fabricació (o compra, si és el cas), al seu muntatge i la seva funció dins la màquina.

### 4.1. Solucions constructives globals

Una de les primeres coses que es pot veure als plànols es que només hi ha un cargol dins el dipòsit i a més té un disseny especial per tal de suavitzar-ne el contorn, la resta de cargols es troben a altres parts del pulper. També s'ha intentat que la superfície interior del dipòsit tingui una forma suavitzada i sense cap sortint. La raó d'aquestes dues decisions és que les fibres contingudes a la pasta que es pulpeja són molt adherents i s'enganyarien a qualsevol objecte que sobresortís de la superfície fent-lo malbé ràpidament. També per aquesta raó el ròtor del pulper ha de ser desmuntable ja que la hèlix haurà de ser netejada i polida forces vegades al llarg de la vida del pulper.

També dir que per descomptat totes les parts i peces de la màquina que estiguin en contacte amb la dissolució aigua-paper estaran fabricades en acer inoxidable F-3533 perquè no pateixin la forta corrosió que aquest líquid (àcid) les ocasionaria ja que porta entre d'altres substàncies sodi, calci, hipoclorits, àcid fosfòric, sulfits i àcids sulfurosos. Totes les altres peces estan fabricades en F-3504 ja que els pulpers treballen en ambients molt humits. També cal diferenciar el material F-3309 de l'hèlix i de la placa colador (perquè té millors propietats de resistència mecànica i a la corrosió) com veurem després.

Pel que fa a la carcassa del ròtor (agrupada en aquest apartat encara que es podria dir que forma part del propi ròtor) està feta de F-3533 ja que aquest és un material resistent a la corrosió i a l'atac àcid que produeix la pasta a pulpejar i té un gruix de paret de 8 mm, que és un gruix adient per afavorir la colabilitat de l'acer. A la carcassa lògicament, s'ha projectat uns sobregruixos a zones que posteriorment han de ser mecanitzades per tal d'obtenir un gruix suficient de paret després de practicar-hi la operació. La carcassa sortirà d'una peça directament del motlle ja que, degut a la seva geometria de revolució no té contradempulla si s'efectua el *partage* del motlle en un pla diametral de la peça. El disseny de la carcassa està fet per a un muntatge més fàcil ja que el ròtor, sense l'hèlix, es pot muntar directament fent-lo entrar per la part inferior de la carcassa i collant després la tapa inferior. Aquesta tapa està feta també per fundició. La tapa es colla mitjançant quatre espàrrecs ja que es requereix com s'ha explicat abans de muntatges i desmuntatges freqüents i en el cas de que s'utilitzessin cargols els allotjaments es farien malbé. A la part superior de la carcassa i entre aquesta i l'eix hi ha disposat un retenidor labial per tal que el líquid no es filtri a dins el ròtor. Pel mateix



motiu als costats de la carcassa a la seva part superior, entre aquesta i el dipòsit, s'ha projectat el mecanitzat un allotjament on s'hi col·locarà una junta tòrica. Per a finalitzar amb la pell del ròtor esmentar que també a la seva part superior hi ha mecanitzat l'allotjament de la placa colador, on no calen mecanismes de retenció ni d'estanquitat ja que aquesta, en part la proporciona el propi pes de la placa i per altra banda no son necessaris donat que a sota d'aquesta també hi haurà líquid. La carcassa està feta de F-3533 i la seva tapa de F-3504.

La unió del ròtor i el dipòsit es farà mitjançant 8 cargols que collaran la carcassa del ròtor a un suport cilíndric fet al dipòsit especialment per a aquesta tasca.

## 4.2. Estudi del ròtor

Prèviament al disseny del ròtor s'han de calcular les forces que actuaran sobre ell i que permetran dimensionar elements com per exemple els rodaments.

### 4.2.1. Forces que rep el ròtor

Primer es calcularà el parell resistent que ha de vèncer el ròtor partint de la potència consumida pel motor, coneguda des de l'apartat 1.2 d'anàlisi de mercat, de 75 kW. Considerant un rendiment de la transmissió per corretja del 95%, es té que la potència consumida pel ròtor es realment 71.25 kW (en front dels 75 kW anteriors) i sabent que aquest gira a 400 rpm que són 41.89 rad/s s'obté un parell resistent de 1700 Nm segons la fórmula següent, Eq. 4.1:

$$P = \Gamma \cdot \omega \quad (\text{Eq. 4.1})$$

$$\Gamma = F \cdot d \quad (\text{Eq. 4.2})$$

un parell de forces de 1620 N cadascuna que actuen a la perifèria de la hèlix separades diametralment l'una de l'altra.

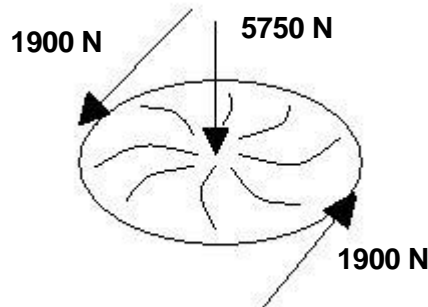
Per altra banda està decidit que el dipòsit contingui 12 m<sup>3</sup> de pasta de paper diluïda. Aquesta pasta es pot considerar que té una dimensió com la de l'aigua: 1000 kg/m<sup>3</sup> i per tant el pes del contingut del dipòsit serà de 12000 kg o el que és el mateix 120000 N. Ara es calcula la fracció o tant per u de l'àrea de la base del dipòsit que ocupa la hèlix que és 0.041025 i s'utilitza aquesta xifra per a calcular el pes que haurà de suportar l'hèlix degut al





contingut del dipòsit. L'hèlix i per tant el ròtor, haurà de suportar aproximadament 5000 N força.

Majorant aquestes forces obtingudes per un coeficient de seguretat de 1.15, ja que les sotragades i irregularitats que podrà rebre l'hèlix no són importants i arrodonint-les, obtenim els valors finals de 1900 N aplicats tangencialment a cada costat i 5750 N aplicats al centre de l'hèlix verticalment i en sentit descendent. És el que mostra la figura següent, 4.1:



**Fig. 4.1** Esquema de les forces que rep el ròtor

Una vegada calculades les forces que actuen sobre el ròtor del nostre pulper resten tres punts importants per explicar: el material i la forma de l'eix; la fixació de la hèlix a l'eix i la transmissió de moviment d'un a l'altra; i la fixació dels rodaments i el seu dimensionat.

#### 4.2.2. L'eix

De l'eix només explicar que està fet amb acer de cementació 16MnCr5 per tal que tingui una duresa superficial acceptable i que la seva forma pel que fa als diferents diàmetres que presenta ve justificada per la fixació de la politja, els rodaments i l'hèlix.

#### 4.2.3. L'hèlix

L'hèlix del ròtor és un dels elements principals de la màquina. Està fabricada per fosa i el seu material és acer inoxidable F-3309 (el motiu està explicat de manera àmplia a l'*annex 3*). Ja s'ha explicat a l'apartat 3 del projecte els aspectes hidràulics de la seva forma i els criteris seguits a l'hora del seu disseny però talment cal esmentar que l'hèlix té mecanitzat un forat cilíndric (de dos diàmetres diferents) al seu centre per tal que l'eix hi passi pel seu interior i aquesta se li pugui fixar mitjançant un cargol (de fabricació pròpia) al seu extrem. A més de la corresponent junta tòrica per a que el líquid no es filtri a l'interior del forat, aquest cargol s'ajuda d'un disc metàl·lic o separador que permet augmentar la superfície de contacte entre el cap del cargol i l'hèlix perquè la subjecció sigui efectiva. Aquesta fixació utilitza una vorlandera del tipus Belleville com a element de blocatge per a que el cargol no s'afluïxi i es descolli per l'acció del gir del ròtor. La raó d'utilitzar aquest tipus de vorlandera és que deixa



les peces molt menys marcades que altres sistemes i com un pulper requereix de forces muntatges i desmuntatges, doncs aquest és una bona manera de no fer malbé les parts en contacte. El cargol del sistema de fixació explicat és d'acer inoxidable F-3309 (igual que el separador) i té una superfície d'aspecte més o menys semiesfèric que evita l'anteriorment esmentada acció de les fibres del líquid a pulpejar. La transmissió de moviment de l'eix a la hèlix està feta mitjançant una xaveta a la part inferior del forat que és a la seva vegada la que no presenta joc amb l'eix. Aquesta xaveta és del tipus A (dos costats arrodonits), està fabricada amb acer F-3535 i les seves mesures són 70x10x10 mm.

#### 4.2.4. Els rodaments

Dos rodaments subjecten el ròtor a la seva carcassa la qual, a la seva vegada, va collada al dipòsit. Pròpiament només el rodament inferior suporta el ròtor mentre que el superior fa una funció purament de guiatge. El rodament superior es tracta d'un *SKF 6019*, rodament rígid de boles, i l'inferior d'un *SKF 3318*, rodament de dos fileres de boles amb contacte angular (altrament dit en tàndem). Les especificacions dels càlculs d'ambdós rodaments venen plasmades als annexes (*annex 1, apartat 1.1*) de la mateixa manera que hi ha una fotocòpia de la pàgina dels catàlegs de cadascun dels rodaments escollits (*annex 4*).

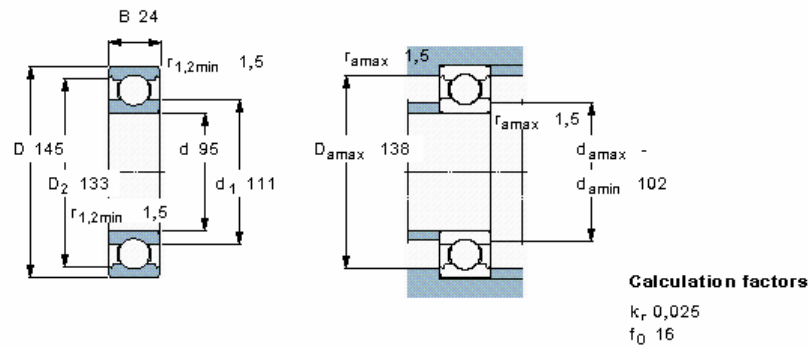
Les vides de cadascun dels rodaments són força diferents, una mica més de 16 anys pel rígid de boles i 44 anys i 9 mesos pel de dos fileres (el que es pot considerar pràcticament com a vida infinita), i això és perquè es busca una facilitat en la fabricació i sobretot en el muntatge per davant d'evitar el recanvi dels rodaments. Amb els rodaments citats anteriorment s'aconsegueix que el muntatge del conjunt eix-rodaments dins la carcassa es pugui dur a terme en una carcassa d'una peça i no calgui que aquesta estigui dividida verticalment en dues parts, el que suposaria complicar força més el muntatge del ròtor sobretot pel que fa la impermeabilitat de la seva part superior. Amb una carcassa en dos parts caldria una junta entre les dues meitats a més d'un sistema de subjecció d'una meitat vers l'altra i un sistema de centratge. Aquests dos rodaments permeten aquest muntatge, que s'explica millor a l'apartat específic (apartat 4.8), degut a que el rodament superior és de dimensions considerablement inferiors que el de sota i per això pot introduir-se sense problemes dins els seus allotjaments fins arribar al seu propi.

També explicar que la fixació de cada rodament es du a terme de manera diferent. Mentre que el rodament superior es fixa a l'eix simplement amb un anell elàstic i és lliure respecte de la carcassa, el rodament inferior va fixat a l'eix amb una protuberància del propi eix a un costat i una femella entallada amb la seva corresponent vorlandera fre a l'altre i a la carcassa amb un graó mecanitzat en ella per una banda i la tapa inferior d'aquesta per l'altra. Així la tapa de la carcassa exerceix una doble funció a la màquina, per un costat evita l'entrada de brutícia dins el ròtor i per l'altre intervé en la fixació del rodament en tàndem. D'aquesta manera es simplifica el muntatge i s'estalvien peces i així cost al pulper. Per altra

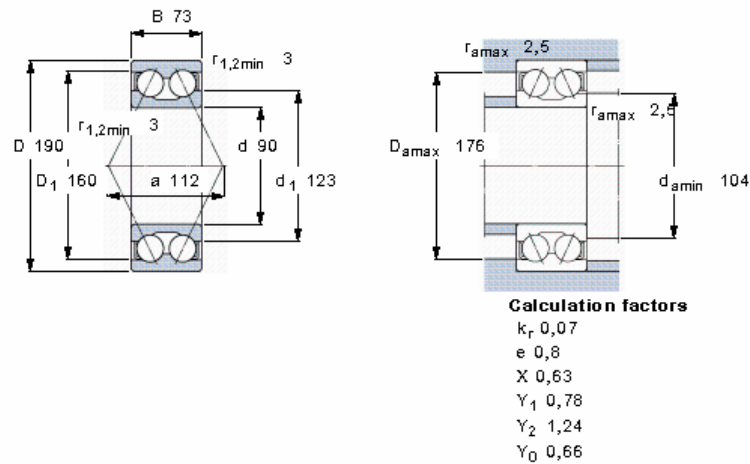


banda tampoc caldrà preveure-hi cap mecanisme de lubricació donat que els rodaments són autolubrificats.

Les figures 4.2 i 4.3 a continuació corresponen als rodaments *SKF 6019* i *SKF 3318* respectivament:



**Fig. 4.2** Esquema del rodament rígid de boles SKF 6019



**Fig. 4.3** Esquema del rodament de dos fileres de boles amb contacte angular SKF 3318

## 4.3. Estudi del dipòsit

### 4.3.1. El dipòsit

El dipòsit del pulper projectat té un volum aproximat de 16 m<sup>3</sup> i un volum de funcionament de 12 m<sup>3</sup> ja que no és segur omplir totalment el dipòsit perquè el líquid podria



vessar. Està fabricat en xapa d'acer inoxidable F-3533 i F-3504, segons si està en contacte amb el líquid o no (el motiu està explicat de manera àmplia a l'*annex 3*), de 4 mm de gruix i es podrien destacar tres parts diferents al seu cos: una superior cilíndrica, una intermitja troncocònica i una inferior en forma de quatre potes.

La part cilíndrica té una alçada de 2.76 m i un diàmetre de 2.6 m, disposa a la seva base superior d'una peça que tapa la part perifèrica de l'obertura deixant el centre obert i quatre reforços a la seva superfície lateral repartits en alçada per a donar-li rigidesa estructural i evitar-ne l'abombament. Tant els reforços com la peça superior van soldats amb soldadura per arc elèctric tipus MIG al cos del dipòsit.

La part troncocònica del dipòsit està també soldada a la part cilíndrica i té una alçada de 0.5 m (més 75 mm de l'acoblament pel ròtor) i un diàmetre inferior d'1 m. La seva part inferior està doblegada fins a la horitzontalitat i deixa una obertura circular central de 667 mm on hi va soldat l'acoblament pel ròtor. Aquest acoblament és un element cilíndric també de xapa però d'un gruix de 10 mm amb 8 forats en forma de L, practicats per a collar-hi la carcassa del ròtor (veure el procés de muntatge a l'apartat 4.8) i 8 carteles alternades amb els forats per tal de donar-li rigidesa tant per a suportar el ròtor com per no deformar-se alhora de mecanitzar la cara interior del cilindre. Aquesta part troncocònica disposa també d'un reforç estructural a tota la perifèria cilíndrica de la zona doblegada i presenta també un forat amb la seva corresponent tapa que serà necessari per a la neteja periòdica del pulper.

El que abans s'ha anomenat part inferior del dipòsit la formen les quatre potes la missió de les quals és la de subjectar-lo i assegurar-lo a terra. Aquestes potes son quatre tubs de secció quadrada de 80x80 mm i 4 mm de gruix i tenen soldada a la seva part inferior una placa també quadrada de 260x260x4 mm per a proporcionar-les una més àmplia superfície de contacte amb el sòl i que tenen practicats quatre forats de 22 mm de diàmetre per si resulta necessari collar les potes al terra o a una bancada. Les potes van soldades a la resta del dipòsit ajudant-se també d'una altra placa per a ampliar la superfície de contacte, a la zona d'unió entre la part cilíndrica i la troncocònica, per la qual cosa actuen a més a més d'element rigiditzador de la unió. Cada pota per altra banda funciona com a suport d'una cartela que arriba fins a la part troncocònica del dipòsit i està soldada a ambdues; aquest és un altre element que ajuda a resistir el pes dels 12 m<sup>3</sup> de líquid que conté el dipòsit.

Es podria destacar una altra part del dipòsit o més aviat de les potes, encara que pròpiament no forma part de cap dels dos ja que és un element perfectament diferenciat en sí mateix. Parlo de la fixació del motor que a més d'aquesta funció també desenvolupa la de proporcionar un sistema de tensat efectiu i simple per la corretja. Aquesta fixació està collada a una de les potes (no importa a quina donada la naturalesa simètrica de revolució tant del dipòsit com del ròtor) mitjançant dos cargols que subjecten una peça de secció U que encaixa a la secció quadrada de la pota. Aquesta U té soldada a sí mateixa una placa de 12



mm de gruix i una secció en L amb uns forats-guia practicats per la fixació i tensat del motor. La longitud i el funcionament d'aquestes guies està convenientment explicada a l'apartat 4.5.3 i 4.7.

### 4.3.2. La placa colador

La placa colador és un element bàsic a aquest pulper ja que serà el que “decideixi” si la pasta de paper està suficientment pulpejada i processada com per a passar a la safata de recollida i així sortir del pulper en direcció al següent pas de la cadena d'elaboració del paper. Aquesta tria es du a terme per mitjà dels forats de la placa, que tenen la dimensió adient (10 mm de diàmetre) per a deixar passar només aquella porció de pasta que tingui les fibres suficientment curtes i per tant hagi estat suficientment elaborada. El doble diàmetre dels forats, que comencen amb un diàmetre major que l'indicat (15 mm) és degut a que s'ha observat que aquesta morfologia evita l'obstrucció dels mateixos.

La placa colador té un gruix de 8 mm i és circular. Als seus extrems hi ha un graó per tal de que es pugui subjectar i alhora centrar al forat de la carcassa practicat amb aquest fi. Així, pel costat superior la placa té un diàmetre de 685 mm i per l'inferior, de 680. Aquest graó també està fet al forat interior de la placa que és perquè hi passi l'eix del ròtor que arribarà fins l'hèlix i també el retenidor i la part de carcassa que l'envolta.

Tota les cares de la placa estan polides fins a rugositat N5 ja que aquesta peça, en funcionament, estarà permanentment en contacte amb la pasta i per tant així s'intentarà evitar en la mesura del possible la seva erosió.

Entre la placa colador i la carcassa no hi ha previst cap sistema d'estanquitat com ja està explicat al final de l'apartat 4.1.

## 4.4. Estudi de l'accionament

A l'anàlisi de mercat (apartat 1.2) s'havia resolt després de l'estudi corresponent que el motor consumiria 75 kW de potència elèctrica així doncs es necessita utilitzar un aparell que proporcioni aquest mínim. A la pràctica s'ha escollit un motor de potència superior a la que se sap que consumirà per a no forçar-lo i d'aquesta manera allargar-ne la vida útil. Ens fixarem en la gamma de motors de sis pols (1000 rpm aproximadament) per dos motius. El primer d'aquests motius és que 1000 rpm és una velocitat de rotació raonablement a prop de les 400 rpm a les que volem arribar per a l'hèlix i que 2.5 és una relació de reducció perfectament assolible per a una transmissió per corretja com la que es vol emprar. La segona raó és que els motors més comuns són els de una, dues i tres parelles de pols i per



tant també els més econòmics i marxar a quatre o més parelles de pols seria encarir l'aparell que es vol comprar quan, per altra banda, no estaria suficientment justificat per la primera raó. Si el canvi de motor i per tant de velocitat de gir impliqués la possible eliminació de la transmissió intermitja llavors si que valdria la pena fer un estudi econòmic per a decidir la millor opció però això no és el cas que ateny a aquest projecte.

Una vegada decidit això s'escull un motor d'entre el catàleg de a casa ASEA-CES de motors de corrent altern trifàsics de ròtor en curtcircuit (pàgina del catàleg adjuntada a l'annex 4). Només es troba un candidat que és el motor de 90 kW ja que el model anterior de la gamma té precisament 75 kW i això ja s'ha dit que és massa just i el posterior en té ja 110. Així doncs el motor escollit serà:

**Fabricant: ASEA-CES / Gamma: 1000 rpm a sincronisme, 6 pols, 50 Hz / Model: MCRF 28 (315 M).**

I les seves característiques són:

**Potència: 90 kW - 125 CV / Velocitat aprox.: 980 rpm / Rendiment: 93% / Factor de potència:  $\cos\phi = 0.84$  / Intensitat nominal (a 380 V): 175 A /  $I_{arr} / I_n = 6.5$  / Parell nominal: 877 Nm /  $M_{arr} / M_n = 2.5$  /  $M_{màx} / M_n = 2.3$  / Inèrcia del motor: 5 kgm<sup>2</sup> / Pes: 890 kg / Nº catàleg: AC 642 021.**

Als annexes es presenten uns breus càlculs de comprovació de la velocitat del motor per veure que aquesta serà la desitjada (annex 1, apartat 1.2). També s'adjunta a aquest mateix annexa el càlcul del temps d'acceleració necessari per l'arrencada del motor ja que la dada de la inèrcia de la part mòbil del ròtor s'ha pogut calcular mitjançant l'eina corresponent del programa de disseny 3D SolidWorks.

## 4.5. Estudi de la transmissió

### 4.5.1. Consideracions prèvies i tria de la transmissió

La primera consideració a fer en aquest apartat és l'explicació dels motius pels quals s'ha triat la transmissió per corretges per sobre d'altres tipus de transmissions. La raó principal és que el cost d'una transmissió per corretges és inferior al d'altres com la d'engrenatges o la de cadenes i a més, el seu manteniment és més reduït i no requereix de lubricació. També té altres avantatges com que és de fàcil disposició i té un funcionament silenciosos alhora que absorbeix xocs i vibracions. S'ha pogut optar per una transmissió d'aquest estil perquè en aquesta màquina no es necessita assegurar perfectament la



velocitat del ròtor, es poden permetre petites variacions i per tant acceptar el lliscament funcional de la corretja (1-2%).

Una vegada decidida la transmissió per corretges s'utilitzen les planes perquè les seves especificacions són perfectament suficients per a les sol·licitacions a les que es veuran sotmeses al pulper i per aquesta raó trobem que no és necessari la utilització de corretges trapezials ja que complicarien innecessàriament el disseny de la màquina. A més les corretges planes permeten diàmetres de politja més petits tot i que també cal dir que la seva amplada serà major.

Una vegada explicat tot l'anterior, dir que la corretja i transmissió per les que s'ha optat, els càlculs de disseny i comprovació de la qual estan a l'*annex 1 (apartat 1.3)*, són:

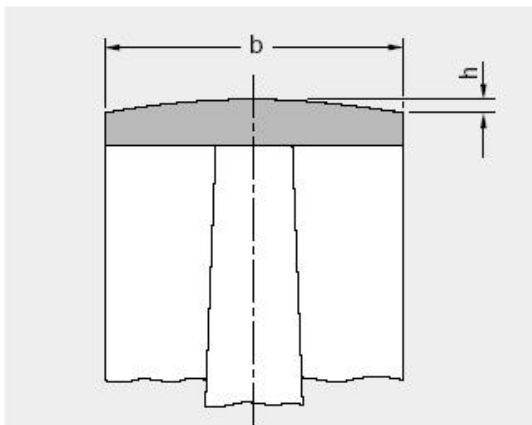
**Tipus: Corretja plana multicapa d'alt rendiment / Fabricant: Siegling / Sèrie: Extremultus / Gamma: P / Model: LL 40 P.**

I les seves característiques son:

**Capa tractora: Teixit de poliamida altament orientat / Capa adherent.: Cuir al crom / Longitud: 4470 mm / Amplada: 200 mm / Gruix: 5.9 mm / Distància entre eixos(e): 1100 mm / Politja 1:  $d_1=450$  mm,  $n_1=983.68$  rpm / Politja 2:  $d_2=1120$  mm,  $n_2=395.23$  rpm / Tensat( $\Delta e$ ): 57 mm / Vida: 1.5 anys.**

#### 4.5.2. Les politges

Com ja s'ha dit a les característiques anteriors, les politges tenen uns diàmetres de 450 i 1120 mm per la qual cosa la relació de reducció de la transmissió és, si no es considera el lliscament, de 2.489. Com ja s'ha escrit, la velocitat real a la que girarà la hèlix del present ròtor és 395.23 rpm que, encara que no són exactament les 400 revolucions per minut que teníem previstes, és un valor amb només un 1.19% de desviació respecte de l'original i aquest és un error perfectament assumible i correcte per al tipus de màquina d'aquest projecte.



Altura de abombado "h" [mm] según DIN 111

Diámetro polea polea [mm]	Ancho polea b [mm]	
	< 250	>250
	h	h
40 hasta 112	0,3	0,3
125 y 140	0,4	0,4
160 y 180	0,5	0,5
200 y 224	0,6	0,6
250 y 280	0,8	0,8
315 y 355	1,0	1,0
400 hasta 500	1,2	1,2
560 hasta 710	1,2	1,2
800 hasta 1000	1,2	1,5
1120 hasta 1400	1,5	2,0
1600 hasta 2000	1,8	2,5

a  
a  
e  
s  
e  
ó  
r  
li



el cargol també hi actua una vorlandera Belleville per a evitar que el cargol es descolli. La transmissió de moviment es fa mitjançant una xaveta del tipus A al igual que amb l'hèlix.

### 4.5.3. Tensat previ

La transmissió per corretja requereix d'un tensat previ al seu ús per tal que aquesta tingui un bon comportament i no falli per patinament general ja sigui immediatament després a la seva engegada o al cap d'un temps d'ús. Això és degut a que la corretja pateix un estirament posterior al seu muntatge i funcionament que cal contrarestar amb aquest tensat. Es disposa d'un mètode per a calcular aquest tensat de la corretja (especificat i calculat a l'*annex 1, apartat 1.3*) que dona una força de tensat previ de 3670 N. De totes maneres i seguint les indicacions del fabricant per al seu tensat procedirem simplement a allongar-la entre un 1.5 i un 3% de la seva longitud. La decisió presa és la d'allongar-la un 2.25% de la seva longitud inicial ja que és un valor que se situa a mig camí dels dos números proporcionats per *Siegling* i així, segons els càlculs especificats al mateix annexa, es conclou que el tensat consistirà en augmentar la distància entre eixos en 57 mm.

Només resta explicar el mecanisme de tensat dissenyat per aquesta transmissió. La raó de ser d'aquest mecanisme és, al igual que a la gran majoria de la màquina, la seva senzillesa, el poc espai ocupat per aquest, el seu baix cost i la facilitat de muntatge que proporciona. Es tracta del conjunt descrit a l'últim paràgraf de l'apartat 4.3. Cadascuna de les guies té un forat al seu extrem de 14 mm de diàmetre per a que hi entri sobrerament el cargol de mètrica 10 que collarà el motor al dipòsit i la guia pròpiament dita és d'amplada 12 mm. La longitud d'aquestes guies és de 59.37 mm (distància entre centres dels forats de 14 mm de diàmetre) ja que aquesta distància és la que provocarà que la distància entre eixos augmenti en 57 mm. Cal dir que a efectes de càlcul, com a la comprovació dels rodaments, la força de tensat que es considerarà que la corretja exerceix sobre les politges és l'explicada al paràgraf anterior: 3670 N.

## 4.6. Components a comprar

Com ja s'ha dit al principi d'aquest apartat 4 al present pulper hi ha 134 peces (56 diferents) de les quals s'hauran de comprar ja fetes 80 encara que només 25 d'elles seran diferents entre sí. A continuació es llista una per una les 25 peces diferents que s'han de comprar i la quantitat a adquirir de cadascuna.





Nom	Fabricant	Model	Quantitat
Motor trifàsic asíncron de 6 pols a 50 Hz	ASEA-CES	MCRF 28 (315 M)	1
Corretja plana multicapa d'alt rendiment	Siegling	Extremultus LL 40 P	1
Rodament de dos fileres de boles de contacte angular	SKF	3318	1
Rodament rígid de boles	SKF	6019	1
Retenidor tipus IE	Lidering	d95-D117-E12 mm	1
Junta tòrica	Herdal	d4-a37 mm	1
Junta tòrica	Herdal	d4-a493 mm	1
Junta tòrica	Herdal	d4-a740 mm	1
Anell elàstic	Almaproin	d95-e3-c101 mm	1
Vorlandera de blocatge tipus Belleville	Damesa	d8-D20 mm	1
Vorlandera de blocatge tipus Belleville	Damesa	d14-D29 mm	1
Vorlandera de blocatge tipus Belleville	Damesa	d16-D33 mm	1
Junta circular normalitzada	Aragom	D10-B15-C2 mm	4
Junta circular normalitzada	Aragom	D20-B26-C2 mm	8
Femella entallada	Damesa	KM 90 x 2	1
Vorlandera fre	Damesa	MB 90 x 2	1
Xaveta d'acer F-3535	OPAC, S.L.	7x7x40 mm	1



Xaveta d'acer F-3535	OPAC, S.L.	10x10x70 mm	1
Xaveta d'acer F-3535	OPAC, S.L.	15x15x100 mm	1
Espàrrec (DIN 835)	Damesa	M10 – L 35 mm	4
Nom	Fabricant	Model	Quantitat
Cargol tipus H (DIN 931)	Damesa	M8 – L 30 mm	1
Cargol tipus H (DIN 931)	Damesa	M10 – L 30 mm	8
Cargol tipus H (DIN 931)	Damesa	M10 – L 35 mm	4
Cargol tipus H (DIN 931)	Damesa	M16 – L 50 mm	1
Cargol tipus H (DIN 931)	Damesa	M20 – L 45 mm	8
Cargol tipus H (DIN 931)	Damesa	M20 – L 120 mm	2
Femella tipus H (DIN 934)	Damesa	M10	16
Femella tipus H (DIN 934)	Damesa	M20	10

**Fig. 4.5** Taula de components a comprar

Donat que els elements de la llista anterior no són parts de la màquina que s'hagin de fabricar sinó que es compraran, no estan especificats els materials dels quals el fabricant els farà. Tot i això els materials de totes les parts de les màquines, incloses les que s'han de comprar, estan especificats als llistats dels dos primers plànols que són els que corresponen als de muntatge.

Pel que fa a les normes que segueixen alguns dels components anteriors dir que el retenidor està fabricat segons la norma alemanya *DIN 3760 A* que seria l'equivalent europea *ISO 6194/1 tipus 1*; les juntes tòriques segueixen la *DIN 3771* i la *ISO 3601-1*; les juntes circulars normalitzades són de la *DIN 125-1A* o la *ISO 7089*; els espàrrecs respecten la *DIN 835*, els cargols la *DIN 931* o *ISO 4014* i les femelles la *DIN 934* o *ISO 4032*; els anells elàstics estan fets segons la norma *DIN 471* i les xavetes la *DIN 6885 A*. La resta de components també respecten les normes europees segons afirmen els propis fabricants, així el motor de *ASEA-CES* segueix les normes *IEC* que en aquest cas són com les *ISO*, els rodaments de *SKF*, les *ISO* i la corretja de *Siegling*, les *ISO* i les *DIN*.



## 4.7. Components a fabricar

Els components que seran de fabricació específica a la màquina són 53 dels 134 totals. D'aquestes 53 peces 31 són diferents entre elles. S'entén per peces de fabricació específica aquelles que, tant si estan fabricades pels propis constructors del pulper com encarregades a una empresa externa, estiguin dissenyades i confeccionades especialment per a aquest projecte i que per un altre doncs puguin canviar de grandària, de forma o inclús que no calguin.

Tots aquests elements de fabricació específica estan ja explicats cadascun a l'apartat que li correspon per la qual cosa ara simplement es nomenaran tot apuntant l'apartat on se'n pot trobar la descripció i es citaran el seu procés de fabricació i material.

El primer element a nomenar i un dels més importants és la carcassa del ròtor. Aquesta està fabricada per fundició, tota d'una peça i amb emmotllament a mà donat a que no s'hauran de fer masses peces iguals. Està feta de F-3533 com ja s'ha explicat, entre d'altres coses, a l'apartat 4.1.

L'eix del ròtor està fet d'acer de cementació del tipus F1516 (16MnCr5) i fabricat per forja, encara que posteriorment la majoria de la seva superfície està mecanitzada i fins i tot polida en algunes parts. S'explica la seva morfologia a l'apartat 4.2.2.

L'hèlix està feta de la mateixa manera que la carcassa i tot el que s'ha dit d'ella és aplicable també a l'hèlix, excepte que aquesta és d'acer inoxidable F-3309. Explicada a 4.2.3.

Les dues politges, tant la conductora com la conduïda, estan fetes de fosa de la mateixa manera que l'hèlix o la carcassa però com les politges no treballaran en contacte amb líquid encara que si en ambient humit, seran de F-3504 que és un material més econòmic que l'acer inoxidable F-3533. Una explicació més extensa d'aquestes politges es pot trobar a l'apartat 4.5.2 i una dels materials a l'*annex 3*.

La tapa de la carcassa del ròtor es fabricarà de forma anàloga i amb el mateix material que les politges i l'explicació de la seva forma i ús es troba repartida en dos apartats donada la seva doble funció, una amb la carcassa (apartat 4.1) i l'altra amb el rodament inferior (apartat 4.2.4).

La placa colador està fabricada per mecanitzat a partir d'un disc de dimensions similars donada la seva forma complicada (molts forats) i al igual que moltes altres peces, també ha



de ser d'acer inoxidable F-3309 ja que estarà totalment en contacte amb la pasta de paper i, igual que l'hèlix, requereix d'unes sollicitacions mecàniques i vers la corrosió importants. Per una més intensiva explicació anar a l'apartat 4.3.2.

També es fabricaran tres separadors circulars que tenen forma de disc. Els seus diàmetres són 53, 115 i 55 mm, tots són d'alçada 5 i els dos primers estan fets d'acer F-3504 i l'últim, d'acer F-3309. Estan fabricats per arrencament de ferritja i explicats als apartats 4.5.2 els dos primers (de les politges) i al 4.2.3 l'últim.

El cargol de fixació de l'hèlix, com es pot veure als plànols, és de mètrica 14 i té un cap arrodonit on s'hi ha mecanitzat dues cares planes per tal de poder-lo collar amb una clau. Disposa d'un forat a sota la tapa perquè hi càpiga la vorlandera Belleville i el conjunt amb el distanciador segueixi essent tot l'estanc possible. Està fabricat en acer inoxidable F-3309 i la seva funció està perfectament explicada a l'apartat 4.2.3.

Un altre part a fabricar del pulper són els dos elements que, una vegada soldats correctament amb soldadura per arc elèctric tipus MIG, aniran collats a una de les potes del dipòsit formant la fixació i mecanisme de tensat del motor i la transmissió respectivament. Aquests dos elements estan fabricats en xapa d'acer inoxidable de 4 i 12 mm de gruix respectivament, doblegada i amb els corresponents forats mecanitzats per collar-hi els cargols. Els dos elements estan comentats a l'apartat 4.3.1.

La resta d'elements de fabricació pròpia són els que formen el dipòsit pròpiament dit i per la qual cosa estan explicats amb detall a l'apartat 4.3.1. La fabricació i unió d'aquests elements per a formar el dipòsit s'encarregarà a un xapista ja que així la qualitat i rapidesa de la seva construcció es veuran millorades considerablement. Totes les soldadures necessàries entre ells estaran fetes també mitjançant soldadura per arc elèctric tipus MIG, com a la fixació del motor. Aquestes parts del dipòsit són 28 (13 diferents), totes són de xapa d'acer inoxidable (algunes de F-3533 i altres de F-3504) de 4 mm de gruix, tret d'alguna excepció que s'explica a continuació. Aquestes excepcions nomenades són cinc: les quatre carteles que són de 6 mm de gruix, el reforç de la part inferior del dipòsit de gruix 10, el suport per a la fixació del ròtor també de gruix 10, les quatre costelles de la part intermitja del dipòsit de secció 10 x 20 mm i la vora de la tapa del forat de neteja que torna a ser de 10 mm de gruix.

Amb això queden explicades totes les parts del pulper tant de fabricació pròpia com les comprades (apartat 4.6).



## 4.8. Procés de muntatge

Al procés de muntatge se li poden diferenciar dues parts: el muntatge del ròtor i l'acoblament del ròtor al dipòsit.

Començant pel primer punt, alhora de muntar el ròtor el primer que es farà serà fixar els rodaments a l'eix. Es comença per col·locar el rodament rígid de boles entrant-lo per la part superior de l'eix i tot seguit i pel mateix costat s'introdueix l'anell elàstic que ha de fixar-lo. Per la banda contrària de l'eix s'insereix el rodament en tàndem, es colla amb la femella entallada i aquesta s'assegura amb la vorlandera fre. Ara es poden collar els espàrrecs a la carcassa del ròtor i una vegada fet això es col·loca el retenidor a la carcassa i es posiciona l'eix a dintre d'ella fent-lo entrar per la part inferior fins que el rodament en tàndem xoqui amb el topall mecanitzat al forat de la carcassa. En aquest moment s'introdueix la tapa de la carcassa i es collen les femelles als espàrrecs (amb les juntes circulars) assegurant així la posició del rodament inferior i amb ella la de tot l'eix. Després es col·loca la xaveta de l'extrem inferior de l'eix al seu allotjament, s'introdueix la politja i es colla el cargol amb el distanciador i la vorlandera Belleville. Abans de seguir amb el muntatge s'han de col·locar els cargols que fixaran el ròtor al dipòsit perquè sinó més tard no seran accessibles. Aquests cargols no cal collar-los fortament encara, només donar una o dues voltes a la femella per tal que el cargol no caigui a l'interior de la safata de la carcassa. Tot seguit es disposa la placa colador sobre el seu forat a la carcassa i, introduint prèviament la xaveta superior al seu allotjament a l'eix, es posa l'hèlix al seu lloc de treball. Per finalitzar amb el muntatge del ròtor, es disposa la junta tòrica al canal mecanitzat a l'hèlix i es colla el cargol de fabricació pròpia juntament amb la vorlandera immobilitzadora i el distanciador per tal de fixar l'hèlix a l'eix.

A continuació s'ha de fixar el ròtor al dipòsit. Donem per suposat que ja tenim el dipòsit d'una peça perquè la seva fabricació i, com a conseqüència, el seu muntatge, l'ha fet per encàrrec una empresa o un taller extern. Això és perquè el principi de la fabricació es pot realitzar a aquest taller extern però la part final que implica la soldadura de les diferents parts del dipòsit entre si, s'ha de realitzar a l'emplaçament final del pulper ja que es tracta d'una màquina de dimensions considerablement grans i el seu desplaçament pot resultar complicat o impossible. Es per això que en principi i per regla general, el pulper romandrà al mateix lloc de treball durant tota la seva vida útil. Així doncs, una vegada situat el pulper (i situada la junta tòrica corresponent a la carcassa), s'hi ha de collar el ròtor mitjançant els 8 cargols que prèviament havíem col·locat de manera provisional a la safata (amb les seves juntes circulars). Aquests cargols s'introdueixen als forats en L (sense descargolar les femelles) de què disposa el suport pel ròtor que hi ha al dipòsit i una vegada allí, es collen fortament per tal d'assegurar ja el ròtor a la seva posició final.



El tercer pas del muntatge de la màquina és la fixació del motor a una de les potes. Primer es colla el suport del motor, (que ja ha de tenir les dues peces soldades, a la pota que disposa dels forats per fer-ho. Una vegada fixat correctament el suport s'hi colla el motor, encara que no d'una manera enèrgica ja que tot seguit aquest s'haurà de desplaçar per les guies del suport per tal de tensar la transmissió. Lògicament, abans de collar el motor al seu suport, s'hi ha instal·lat la politja conductora de la mateixa manera que ho havíem fet amb la conduïda i l'eix.

L'últim pas del muntatge, com apuntàvem al final del paràgraf anterior, és la col·locació de la corretja i el seu tensat. Així doncs es posa la corretja entre les dues politges i es procedeix al seu tensat. Les guies del suport del motor estan preparades especialment per a aquesta tasca i tenen la longitud adequada per què, al desplaçar els cargols que collen el motor d'un extrem a l'oposat, la corretja quedi correcta i suficientment allongada i preparada pel funcionament de la màquina. Aquest tensat es pot practicar a mà donat que la força que s'haurà d'exercir sobre el motor serà únicament d'uns 3500 N aproximadament.

## 4.9. Lubricació

Pel que fa a aquest apartat, només cal dir que el pulper dissenyat en aquest projecte no necessita de cap tipus de lubricació ja que els únics elements que podrien requerir-ne són els rodaments i aquests han estat especialment escollits per a que siguin autolubricats. La raó d'aquesta elecció és la d'obtenir com a resultat una màquina més senzilla i així facilitar-ne el muntatge i desmuntatge.









## 5. Instal·lació

La instal·lació del pulper del projecte és petita i la primera part d'aquesta pot realitzar-se de dues maneres. No s'inclou en la instal·lació el procés de muntatge de la màquina (apartat 4.8), entenent que són dos processos diferents. S'interpreta com a instal·lació del pulper el posicionament i/o fixació d'aquest al sòl, o a la bancada si es dona el cas, on hi treballarà i l'acoblament dels estris necessaris per a fer-li arribar i extreure'n els fluxos l'energia i/o matèria necessaris. El posicionament de què parlàvem el durà a terme el taller extern a càrrec de la fabricació del dipòsit, prèviament al muntatge de la resta dels elements de la màquina. És recomanable que la operació estigui supervisada per l'enginyer a càrrec del projecte o en el seu defecte, d'un encarregat de la fàbrica que utilitzarà el pulper.

Al principi de l'apartat es parlava de dos mètodes d'instal·lació encara que pròpiament no són tals. Això és perquè el primer és realment és la no necessitat de collar el pulper a terra degut a que aquest és perfectament horitzontal i que aquesta màquina té un pes prou important com per assegurar la seva posició. De tota manera és molt recomanable utilitzar els forats practicats a la base de les potes per a collar el pulper a una bancada i garantir així la seva posició i evitar problemes ocasionats per possibles oscil·lacions degudes al pes del líquid que es processa. Igualment aquest tipus d'oscil·lacions i vibracions no tenen perquè aparèixer amb una bona fabricació de la màquina.

L'altre vessant de la instal·lació que el pulper sempre haurà de tenir és la que respecte als fluxos de què parlàvem a l'inici del present apartat. El pulper del projecte necessita d'un flux d'entrada d'energia en forma d'electricitat així que haurem de preveure un endoll a la corrent elèctrica pel motor trifàsic. També serà necessària una mànega que arribi a l'obertura de la part superior del dipòsit per introduir-hi l'aigua necessària. Per acabar també s'ha d'instal·lar una altra mànega que, ajudada d'una bomba hidràulica, ha d'extreure tota la pasta de paper ja processada que cau a la safata de la carcassa. Aquesta última mànega anirà acoblada a la brida feta al costat de la safata. Pel què fa a l'aportació del paper, la cel·lulosa i altres possibles substàncies s'ha de disposar d'un sistema de transport per portar-les fins a l'obertura superior (la mateixa per on entra l'aigua), però això ja no forma part del disseny del pulper sinó que es tracta d'una màquina diferent.

Amb això finalitza la instal·lació necessària per aquest pulper.





## 6. Manteniment

El manteniment d'aquesta màquina en quant a les seves peces es limita a canviar els rodaments i la corretja quan arribin al final de les seves vides útils. La corretja té, com es comprova a l'*annexa 1 (apartat 1.3)*, una vida lleugerament superior a 1.5 anys\*, el rodament superior treballarà correctament durant una mica més de 16 anys\* i l'inferior durant 44 anys i 9 mesos\* (com diu l'*apartat 4.2.4* i es calcula a l'*annexa 1, apartat 1.1*). Segons aquestes vides, es recomana substituir la corretja per una de nova cada any i mig i canviar el rodament rígid de boles cada quinze anys aproximadament. El rodament en tàndem es pot entendre que té vida infinita perquè probablement la vida útil del pulper que el conté serà inferior que la del propi rodament però si no fos així cal saber que aquest haurà de ser substituït al cap de poc més de quaranta anys.

Al marge d'aquests tres elements, es aconsellable disposar de recanvis d'altres peces com les juntes tòriques, les vorlanderes, el retenidor, els cargols i les femelles i opcionalment també de les xavetes i l'anell elàstic o "circlip". Aquestes peces es recanviaran si s'observa que pateixen un deteriorament que pot ocasionar que no realitzin la seva funció correctament. Encara que aquests desperfectes no semblin gaire habituals, poden arribar a ser-ho en una màquina com el present pulper que requerirà de muntatges i desmuntatges habituals i més si considerem que alguns d'aquests components estan en contacte amb un líquid potencialment força corrosiu a causa de la seva composició i de l'acció de les fibres de cel·lulosa.

A més del manteniment purament de recanvi de peces, el pulper necessitarà també com hem dit repetidament al llarg del projecte, d'unes neteges més o menys periòdiques per tal de lliurar el dipòsit de fibres de paper i cel·lulosa adherides a les diferents parts d'aquest i també per treure possibles "cossos estranys" que es puguin trobar dins les bales de paper reciclat. Aquestes neteges es duen a terme, quan sigui possible, mitjançant la tapa projectada per aquest efecte, podent-se utilitzar també si s'escau el forat destinat a allotjar-hi el ròtor. Les neteges es duen a terme amb aigua abundant ja que simplement això ja és suficient per a eliminar els restes de fibra o petits cossos estranys que hi puguin haver. Per a cossos més grans es pot utilitzar el forat que deixa el ròtor al ésser desmuntat. També s'haurà de netejar periòdicament la safata de la carcassa.

**\*Nota:** Totes les vides dels components de la màquina han estat calculades considerant una jornada de treball del pulper de 8 h/dia i 300 dies/any.





## Conclusions

Una de les conclusions més clares a les que he arribat en el transcurs d'aquest projecte de dissenyar un pulper és que els que hi ha al mercat, tendeixen a ser més complicats del que caldria sobretot pel que fa a la lubricació del seu ròtor, la qual es pot evitar fàcilment. D'aquesta observació en surt lògicament la recomanació d'utilitzar rodaments autolubricats per tal d'evitar aquesta lubricació general de la que parlàvem ja que els pulpers són màquines on, a causa dels repetits muntatges i desmuntatges, hi és molt recomanable la senzillesa constructiva.

Una altra conclusió és que la transmissió variarà, a part de amb la potència a transmetre, segons si s'opta per reduir les dimensions de la màquina o per abaratir-ne els costos. Així, en el present projecte he optat per una transmissió per corretges planes per anar per la via econòmica encara que també s'utilitzen les corretges de perfils en V de forma habitual.

Com a última conclusió esmentar que alhora de dissenyar un pulper, tot i que aquest té unes parts força diferenciades, aquest s'ha de considerar com un tot ja que el disseny de la majoria d'elements influencia en gran manera el de la resta. D'aquesta manera doncs, s'ha dut a terme aquest projecte.





## Agraïments

Els dos primers agraïments són per a professors de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB): del departament d'Enginyeria Mecànica el tutor d'aquest projecte, el senyor Vicenç Porcar per les indicacions i correccions fetes; i del departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica el senyor Jordi Tartera per les consultes realitzades sobre materials i processos de construcció.

Agraïments molt especials a l'empresa BTF System, als seus treballadors i sobretot al seu director Antonio López Tejedor i a Armando López Moreno per la facilitació de tanta informació demanada.

Lògicament agrair també a la pròpia escola (ETSEIB) els recursos que ha posat a la meva disposició alhora de realitzar el projecte.







## Bibliografia

A continuació s'especifica la bibliografia emprada per a redactar aquest projecte i per a la realització dels càlculs adients. La bibliografia d'aquest projecte no s'ha fet mitjançant cites a la memòria dels documents especificats en aquest apartat ja que, per tractar-se d'un projecte eminentment mecànic, hi ha llibres utilitzats i consultats constantment així com apartats que utilitzen diversos documents. D'aquesta manera, primer es numeren els documents de la bibliografia i seguidament s'especifiquen apartat per apartat les fonts utilitzades.

## Referències bibliogràfiques

- [1] A. CHEVALIER, *Dibujo industrial*, Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega editores 2002 (10<sup>a</sup> edició).
- [2] G. NIEMANN, *Elementos de máquinas*, volums I i II.
- [3] CELLWOOD MACHINERY AB, *Grubbens pulper*, fulletó informatiu distribuït per BTF System 2004.
- [4] CELLWOOD MACHINERY AB, *Krima dispersing system*, fulletó informatiu distribuït per BTF System 2004.
- [5] ABS, *ABS spare parts*, fulletó informatiu distribuït per BTF System 2004.
- [6] JOSEP FENOLLOSA CORAL, *Unions cargolades*, Edicions UPC 1995 (4<sup>a</sup> reimpressió - abril 2000).
- [7] JOSEP FENOLLOSA i JORDI MARTÍNEZ, *Quadern CM4 Corretges*, ETSEIB - CPDA 2002.
- [8] JOSEP FENOLLOSA i JORDI MARTÍNEZ, *Tecnologia de màquines Quadern de treball*, ETSEIB-CPDA 2003.
- [9] CARLES RIBA I ROMEVA, *Selecció de motors i transmissions en el projecte mecànic*, ETSEIB-CPDA 2002 (2<sup>a</sup>edició, 2<sup>a</sup>reimpressió)
- [10] JOSEP FENOLLOSA i JORDI MARTÍNEZ, *Quadern CM2 Rodaments*, ETSEIB-CPDA 2002 (edició 2002).
- [11] DR. A. HERRERO PALOMO, DR. J. M<sup>a</sup>. CABRERA MARRERO i DR. A. MATEO GARCÍA, *Tecnología de materiales*, ETSEIB-CPDA 2003 (reimpressió febrer 2000).



## Pàgines web consultades:

- [12] ACME SURPLUS MACHINERY INC., <http://www.acmesurplus.com/pulpers.htm>, 28 d'octubre del 2004.
- [13] PETROZAVODSKMASH, *Vertical hydropulpers GRVn and GRVm*, <http://www.pbm.onego.ru/eng/goods/processing-line/mass/3024/>, 4 d'octubre del 2004.
- [14] PAPER MACHINERY AND MILL EQUIPMENT, <http://www.maschineonline.com/Offers/Pmmill.htm>, 21 d'octubre del 2004.
- [15] CELLWOOD MACHINERY, [http://www.cellwood.se/english/plmn\\_1.html](http://www.cellwood.se/english/plmn_1.html), 28 d'octubre del 2004.
- [16] PETAX PAPIER INGENIEUR TECHNIK GMBH & CO. KG, <http://www.petax.de/be/100.htm>, 28 d'octubre del 2004.
- [17] ADESKO, <http://www.adesko.com/pulper.htm>, 28 d'octubre del 2004.
- [18] MASCHINEONLINE, <http://www.maschinenonline.com/Offers/Pmmill.htm>, 21 d'octubre del 2004.
- [19] SKF, <http://skf.com> (catàlegs del SKF 3318 i del SKF 6019), 16 de febrer del 2005.
- [20] TIERRA UNIDA S.L., <http://www.motores-industriales.com/Spanish/p10.html> (.../p2.html i .../p4.html), 3 de desembre del 2004.
- [21] SIEGLING, <http://www.siegling.com/Siegling/Siegling.nsf/folders/powertransmissionbelts> i <http://www.siegling.com/Siegling/Siegling.nsf/c1256a540028a27fc1256938002bbd96/1af564970a2ee0a9c1256bdb003b19c8?OpenDocument>, 10 de desembre del 2004.
- [22] NORMAS ISO/UNE/ANSI, <http://www.miliarium.com/Paginas/Normas/pfa.htm>, 9 de març del 2005.
- [23] ARAGOM (Aragonesa de Goma S.L.), <http://www.tinformatica.com/ar/productos.htm>, 9 de març del 2005.
- [24] ALMAPROIN S.A., <http://www.almaproin.com/NUESTROSPRO.htm>, 6 de març del 2005.
- [25] OPAC S.L., <http://www.opac.net/data/productos.html>, 7 de març del 2005.
- [26] LIDERING S.A., <http://www.lidering.com/catal/cat1.htm>, 6 de març del 2005.



- [27] MATWEB MATERIAL PROPERTY DATA,  
<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=Q304A>, 18 d'abril del 2005.
- [28] MATWEB MATERIAL PROPERTY DATA,  
<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterialText.asp?bassnum=Q316A>, 18 d'abril del 2005.
- [29] MATWEB MATERIAL PROPERTY DATA,  
<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=Q316N>, 18 d'abril del 2005.
- [30] MATWEB MATERIAL PROPERTY DATA,  
<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=Q329A>, 18 d'abril del 2005.
- [31] STAINLESS STEEL BALLS, <http://www.steelmedia.com/stainless-steel-balls.htm#Material%20Composition>, 18 d'abril del 2005.
- [32] EQUIVALENCIA DE NORMAS,  
[http://www.olarra.com/esp/productos/frames\\_principales/equivalencia\\_normas.html](http://www.olarra.com/esp/productos/frames_principales/equivalencia_normas.html), 18 d'abril del 2005.
- [33] STAINLESS STEEL GRADES AUSTENÍTIC,  
[http://www.olarra.com/esp/productos/frames\\_principales/equivalencia\\_normas.html](http://www.olarra.com/esp/productos/frames_principales/equivalencia_normas.html), 18 d'abril del 2005.
- [34] HERDAL S.A., [http://personal5.iddeo.es/herdalsa/V3.2cat/home\\_cat.htm](http://personal5.iddeo.es/herdalsa/V3.2cat/home_cat.htm), 25 d'abril del 2005.

A continuació es detalla, de la bibliografia anterior, la utilitzada per a confeccionar cada apartat en concret:

- ◆ Taula de l'anàlisi de mercat (apartat 1.2): fonts [12] a [18].
- ◆ Definició de les prestacions (apartat 2): fonts [3] i [4].
- ◆ Forces que rep el ròtor (apartat 4.2.1): [3] i [7].
- ◆ L'hèlix (apartat 4.2.3): [1], [3], [5] i [15].



- ◆ Els rodaments (apartat 4.2.4): [1], [2], [8], [10] i [19].
- ◆ El dipòsit (apartat 4.3.1): [1], [2] i [3].
- ◆ La placa colador (apartat 4.3.2): [3].
- ◆ Estudi de l'accionament (apartat 4.4): [9] i [20].
- ◆ Consideracions prèvies i tria de la transmissió (apartat 4.5.1): [1], [2], [7], [8] i [21].
- ◆ Les politges (apartat 4.5.2): [1], [2], [7], [8] i [21].
- ◆ Tensat previ (apartat 4.5.3): [7], [8] i [21].
- ◆ Components a comprar (apartat 4.6): [1], [6], [23], [24], [25], [26] i [34].
- ◆ Components a fabricar (apartat 4.7): [8], [11] i [22].
- ◆ Manteniment (apartat 6): [7] i [10].
- ◆ Annex 1, subapartat 1.1: [8] i [10].
- ◆ Annex 1, subapartat 1.2: [9].
- ◆ Annex 1, subapartat 1.3: [2], [7], [8] i [21].
- ◆ Annex 3: [27], [28], [29], [30], [31], [32] i [33].

## Bibliografia complementària

Els cinc llibres que són citats a continuació, tot i que no s'ha utilitzat cap dels seus capítols (en contra del que el projectista pensava), són de molta importància i interès dins la indústria paperera i recullen incommensurable informació en referència a aquest tema.

- [1] CHRISTOPHER J. BIERMANN, *Handbook of pulping and papermaking*, San Diego Academic Press cop. 1996 (2<sup>a</sup> edició).
- [2] SVEN A. RYDHOLM, *Pulping processes*, Malabar, Fla. R.E. Krieger 1985.
- [3] JAN SUNDHOLM, *Mechanical pulping*, Helsinki Fapet Oy cop. 1998.
- [4] JOINT TEXTBOOK COMM. OF THE PAPER INDUSTRY, *Pulp and paper manufacture*, New York McGraw-Hill 1969 (2<sup>a</sup> edició).



- [5]** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARIZATION, *Paper, boards and pulps*,  
Gèneve ISO 1998 (2<sup>a</sup> edició).

