EPS
Escola Politècnica
UdG Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Química Ind. Pla 2002

Títol: Disseny i Muntatge d'un Sistema de Depuració Ciclònica per Reciclatge de Paper

Document: Plec de Condicions

Alumne: David Duran Sala

Director/Tutor: Maria Àngels Pèlach Serra
Departament: Eng. Química, Agrària i Tecn. Agroalimentària
Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria (mes/any): Juliol / 2012

DOCUMENT Nº 2: PLEC DE CONDICIONS

INDEX DEL PLEC DE CONDICIONS

APARTAT 1: Condicions d'obligat compliment..... 2
APARTAT 2: Desenvolupament del projecte..... 4
APARTAT 3: Obtenció de pastes a partir de fibres reciclades..... 7
1.1. El procés de destintat del paper..... 7
1.2. Etapes del procés d'obtenció de pastes reciclades..... 9
1.2.1. Desintegració o pulpejat..... 10
1.2.2. Despastillat..... 12
1.2.3. Tamisat i depuració centrífuga..... 13
1.2.4. Fraccionament..... 21
1.2.5. Procés de destintatge..... 21
1.2.5.1.Flotació..... 22
1.2.5.2.Rentat..... 23
1.2.6. Dispersió i trituració..... 24
1.2.7. Refinat..... 24
1.2.8. Blanqueig de les fibres secundàries..... 25
1.3. Tipus de contaminants presents en un procés de destintatge..... 25
1.4. Depuració del paper..... 27
1.4.1. Depuració ciclònica..... 27
APARTAT 4: Especificacions tècniques de l'agitador..... 43
APARTAT 5: Especificacions tècniques de la bomba centrífuga..... 45
APARTAT 6: Especificacions tècniques de l'hidrocicló..... 51
APARTAT 7: Especificacions tècniques dels dispositius de mesura i control..... 53
APARTAT 8: Equips-dispositius emprats i càlculs esquema elèctric..... 56
Esquemes Elèctrics..... 58

APARTAT 1: CONDICIONS D'OBLIGAT COMPLIMENT

1. Objecte

Les condicions que s'exposen en el següent document, són les requerides per la realització del projecte.
Les característiques tècniques dels equips i els materials dels elements projectats són els corresponents a utilitzar, de forma que serà necessari el seguiment d'aquest document per la realització de la instal·lació.

2. Documents relatius al projecte

Els documents que formen el projecte, segons les parts corresponents:

- Memòria.
- Plànols.
- Pressupost.
- Plec de condicions i càlculs.

L'últim document inclou un recull de les especificacions i característiques del material emprat en el projecte, fotografies de la instal·lació, etc. Document bàsicament informatiu.

- Annexos.

3. Relació entre els documents

La relació segons la prioritat d'importància de documents, per la realització correcte del projecte, és la següent:

1. Memòria.
2. Plànols.
3. Plec de condicions i càlculs.

4. Aplicacions tècniques generals

Per la realització del projecte, serà necessari fer servir els corresponents documents tècnics de referència en la instal·lació dels equips.

- La normativa pel que fa la instal·lació d'equips elèctrics de baixa tensió.
- Serà estrictament necessari seguir les recomanacions del fabricant per la instal·lació dels diferents equips.
- Els proveïdors assumiran qualsevol contratemps relacionat amb l'estat dels aparells i qualitat demandada pel comprador, així també donaran una garantia mínima dels equips de dotze mesos.

5. Condicions de muntatge de les instal·lacions

L'instal·lador del present projecte haurà de revisar i comprovar el conjunt dels plànols i les diferents especificacions tècniques dels equips per la seva correcte instal·lació.

6. Control de qualitat

Tots els aparells de la instal·lació seran nous i disposaran d'una placa identificativa que en permeti el seu reconeixement.

APARTAT 2: DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

El projecte de disseny i muntatge de l'hidrocicló, ha tingut molts dissenys, sobretot de l'estructura de suport, molt diferents al llarg d'aquests mesos. I no només l'estructura de suport sinó que han sigut moltes les diferents idees de funcionament de la instal·lació que s'han estudiat i finalment s'ha optat per aquesta final, la qual consisteix en l'hidrocicló fixat a la paret a una alçada de dos metres perquè es produeixi una bona succió, amb dos dipòsits (un d'ells agitat) per permetre una millor maniobrabilitat de la suspensió i facilitar la mesura d'algun paràmetre sobretot el cabal. El sistema té com a impulsor una bomba centrífuga adequada per bombejar tant aigua amb partícules sòlides com pasta de paper, i una sèrie de dispositius per mesurar la pressió (manòmetres i transmissor de pressió diferencial).

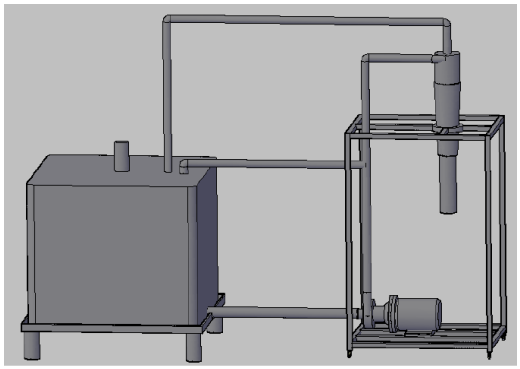
Inicialment la idea era muntar una instal·lació flexible, amb diferents hidrociclons de diferent capacitat, que permetés un estudi més ampli de la depuració ciclònica de la pasta de paper. De la mateixa manera, s'havia optat per instal·lar un cabalímetre magnètic per la mesura del cabal, ja que al treballar amb pasta de paper, és imprescindible que el cabalímetre sigui magnètic o de massa ja que sinó la lectura no és precisa al ser un producte massa viscós. Per motius econòmics, i veient que era necessària la instal·lació de més d'un cabalímetre magnètic, es va optar per instal·lar dos dipòsits i mesurar el cabal a partir de l'escala graduada d'aquests.

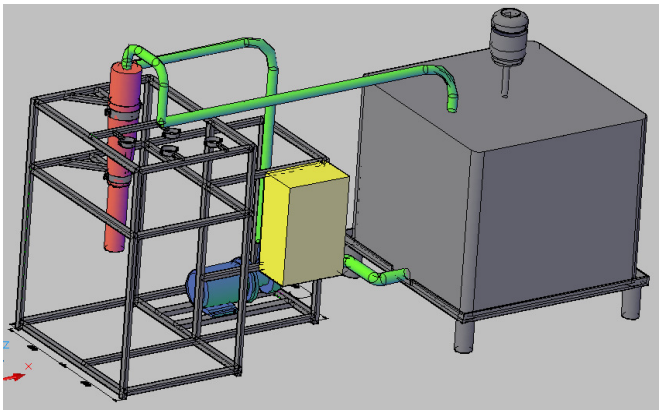
El procés d'elecció de la bomba centrífuga va ser també un procés llarg, de forma que va ser necessari estudiar cada una de les diferents ofertes i escollir la més beneficiosa pels nostres interessos, tant per temes de fiabilitat, de preu i pel tracte rebut.

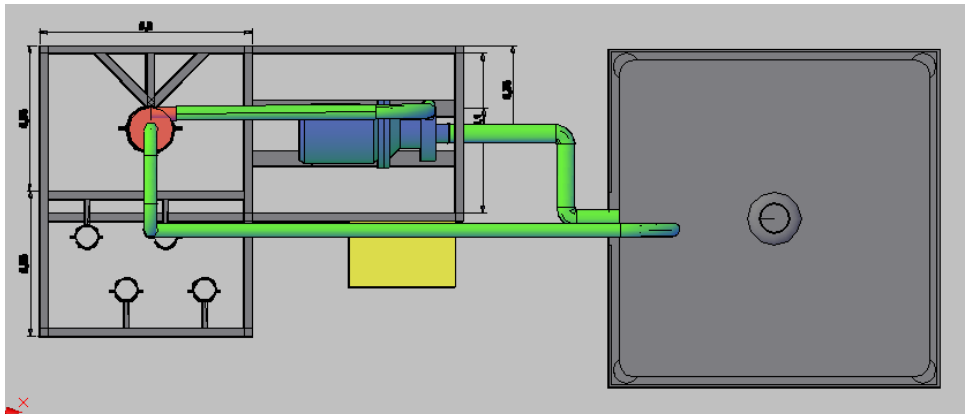
Finalment, es va acabar optant per fer un esforç econòmic i comprar un transmissor de pressió diferencial (a part dels tres manòmetres de membrana que ja es volien instal·lar) per tenir una lectura de diferència de pressió entre l'entrada i la sortida de l'hidrocicló, un paràmetre important per analitzar i conèixer el funcionament de l'equip.

Un cop tot això fet, només calia decidir en quins punts era necessari instal·lar les diferents preses de mostra i avisar al ferrer perquè ens construís la instal·lació tal i com la volíem.

A la següent pàgina, es poden veure les estructures que es van anar dissenyant durant el projecte però finalment es van desestimar.







Una etapa prèvia a l'inici d'aquest projecte va ser una estada als laboratoris del grup de Cel.luloses i Paper de l'INIA a Madrid, els quals disposen d'una instal·lació de depuració amb un hidrocicló, per conèixer el funcionament d'aquest tipus de muntatge.

La instal·lació de l'INIA té un disseny molt semblant a la nostra, amb dos dipòsits, una bomba d'impulsió i un hidrocicló d'unes dimensiones més reduïdes. El cabal no el poden mesurar però tenen lectures de pressió manomètrica mitjançant uns manòmetres.
Durant l'estada a aquests laboratoris, es va destintar una pasta cel·lulòsica (paper blanc tercera sense estucar amb poques càrregues minerals) i es va comprovar la seva consistència mitjançant una filtració al buit i un dessecació posterior a l'estufa a 105ºC.
El següent experiment va constar en fer funcionar la instal·lació mitjançant l'hidrocicló. L'objectiu era recollir mostres, tant del rebuig com de l'acceptat de la pasta preparada anteriorment i analitzar-les mitjançant el microscopi. Es pretenia analitzar la morfologia de les fibres, per veure quina mostra tenia un contingut de fins més elevat.
Amb les mostres obtingudes es van realitzar també una sèrie d'assajos com la mesura dels graus Shooper, una separació de fibres mitjançant diferents tamisos amb un aparell anomenat Bauer-McNett per observar la distribució de la seva morfologia i una calcinació de les mostres a la mufla per analitzar el seu contingut en cendres (matèria mineral).
Tots aquests assajos van servir per veure que existia un gran nombre de variables per analitzar, d'entre els quals algun d'ells s'ha realitzat en el present projecte per comprovar el funcionament de l'hidrocicló instal·lat.

APARTAT 3:

1. OBTENCIÓ DE PASTES A PARTIR DE FIBRES RECICLADES

En els darrers anys la gent està més conscienciada amb el medi ambient i en intentar reduir o eliminar aquelles activitats que el perjudiquen. Degut a aquest fet, hi ha tres paraules que tenen cada vegada més protagonisme a la nostra societat: recuperar, reciclar i reutilitzar. L'anomenada triple R. Encara que actualment sembla ser que el reciclatge té més importància a la nostra societat, ja fa anys que es recuperen i es reciclen papers i cartrons.

En el nostre cas, ens centrarem en el paper reciclat, ja que a partir d'ell en podem obtenir fibres secundàries que, posteriorment, i mitjançant una sèrie de tractaments, ens permeten obtenir de nou un paper amb unes característiques i una qualitat acceptables per qualsevol tipus d'utilitat.

Per arribar a tenir de nou fibres aptes per fabricar nou paper, calen tractaments específics per tal de que la suspensió final ens proporcioni unes característiques morfològiques i una qualitat òptima. Aquests tractaments formen part del procés de reciclat i destintat, si s'escau, del paper recuperat. Només reciclem quan el paper recuperat que es té és de baixa qualitat (per exemple cartrons) i volem fabricar qualitats semblants, és a dir, altres cartrons. Es duu a terme el procés de destintat quan el paper recuperat ja té certa qualitat, per exemple, diaris, revistes, paper d'oficina, que reciclant-lo i destintant-lo, generes fibres aptes per tornar a fabricar papers blancs.

1.1. El procés de reciclatge / destintat del paper.

Quan parlem d'eliminar la tinta, parlem del procés de destintat, procés d'eliminació de contaminants (tinta impresa i altres pigments continguts en el paper reciclat) mitjançant tractaments químics i físics. Mitjançant aquests tractaments, s'aconsegueix obtenir la fibra de cel·lulosa reutilitzable en condicions de tornar a fabricar paper.

Bàsicament aquest procés es pot dividir en dues grans etapes: la desintegració del paper, en la qual es dóna lloc el despreniment de la tinta i altres contaminants i, posteriorment, la separació d'aquests contaminants de la pròpia suspensió fibrosa. L'etapa de desintegració també es dóna quan es recicla paper sense sotmetre'l a processos d'eliminació de tinta. De fet, és l'etapa fonamental en el reciclatge del paper. Durant la

desintegració s'ha de procurar que els contaminants es desprenguin completament de les fibres, per a poder realitzar posteriorment la separació completa dels dos components.

Actualment, els processos de reciclatge incorporen després de l'etapa de desintegració, altres etapes que tenen un paper important en la preparació de la fibra reciclada per tal d'obtenir una separació completa dels contaminants. Aquestes etapes són: depuració i tamisatge, fraccionament, dispersió, flotació, rentat, refinat i a vegades fins i tot un blanqueig.

- Depuració i tamisatge: permet separar la barreja de fibra i partícules en funció de la mida o la deformabilitat de les partícules. El tamisatge separa amb gran eficiència partícules grans i que tendeixen a ser quadrades.

- Fraccionament: és una etapa que permet separar les fibres en funció de la seva longitud o flexibilitat.

- Dispersió: converteixen els adhesius o materials encolats que porten els papers reciclats en elements més petits capaços de flotar i també separen la tinta residual que poden portar enganxada les fibres i habiliten les fibres cel·lulòsiques.

- Flotació: operació que elimina bàsicament partícules hidrofòbiques majoritàriament tintes (no polars) però amb un gran rendiment i abastant un rang de magnituds ampli.

- El rentat elimina partícules petites i la seva eficiència depèn de la quantitat d'aigua utilitzada.

- El refinat: etapa que té com a finalitat modificar la morfologia de les fibres i la seva estructura físico-química mitjançant l'acció d'un treball mecànic i en presència d'aigua.

- El blanqueig: operació que contribueix a millorar les característiques òptiques de la pasta destintada. La brillantor de la pasta augmenta, s'eliminen les possibles taques i s'obté una pasta més blanca.

La seqüència d'utilització d'aquestes etapes depèn de les característiques del paper de rebuig (matèria primera) i de la qualitat del paper final que es vol obtenir.

1.2. Etapes del procés d'obtenció de pastes reciclades

- Desintegració – Pulpejat
- Despastillat
- Neteja: tamisos i depuradors
- Fraccionament
- Procés de destintatge: per flotació o rentat.
- Dispersió i trituració
- Refinat
- Blanqueig

A continuació, en el següent diagrama, es poden veure les diferents etapes necessàries per l'obtenció de paper reciclat. Moltes d'elles necessiten l'addició d'aigua de dilució i també es pot veure en el diagrama les diferents recirculacions que tenen lloc a cada etapa, sobretot a les etapes de depuració i tamisatge.

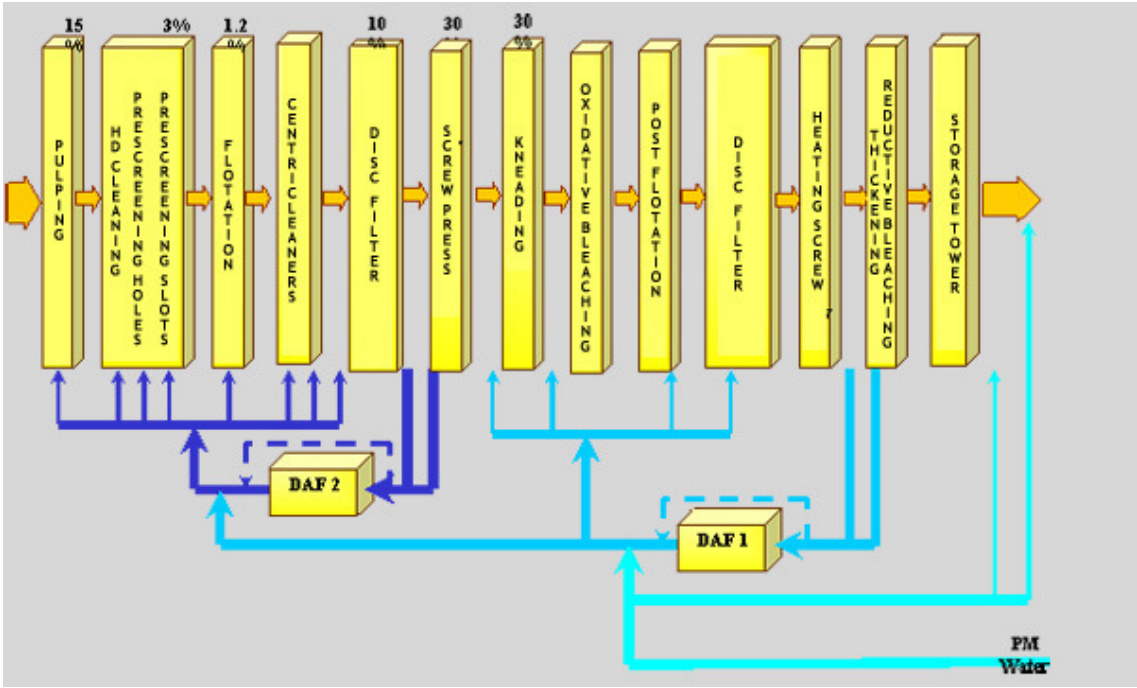


Figura 3.1: Diagrama de blocs de les etapes necessàries d'un procés de depuració de pasta de paper. (Caracterización y eliminación de la matéria disuelta y coloidal; Ruben Miranda Carreño, 2009).

1.2.1. Desintegració o Pulpejat

Es tracta de la primera etapa del procés. L'objectiu principal de la desintegració és obtenir una bona individualització de les fibres i al mateix temps una separació eficient dels contaminants presents en la barreja fibrosa (tintes d'impressió, adhesius, recobriments de plàstic, grapes, etc) mitjançant un consum mínim d'energia però a la vegada, realitzant una operació al màxim d'eficient.

Aquest procés de desintegració es duu a terme mitjançant l'aplicació de tres formes d'energia: mecànica (moviment rotatori de l'hèlix del púlper i fregament de les fibres amb els elements mecànics de l'equip), tèrmica (per acció de la temperatura) i química (mitjançant l'addició de reactius químics que afavoreixen la separació de la tinta i dels contaminants).

Les variables que hi intervenen són: la temperatura d'operació, la concentració, el tipus de reactiu químic i el fregament entre les fibres i les parts mecàniques del desintegrador.

Aquestes variables d'operació, juntament amb l'addició d'aigua per tal d'afeblir els enllaços per ponts d'hidrogen de les fibres, fa que s'aconsegueixi una individualització de les fibres determinada d'una manera més ràpida.
És important que les forces de desintegració siguin suficientment fortes per tal de que els contaminants es desprenguin de les fibres, però tampoc interessa fer-ho excessivament, ja que és més eficient eliminar-los en operacions de depuració o tamisatge posteriors.

La desintegració es realitza en els púlpers. El púlper és una màquina de concepció senzilla composta per una safata o tina d'acer inoxidable, de forma cilíndrica, dins la qual gira un rotor (hèlix) amb un eix vertical amb forma adequada segons el treball requerit. Un impulsor concèntric és el que s'encarrega de moure la suspensió i, uns elements verticals a la paret cilíndrica i uns altres que serveixen de guia a la part inferior, permeten dirigir la suspensió cap a l'eix central de la tina. Per mitjà del fregament continu de la pasta contra l'hèlix, s'aconsegueixen separar les fibres, d'on s'obté una suspensió en aigua amb una consistència entre un 6 i un 12%. Així doncs, en el púlper, i té lloc a més a més de la desintegració, l'inflamen de les fibres i es comença a produir la separació de la tinta i els demés contaminants (fils, grapes, filferro, materials adhesius o stickies...), com a conseqüència de l'addició de l'aigua i d'alguns productes químics, en funció de les exigències del producte final que es vol obtenir i de les característiques de la matèria primera. Quan la matèria primera prové de paper recuperat en comptes de fibra verge, a part d'humidificar és important treballar a temperatura, aproximadament a 75ºC, ja que facilita la separació de la tinta.

Figures 3.2 i 3.3: Púlper amb hèlice helicoïdal per pastes d'elevada consistència i rotor d'un púlper de consistència mitjana-baixa (LICAR, equipos para la indústria paperera).

1.2.2. Despastillat

L'operació de despastillat té com a objectiu acabar de desintegrar completament els trossos de pasta que provenen del paper reciclat i que el pulper no ha pogut triturar. Normalment aquests trossos de pasta no desintegrats són deguts a les característiques que tenia el propi paper com la resistència a l'aigua i la humitat, a algun recobriment superficial o senzillament al propi estucat.

Aquesta operació té lloc en el despastillador, un equip que funciona pràcticament igual que un púlper però amb més força. Mitjançant una sèrie de discs rotatius, i fen circular la pasta provinent del paper reciclat per conductes estrets, s'aconsegueix la completa individualització de la fibra. És important que el grau de desintegració després del despastillat sigui del 95% aproximadament.

El despastilat es dóna a unes consistències entre el 3-5%. Les forces de tall necessàries per la desintegració s'apliquen als feixos de fibres quan aquests passen radialment a través dels conductes amb engranatges dentats entre el rotor i l'estator.

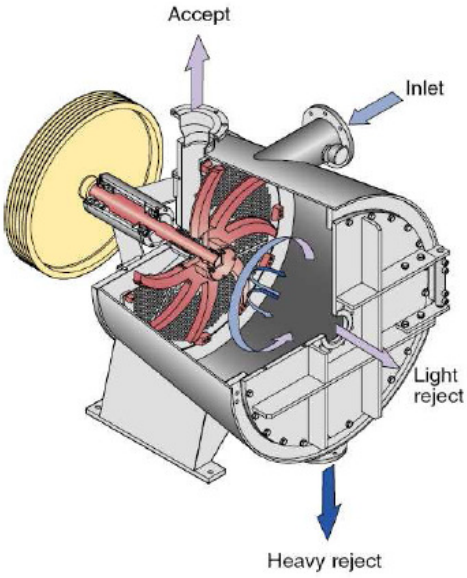


Figura 3.4: Secció transversal d'un depurador de disc típic.

Quan hi ha molta quantitat de trossos sense desintegrar, és necessari fer passar la pasta més d'una vegada per l'interior del despastillador, per això normalment es col·loquen diferents despastilladors en sèrie.

1.2.3. Tamisat i Depuració Centrífuga

Aquestes operacions ja són únicament de separació/eliminació de contaminants.

El tamisat és una operació de separació en la qual la pasta reciclada es fa passar a través de tamisos de diferent diàmetre de pas en els quals els contaminants sòlids queden retinguts en ells. Per tant, el seu objectiu és eliminar aquelles substàncies sòlides que interfereixen a la suspensió de pasta ja que difereixen de les fibres en quan a mida, forma i deformabilitat. Les partícules no deformables amb unes dimensions superiors al diàmetre de pas, queden retingudes. Per les partícules més petites, és qüestió de probabilitat que quedin retingudes.

D'acord amb el tipus de mecanisme que opera en la separació, podem dir que els tamisadors separen per diferència de tamany, mentre que els depuradors centrífugs, el seu mecanisme està basat en una separació per diferència de densitat. Amb el tamisat es poden arribar a eliminar partícules, feixos de pasta mal desintegrats, adhesius, trossos de plàstic... dels quals pràcticament ni els podem veure a simple vista.

Un inconvenient que té el tamisatge és la pèrdua de fibres. Evitar aquesta pèrdua és del tot impossible, però sí que es pot veure reduïda fent passar els rebuigs d'un primer sistema de tamisat a un altre. Com més rebuig es genera, més eficient és el sistema pel que fa a contaminants però també la pèrdua de fibres és superior. S'ha de trobar un equilibri entre l'eficiència que es vol aconseguir en el sistema de tamisos i la pèrdua de fibres, entre d'altres.

Equips pel Tamisat:

Tal com hem dit anteriorment, el tamisat és una operació de separació de contaminants. Així doncs, segons en quin estat es troba la matèria primera (procedència, qualitat, tipus, ...) podem utilitzar diferents tamisos en diferents parts del procés de reciclat per tal d'eliminar uns contaminants concrets en cada una.

A la hora d'imaginar-nos un tamís, ens hem d'imaginar amb un cos que pot ser pla (tamís de discs) o bé cilíndric (tamís cilíndric), amb una entrada per la qual entra la suspensió fibrosa a depurar, una sortida per l'acceptat (fibra "neta") i una altra sortida pel residu (contaminants sòlids i fibres).

Actualment la majoria de tamisos treballen a pressió o bé a pressió atmosfèrica, la qual suposa una millora respecte els primers tamisos els quals treballaven bàsicament amb vibració.

En funció de quina sigui la part del procés en la qual és necessària una etapa de tamisatge, aquesta podrà ser una operació de tamisatge groller o bé una de tamisatge fi.

Tipus de Tamisos:

- Tamisat Groller:

Aquest tipus de tamisat es realitza sobretot després de l'etapa de pulpejat. Aquests tamisos reben el nom també de púlpers secundaris i la seva funció és separar partícules contaminants pesades, grumolls, etc. Tenen fins i tot un potencial despastillador important.

Degut a que en aquesta part del procés la quantitat de contaminants a eliminar és important, els tamisos més adequats són els de discs ja que tenen un poder desintegrador més gran i pràcticament sempre treballen a pressió.

Malgrat aquests tamisos de discs són adequats quan les consistències són elevades, els cilíndrics són ideals per minimitzar les pèrdues de fibres. Treballen també a pressió però

a una consistència mitjana (inferior al 3%). Aquests tamisos depuren la suspensió fibrosa fen-la passar a través d'uns forats de diàmetre adequat pels contaminants pesants presents a la suspensió.

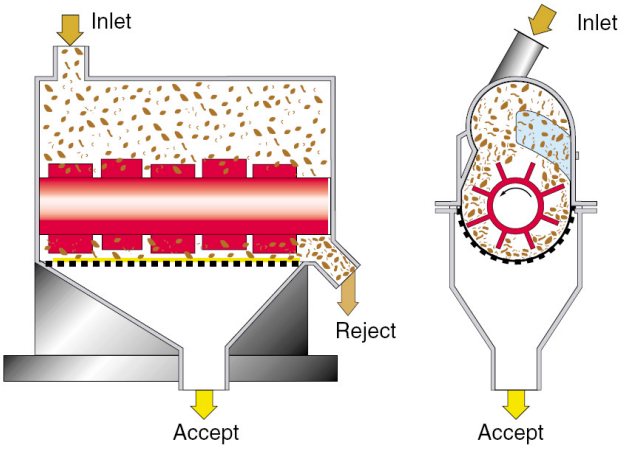


Figura 3.5: Esquema d'un tamís que treballa a pressió atmosfèrica (VOITH/ESCHER-WYSs Rejectsorter).

- Tamisat fi:

Aquest tipus de tamisat normalment es realitza quan la consistència de la suspensió és baixa, ja que els seus paràmetres de disseny no permeten separar partícules pesants i de consistència elevada ja que tindrien problemes per culpa dels taponaments.

Per aquest motiu, aquesta operació de tamisat normalment va situada a la sortida d'una operació de depuració centrífuga, de forma que s'acaben de separar aquelles partícules contaminants que no han estat separades en la depuració a baixa consistència.

Figura 3.6: Rotor del tipus foil usat pel tamisat fi.

Els tamisos més adequats per aquest tipus de tamisatge són els tamisos de cistella amb ranures. Aquests tipus de tamisos tenen l'inconvenient de l'eficiència, i per això necessiten un disseny molt precís per tal d'aconseguir uns resultats acceptables.

En aquesta part del procés d'obtenció de pastes reciclades és molt important que pràcticament el 100% dels contaminants hagin estat eliminats ja que posteriorment la suspensió fibrosa entrarà a la màquina de paper i és molt important que no hi hagi presencia de partícules indesitjades.

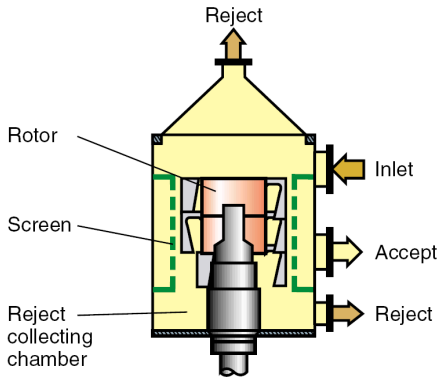


Figura 3.7: Esquema del sistema més usual per l'etapa final d'un tamisatge fi.

Depuració Centrífuga

Avui en dia, l'operació de depuració és una operació clau pel que fa a l'obtenció d'una qualitat del paper determinada. L'objectiu bàsic de l'etapa de depuració centrífuga és l'eliminació d'aquelles partícules en suspensió que afecten a la qualitat del paper i que podrien produir fregaments o trencaments durant el seu procés de producció.

Aquests contaminants poden ser pesants (HW o heavyweight) com serien grapes, sorra, grumolls, etc. o bé poden ser contaminants lleugers (LW o lightweight) com per exemple material plàstic. La depuració centrífuga es basa amb un mecanisme de separació per mitjà de la diferència de densitat entre les partícules i l'aigua i per la diferent mida respecte els demés contaminants de la suspensió.

Els processos de depuració centrífuga es realitzen en uns equips anomenats hidrociclons.

- Hidrociclons:

Un hidrocicló és un dispositiu de separació en continu que utilitza l'energia deguda a la pressió del fluid per crear un moviment rotacional. Solen operar a baixes pressions. El fluid és dirigit tangencialment a l'interior de l'equip. El moviment de rotació genera forces centrífugues i provoca que sòlids i líquids es separin. La força centrífuga generada en un hidrocicló varia en funció de la seva longitud i pot arribar fins a un valor màxim de 2000 gravetats.

Normalment un hidrocicló està dividit en dues parts: una secció cilíndrica i una secció cònica. L'extrem de la secció cilíndrica (tapa) està tancada amb una placa a través de la qual passa directament un flux vertical (acceptat). L'alimentació es produeix a través d'una obertura circular connectada tangencialment a la part superior de la secció cilíndrica. La secció cònica, que es troba unida a la cilíndrica, té la base oberta, i permet el pas del flux de les partícules més pesades.

Els hidrociclons són coneguts per la seva capacitat de separar partícules des de 0,004 mm fins 0,6 mm. i tenen aplicacions a través d'un ampli rang d'indústries tals com la paperera, minera, química i farmacèutica. Les condicions de disseny i operació són totalment diferents depenent del tipus d'aplicació.

Degut a les elevades forces centrífugues que es produeixen a l'interior de l'hidrocicló, l'orientació vertical o horitzontal de la instal·lació no afecta a la pròpia separació del fluid.

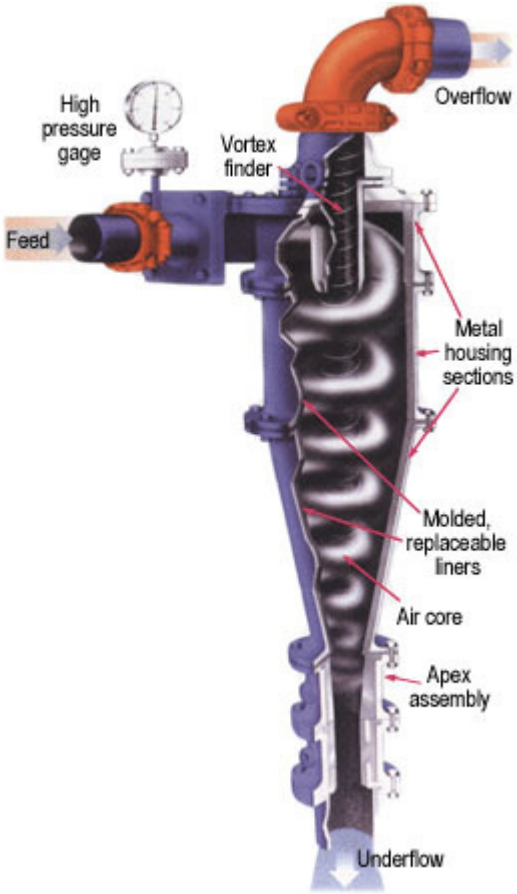


Figura 3.8: Esquema de les parts d'un hidrocicló (Cronin – Cook & Associates).

Principi d'operació d'un hidrocicló:

La separació sòlid – líquid s'aconsegueix mitjançant la generació de forces centrífugues molt més grans que les que es generen en altres equips de separació que es basen en la gravetat.

Aquests equips consisteixen en un con de material plàstic o bé ceràmic (més duradors però més cars) i en els quals la suspensió paperera a depurar entra tangencialment per la seva part superior. Es crea un moment angular a l'entrada i això provoca la generació d'un camp centrífug en el seu interior. Les partícules amb una densitat superior a la de l'aigua són arrossegades cap a les parets del cicló mentre que la pasta lliure de partícules es mou pel centre. Això provoca que aquestes partícules més pesants es separin del flux principal i se'n vagin cap al fons del cicló, les quals formaran el rebuig, i la pasta, lliure de partícules pesants, un cop en el fons, pujarà girant pel centre del cicló gràcies a la creació d'un fort vòrtex, el qual i gràcies a la baixa pressió impulsarà la pasta cap a la part superior, per on sortirà per una sortida lateral.

Factors que influeixen el funcionament d'un hidrocicló:

Si es coneix realment la geometria d'un hidrocicló i els seus paràmetres més essencials, és possible calcular d'una forma molt precisa el grau de separació assolit. Els paràmetres més importants són:

- Cabal i pèrdua de càrrega.
- Densitat i viscositat del líquid.
- Densitat, mida i forma de les partícules.
- Concentració dels sòlids.

Parts d'un hidrocicló:

Tots els hidrociclons es composen de quatre seccions principals:

Entrada:

La secció d'entrada està formada per una càmera d'alimentació cilíndrica que té com a funció convertir el flux de l'alimentació amb un flux tangencial amb la mínima turbulència. Com més petits són els diàmetres d'entrada més grans són les velocitats tangencials, provocant a la vegada un augment de la seva eficiència i una reducció de la seva capacitat.

Desguàs:

La secció de desguàs pot incloure una cuirassa cilíndrica anular que cobreixi totalment el flux central, estabilitzant-lo i millorant el funcionament de l'equip.

L'orifici de desguàs esta dissenyat per suportar la càrrega esperada, que ve determinada per la fricció lleugera continguda a l'alimentació o pel cabal sol·licitat pel client.

Con:

Els angles i geometria del con varien però essencialment tot compleix un mateix objectiu. Mentre el fluid és empès al llarg del con, es desenvolupen unes forces centrífugues grans, necessàries per la separació. Reduint el diàmetre nominal de l'hidrocicló, es millora l'eficiència i es disminueix la capacitat.

Tub de sortida o escapament:

Afegir un tub "d'escapament" a un hidrocicló, incrementa el temps de residència per la separació. La mida del tub es caracteritza pel seu diàmetre i longitud. Diàmetres petits impliquen majors velocitats tangencials i forces centrífugues grans, la qual cosa provoca un augment de l'eficiència. Aquest tub té repercussions importants pel que fa a la capacitat de l'equip.

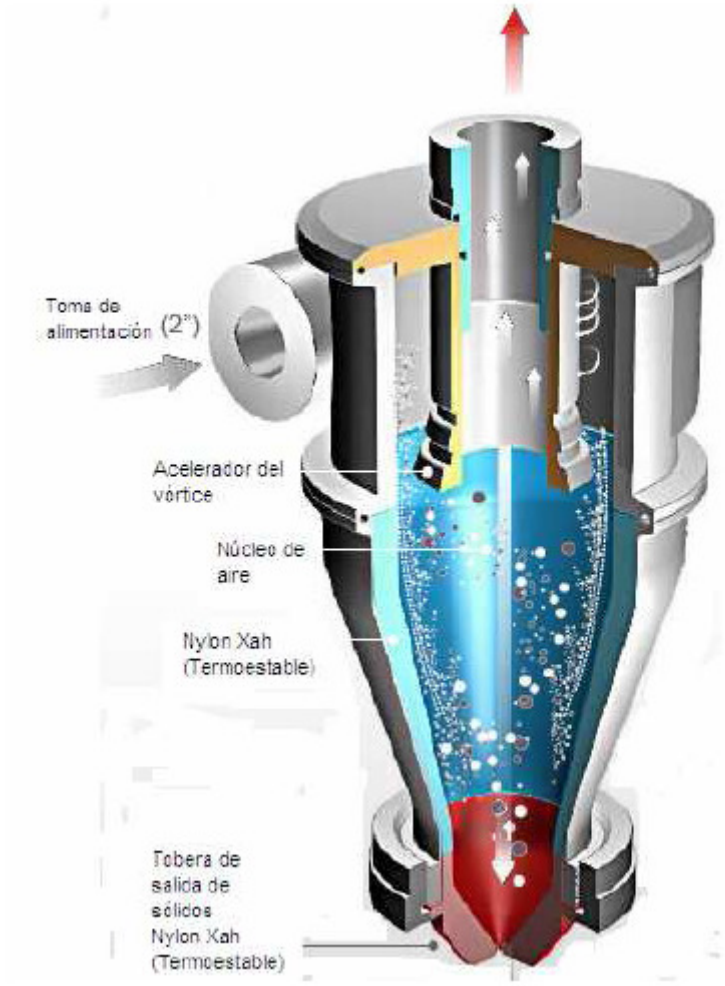


Figura 3.9: Direccions que segueix el flux a l'interior d'un hidrocicló (Parámetros de diseño de un hidrociclón, Barrera S., Urrutia C., Tolvett C., 2010).

En un procés d'obtenció de pastes reciclades, aquesta etapa de depuració és essencial però necessita estar complementada amb alguna etapa de tamisatge, per tal d'aconseguir un sistema de separació eficient.

Un aspecte que cal tenir en compte dels hidrociclons és el seu manteniment. Les superfícies interiors estan constantment en contacte amb les partícules sòlides de la pasta que entren a gran velocitat i xoquen contra les parets, produint un desgast important. Per aquest motiu és important controlar aquest desgast i fer-li un manteniment periòdic mitjançant tractaments interns, com l'aplicació de resines, que resisteixen millor aquest desgast.

1.2.4. Fraccionament

En aquesta etapa, i té lloc una separació de les fibres en funció de la seva longitud (curtes o llargues) i flexibilitat. Aquesta operació es realitza en els mateixos equips utilitzats en l'etapa de tamisatge, mitjançant tamisos de discs i cilíndrics però amb la diferència principal que els forats dels tamisos són més petits en el fraccionament.

Una característica del fraccionament és el fet que no es forma cap rebuig pròpiament dit, sinó que té com a objectiu separar les fibres llargues (rebuig) de les curtes per tal de poder-les tractar posteriorment per separat.

Aquesta etapa és interessant sobretot per temes d'eficiència. Tractar per separat fibres curtes i fibres llargues facilita entre altres coses el refinatge i l'eliminació de contaminants, ja que l'eliminació d'aquests és més senzilla quan no hi ha fibres curtes que n'impedeixen el seu pas. Gràcies a aquesta separació de fibres, etapes com per exemple la flotació es poden fer per separat, fet que comporta un estalvi d'energia important i la pèrdua de fibres pel rebuig es veu reduïda.

1.2.5. Procés de Destintatge

L'objectiu de l'operació de destintatge és eliminar les tintes d'impressió o altres substàncies que podrien afectar al procés de fabricació i a les propietats del paper final.

Això provoca que si la separació no és satisfactòria, s'obté un paper amb poca brillantor i amb un aspecte brut. Les partícules de tinta grans (superiors a 50 mm) són visibles a simple vista en forma de punts o taques. Les partícules petites de tinta disminueixen la blancor del paper i fan que sigui necessari posteriorment un procés de blanqueig.

És imprescindible que la tinta es separi de les pròpies fibres de la suspensió. Per això, el procés d'eliminació de la tinta continguda en una suspensió de fibres secundàries

provinents de paper reciclat, es pot realitzar de tres maneres diferents: per flotació, rentat o mitjançant activitat enzimàtica.
L'eficiència de separació de la tinta depèn de les propietats de la pròpia tinta i de la qualitat del paper usat

1.2.5.1 Flotació

La flotació és un procés de separació selectiu de les partícules de tinta, com a conseqüència de la diferència entre les seves propietats físiques i fisicoquímiques de superfície i les corresponents a les fibres de cel·lulosa. Aquesta tècnica de separació és considerada actualment una operació essencial en qualsevol planta de destintatge (eliminació de les tintes d'impressió) de paper reciclat.

La flotació es duu a terme en uns equips que s'anomenen cel·les de flotació, en les quals les partícules de tinta saponificades i emulsionades són arrossegades cap a la superfície gràcies a les bombolles d'aire formades a partir d'una corrent d'aire injectada en la seva part inferior. Les bombolles d'aire són de naturalesa hidrofòbica, i com a tals, tendeixen a unir-se amb els contaminants hidròfobs com són la tinta, pigments, lligants, stickies... de manera que formen uns agregats amb densitat baixa que ascendeixen formant una capa d'espuma que pot ser fàcilment eliminada des de la superfície. Aquesta nova fase, ha de tenir l'estabilitat necessària per evitar que les partícules de tinta tornin a incorporar-se a la suspensió de la pasta. Per contra, les fibres que tenen un caràcter més hidrofílic, no tenen tanta afinitat amb les bombolles d'aire i romanen dins de la suspensió.
La mida de les partícules que poden ser eliminades si més no de manera efectiva mitjançant aquest tipus de flotació està limitada entre un rang mínim de 5-10μm fins a un rang màxim de 250-500μm.

Figura 3.10: Fotografia d'una cel·la de flotació.

El procés es completa mitjançant l'eliminació de l'espuma formada a la cel·la, a través del qual se n'extreu l'aigua i les fibres que encara pot portar i que per tant representarien pèrdues pel procés.

Per aconseguir aquesta flotació selectiva de les partícules de tinta de la resta de la suspensió, les partícules han de tenir una hidrofobicitat suficient: si no la tenen per la seva naturalesa, la poden obtenir mitjançant l'aplicació d'algun agent químic a la suspensió com poden ser detergents o agents dispersants, els quals s'afegeixen a l'etapa de pulpejat o prèviament a l'etapa de flotació. És important que el pH estigui al voltant de 8-9 en aquesta etapa per tal que les condicions de treball siguin les òptimes.

Depenent del tipus de paper reciclat i del producte que es vol obtenir, moltes vegades és necessari instal·lar fins a tres línies de flotació col·locades en punts diferents del procés d'obtenció de pastes reciclades.

1.2.5.2 Rentat

L'eliminació de la tinta mitjançant un procés de rentat es basa en la diferència de mida que existeix entre les partícules de tinta i les fibres de cel·lulosa. És un tipus de procés mecànic que consisteix en fer passar la suspensió de fibres i partícules de tinta sobre uns tamisos de dimensions de malla apropiats, de tal manera que deixin passar les partícules de tinta però no la suspensió fibrosa.

Perquè la separació sigui eficient, és adequat que els contaminants siguin petits (inferiors a les fibres) i que el tipus de tinta sigui dispersant.

Un flux d'aigua, normalment a contracorrent a través del tamís, és el que s'encarrega de fer la separació. Per aconseguir una separació eficient, sovint és necessari modificar les propietats superficials dels propis contaminants per tal que no interaccionin entre ells. L'addició d'algun agent dispersant o bé una variació de pH faciliten aquesta operació.

1.2.6. Dispersió i Trituració

Aquesta operació té com a objectiu principal dispersar els contaminants restants a la suspensió, però no eliminar-los, fet que permet però que deixin de ser visibles a simple vista i facilitar d'aquesta manera una etapa de blanqueig posterior.

En altres paraules, aquesta etapa permet aconseguir una qualitat del paper determinada, sobretot quan mitjançant les etapes anteriors no és suficient arribar-hi. La dispersió ajuda a disminuir la visibilitat de les tintes restants. Mitjançant aquest procés, es redueix la mida de les partícules de tinta gràcies un conjunt d'esforços mecànics de cisallament a alta temperatura fins a fer-les invisibles per l'ull humà.

A part de la dispersió de contaminants, tal com hem dit anteriorment, l'etapa de dispersió i trituració també permet reduir la mida dels stickies, debilita les partícules d'estucat o dels acabats superficials del paper i ajuda a modificar les característiques morfològiques del paper. En altres paraules, és com una etapa de refinatge prèvia.

1.2.7. Refinat

El procés de refinatge quan es tracta de pastes verges té com a objectiu principal modificar la morfologia de les fibres i la seva estructura físico-química mitjançant l'acció d'un treball mecànic i en presencia d'aigua. Amb el refinatge aconseguim fibril·lar, hidratar i tallar (efecte desfavorable però inevitable) les fibres i d'aquesta manera podem modificar les propietats del paper

Quan parlem de fibres secundàries provinents de paper reciclat, l'objectiu és el mateix però amb l'afegit que també és necessari corregir tots aquells efectes negatius que poden haver patit les fibres durant les etapes prèvies. Cal tenir en compte que aquestes fibres ja havien estat refinades, ja que són fibres provinents de paper reciclat, de manera que probablement tindran una sèrie de característiques morfològiques alterades, i que caldrà corregir. Malgrat això, és una etapa essencial per tal de que les propietats i característiques del paper final siguin les desitjades.

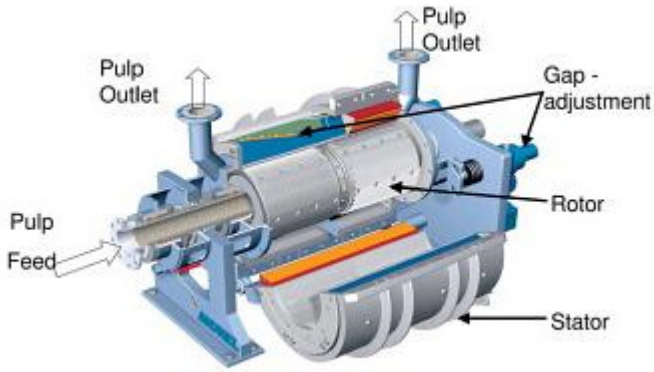


Figura 3.11: Esquema complet d'un refinador.

1.2.8. Blanqueig de les fibres secundàries

El blanqueig de la pasta destintada (DIP) és una de les etapes del procés d'obtenció de paper reciclat importants. Contribueix d'una forma decisiva a millorar les característiques òptiques de la pasta destintada: la brillantor de la pasta augmenta, s'eliminen les possibles taques i s'obté una pasta més blanca. Malgrat això, per raons econòmiques i degut a que és una etapa costosa, no sempre es realitza. Només quan la pròpia qualitat de la pasta ho exigeix, ja sigui per millorar tant la brillantor com la lluminositat i en funció de quin tipus de paper es vol obtenir. No s'exigeix el mateix grau de brillantor per un paper de premsa que per un paper d'impressió.

Les operacions de destintat per flotació, rentat, enzims... ajuden a millorar la blancor de la pasta però malgrat això cal optimitzar-les al màxim perquè la tinta residual afecta directament a la blancor del paper.

1.3. Tipus de contaminants presents en un procés de destintatge de paper reciclat:

S'entén per contaminant qualsevol fibra o component no fibrós que no s'afegeix intencionadament al procés de fabricació del paper, ja sigui per millorar-ne les seves propietats o bé per facilitar la seva neteja.

Així doncs, els contaminants que poden aparèixer durant un procés de destintatge de pastes provinents de paper reciclat poden ser de molts tipus. Poden ser contaminants pesants com partícules sòlides de sorra, grapes, partícules metàl·liques... les quals se solen eliminar mitjançant operacions de depuració centrífuga; també hi poden haver partícules més lleugeres com partícules fines de sorra, adhesius, partícules de tinta,

coles... que també poden ser fàcilment eliminades mitjançant processos de depuració centrífuga o rentat. Malgrat això però, existeixen uns altres tipus de contaminants anomenats "stickies". Aquest terme "stickie" s'utilitza normalment en el món de la indústria paperera per definir uns contaminants provinents de compostos orgànics. Aquestes partícules solen ser enganxoses, un fet que dificulta la seva separació ja que queden enganxades en les parts metàl·liques del equips, obturen les canonades reduint el seu diàmetre nominal i fins i tot precipiten, formant dipòsits a les parts inferiors dels equips.

L'absència d'un coneixement ampli de les interaccions que condueixen a la formació de "stickies" malgrat molts anys de recerca, fa que la formació d'aquest contaminant sigui un problema diari en una planta de paper, malgrat existeixen tècniques molt especifiques per alguns tipus de "stickies" emprant reactius químics però no una tècnica d'eliminació global.

1.4. DEPURACIÓ DEL PAPER

1.4.1. Depuració Ciclònica

Fins el 1940 els contaminants amb un pes específic alt com per exemple la sorra i la brutícia sòlida eren eliminats de les suspensions de pasta mitjançant uns dessorradors. Aquests consistien essencialment en un canal en el qual la polpa a baixa consistència es movia, permetent la sedimentació de les partícules més pesades. Aquestes unitats eren voluminoses i ineficients pel procés, i requerien d'una neteja manual freqüent.

Amb l'aparició dels hidrociclons, aquest antic mètode de depuració va quedar en un segon pla fins a deixar de ser utilitzable. Aquests hidrociclons, també anomenats depuradors dinàmics, permeten eliminar de la suspensió fibrosa aquelles partícules no desitjades mitjançant la combinació d'una força centrífuga i esforços tallants. Aquestes partícules podrien provocar un efecte negatiu a la qualitat final del paper o bé podrien ser un problema pels diferents equips que formen part del propi procés de fabricació del paper, ja que aquestes poden ser les causants de produir desgasts i fregaments en els equips.

Així doncs, no separen només per una diferència de pes (sedimentació) sinó que fins a cert punt també en funció de la forma de les partícules.

Per tal de que la depuració sigui eficient, és important que la densitat de les partícules no desitjades sigui superior i considerablement diferent a la de l'aigua; i que la grandària i la forma d'aquestes també difereixin de la resta dels components desitjables de la suspensió paperera.

La depuració centrífuga complementa a altres mètodes de separació com per exemple el tamisatge, malgrat es basi en un principi físic diferent. A diferència del tamisatge però, la neteja a través d'un hidrocicló no tendeix a deformar les partícules més suaus.

Usar paper vell té l'inconvenient associat d'haver de netejar-lo dels contaminants que acceleren el desgast de les màquines papereres, ja que poden danyar o taponar les teles i filtres. Depurar adequadament el paper és possible, malgrat té un cost important, i perquè a més a més genera una quantitat de rebuigs, que cal busca'ls-hi un destí mediambiental acceptable.

Optimitzar el funcionament dels equips de depuració és una necessitat important de la indústria recicladora, i també per aquelles que utilitzen fibres verges, ja que moltes

impureses s'han de separar per tal de que no apareguin en forma de taques en el producte final o per tal de que no afectin a propietats com la resistència, depenent del tipus de paper fabricat.

Tots els hidrociclons funcionen a partir del principi en el qual es genera un vòrtex lliure produït per una caiguda de pressió, que desenvolupa una força centrífuga. La font de potència és la bomba. La suspensió a depurar entra tangencialment a l'hidrocicló. L'entrada en espiral guia el flux de manera que es crea un moviment de rotació. A mesura que la suspensió flueix cap a l'interior de l'equip, la velocitat augmenta, la qual cosa produeix unes forces centrífugues fortes a prop del centre de manera que arrosseguen les partícules més denses cap a l'exterior, separant-les de la suspensió acceptada. Aquestes fibres acceptades, van cap a l'interior de l'equip i cap amunt, on hi ha la sortida de l'acceptat.
Les impureses es mantenen en el flux de corrent que es dirigeix cap avall, fins a l'extrem inferior de l'equip. A mesura que el diàmetre es va fen més petit, el flux és forçat cap a l'interior contra la força centrífuga que s'incrementa, la qual cosa concentra les impureses i allibera les fibres bones cap al flux d'acceptat.

Els hidrociclons amb un diàmetre petit són els que generen unes forces centrífugues més altes i són, en conseqüència, més efectius pel que fa a l'eliminació de diferents tipus de partícules petites de brutícia. Quan els hidrociclons s'utilitzen principalment per eliminar partícules grans i menys denses (paquets de fibres mal desintegrades, stickies...) s'utilitzen uns hidrociclons amb un diàmetre més gran, ja que s'ha demostrat que són més efectius.

Els hidrociclons s'utilitzen en la preparació de la pasta de cel·lulosa verge i la provinent de paper recuperat, la qual aquesta última té molta importància. Existeixen diferents tipus d'hidrociclons que operen a diferents consistències segons en quina part del procés es troben. Durant el procés, podem trobar hidrociclons que treballen a alta consistència HC (2-5%), a una consistència mitjana MC (1,5-2%) i fins i tot a una consistència baixa LC (0,5-1,5%). Normalment els hidrociclons HC estan situats després del procés de desintegració mentre que els de consistència mitjana els podem trobar al llarg de la línia de procés. Els de consistència baixa els trobem al final del procés de preparació de

pastes, ja que són els encarregats d'acabar d'eliminar aquelles partícules més petites que no han pogut esser eliminades pels demés equips de depuració.
Els depuradors d'alta consistència són els encarregats d'eliminar les partícules més pesants que es troben a la suspensió paperera com poden ser per exemple: trossos de metall, vidre, sorra i en general partícules amb dimensions des de 10-100μm fins a 8-20mm depenen de quin tipus són. Per contra, els depuradors de mitjana-baixa consistència s'encarreguen d'eliminar aquelles partícules més lleugeres com cera, plàstic, adhesius petits i fins i tot escuma.
La separació es dóna lloc a l'interior de l'hidrocicló gràcies a l'elevada velocitat amb la qual entra la suspensió al seu interior. Les partícules més pesants són forçades a xocar amb les parets exteriors de l'hidrocicló mentre que les partícules més lleugeres són conduïdes per la part central de l'equip. Els corrents de flux dels quals s'acumulen les partícules pesants com lleugeres, són separats del flux de pasta més neta.

El corrent a l'interior de l'hidrocicló és tridimensional i bifàsic. Tridimensional perquè té tres components: la circumferencial que es la que genera la força centrífuga, la component axial que mou les partícules sòlides cap a la part inferior del netejador i la component radial que s'encarrega de que el corrent net de la suspensió vagi cap al centre de l'hidrocicló, per tal de que posteriorment, gràcies a la creació d'un fort vòrtex al centre i la baixa pressió, impulsarà aquest corrent cap a la part superior del netejador.

Forces Característiques d'un Hidrocicló

La força més significativa que es genera a l'interior d'un hidrocicló degut a l'entrada tangencial de la suspensió és la força centrífuga. La força centrífuga que experimenta una partícula segueix la següent equació:

$$Fc = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

On: m = massa d'una partícula (Kg)
v = velocitat de la partícula (m/s)
r = radi del depurador centrífug (m)

Una altra força significativa que cal tenir en compte és la força d'arrossegament que pateixen les partícules, sobretot, segons la seva forma i densitat. Depèn també de la

viscositat de la suspensió. Generalment, la direcció de la força d'arrossegament s'oposa a la direcció de la força centrífuga. Segueix la següent equació:

$$Fa = \frac{C_a v^2 \rho A_p}{2}$$

On: C_a = coeficient adimensional partícules arrossegades

v = velocitat de la partícula (m/s)

ρ = densitat del fluid (Kg/m^3)

A_p = àrea de la partícula, perpendicular a la direcció del flux (m^2)

La tercera força significativa generada en un hidrocicló és la flotabilitat de les partícules. D'ella dependrà que les fibres es separin fàcilment dels contaminants, i que aquests, tinguin dificultats per flotar degut a la seva densitat i pes elevat. La fórmula és la següent:

$$F_f = \frac{V_p \rho v^2}{r}$$

On: V_p = volum de la partícula (m^3)

ρ = densitat del fluid (Kg/m^3)

v = velocitat de la partícula (m/s)

r = radi del depurador centrífug (m)

Aquestes tres fórmules, juntament amb el fet que els contaminants a l'interior del depurador són sotmesos a una acceleració deguda a una força centrífuga, el seu moviment pot ser conegut per mitjà de la Llei de Stokes, que fa referència a la força de fricció que experimenten aquests contaminants movent-se en el sí de la suspensió. La Llei de Stokes, segueix la fórmula següent:

$$u_t = \frac{r\omega^2 D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu}$$

On: u_t = velocitat terminal de la partícula (m/s)

r = radi del depurador centrífug (m)

ω = velocitat angular (rad/s)

D_p = diàmetre de partícula (m)

ρ_p = densitat de la partícula (Kg/m^3)

ρ = densitat del fluid (Kg/m^3)

μ = viscositat del fluid (cP)

El comportament d'un hidrocicló es mesura, normalment, en funció de la seva capacitat per eliminar les partícules de brutícia:

$$\text{Eficiència (\%)} = \frac{Brutícia_{a\,\lim ent.} - Brutícia_{accept.}}{Brutícia_{a\,\lim ent.}} \cdot 100$$

Igual que en els classificadors, l'eficiència dels hidrociclons està molt influenciada per la quantitat de polpa rebutjada. Normalment el percentatge de rebuig està en un rang entre el 10-20%. Alguns hidrociclons estan equipats amb un "sac dinàmic" unit al con inferior, amb la qual cosa s'aconsegueix que una certa quantitat de fibra bona torni a penetrar en el vèrtex del con mitjançant "elutriació".
La depuració mitjançant hidrociclons es dóna lloc normalment a una consistència relativament baixa (0,5-0,9%), ja que l'eficiència de depuració es veu afectada negativament a mesura que la consistència augmenta. La pèrdua de càrrega determina la capacitat hidràulica d'un hidrocicló i constitueix una mesura de la intensitat de l'acció centrífuga generada. Normalment aquests equips operen amb una pèrdua de càrrega de 2,1 a 2,45 Bar (30 a 35 psi).

L'eficiència d'un hidrocicló generalment augmenta quan:

- Augmenta l'acceleració centrífuga. Això succeeix quan la velocitat tangencial és alta i el diàmetre de l'hidrocicló és petit. La velocitat és dependent de la diferència de pressió entre l'entrada (inlet) i l'acceptat.
- La consistència de la suspensió és baixa, ja que a consistències elevades les fibres, més juntes, dificulten el moviment de les partícules indesitjables.
- En l'eliminació del rebuig, aconseguim que aquest corrent no es barregi amb el corrent de la pasta acceptada.

- El tipus de partícules indesitjables té les següents característiques:
- Densitat superior i molt diferent a la de l'aigua.
- Partícules de grans dimensions.

- Forma hidrodinàmica favorable.

Normalment els hidrociclons tenen tres connexions: una entrada per on entra la pasta "bruta", una sortida superior que normalment anomenarem acceptat ja que és per on sortirà la pasta "neta" i una sortida inferior que anomenarem normalment rebuig, ja sigui de partícules pesants com lleugeres. Els hidrociclons que normalment tenen aquest tipus de configuració són els HC (heavy cleaners) en altres paraules, de partícules pesants.

Per contra, els hidrociclons LC (light cleaners) de partícules lleugeres tenen una configuració lleugerament diferent. Igual que els anteriors, tenen una entrada per l'alimentació i una sortida per l'acceptat però poden tenir dos sortides inferiors pel rebuig, una per les partícules pesants i una per les partícules lleugeres i fins i tot a vegades tenen una sortida d'aire.

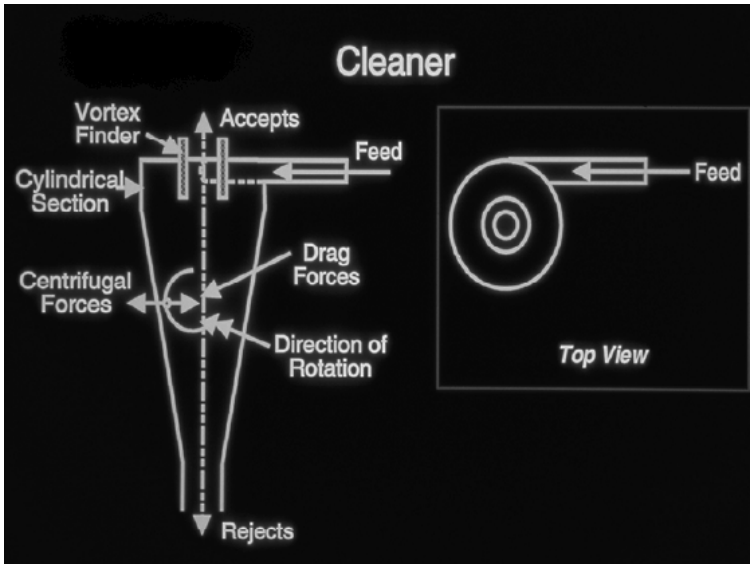


Figura 3.12: Combinació de les forces generades a l'interior d'un hidrocicló (An introduction to centrifugal cleaners).

<u>Variables que afecten el funcionament dels hidrociclons:</u>

Característiques de la pasta:

- Tipus de fibra.
- Característiques dels contaminants (mida, forma, densitat).
- Nivell d'impureses.

Disseny de l'hidrocicló:

- Diàmetre del cos.
- Configuració de l'entrada d'alimentació.
- Diàmetre de la sortida d'acceptats.
- Altura de la secció cilíndrica.
- Angles del con.
- Existència de ranures espirals.
- Mètode de control del cabal de rebuigs (orifici fix i contrapressió).

Variables operacionals:

- Cabal d'alimentació.
- Pèrdua de càrrega a l'hidrocicló.
- Consistència d'entrada.
- Percentatge de rebuig.
- Temperatura de la suspensió.
- Aire contingut a la suspensió.
- Contrapressió.
- Disposició de la càrrega de descàrrega.
  Elutiración (quan s'utilitza).

Problemes de funcionament:

El principal problema de funcionament amb els hidrociclons és l'obturació de l'orifici de rebuig degut a matèries estranyes, feixos de fibres o pasta d'alta densitat. L'orifici, normalment, es dimensiona per tal de tenir un nivell de rebuig raonable, però a vegades és necessari sobre-dimensionar-lo per tal d'evitar aquestes obturacions. El major tamany d'orifici per un percentatge determinat s'obté amb la mínima contrapressió a l'hidrocicló. Degut a l'efecte que es produeix per l'espesseïment de l'extrem inferior, la consistència del rebuig pot resultar ser fins a tres vegades la de l'entrada; la consistència de l'entrada es redueix, a vegades, per evitar obturacions. Algunes instal·lacions amb hidrociclons són "protegides" amb altres hidrociclons de gran diàmetre amb l'objectiu d'eliminar aquells materials grollers susceptibles de taponar les unitats de depuració més petites. En alguns casos, fins i tot, un tamís desfloculant col·locat abans dels

hidrociclons, pot ajudar a eliminar aquells feixos de fibres mal desintegrats i que podrien obturar els hidrociclons.

La introducció d'aire amb la pasta pot ser un problema en algunes aplicacions, especialment abans de la màquina de paper. Degut a l'existència d'un nucli buit que s'estén des de l'extrem dels rebuigs fins al tub dels acceptats, hi ha una forta tendència a recollir aire quan s'utilitza una descàrrega lliure. Aquesta entrada d'aire es pot evitar mitjançant una descàrrega submergida o a través d'una descàrrega de rebuigs descentrada per trencar el nucli buit en la cambra de rebuigs. Cal anar en compte però que aquesta mesura per tal d'eliminar l'aire no acabi afectant a l'eficiència de l'hidrocicló.

Disposició dels hidrociclons:

Els hidrociclons es disposen normalment amb una seqüència en cascada. Degut a que és necessari un cabal gran de rebuig per tal de que l'operació sigui eficient, són necessaris unes unitats addicionals per concentrar les impureses del corrent de rebuig i retornar les fibres bones al procés. La quantitat de fibra rebutjada és, normalment, inferior a l'1%.

Les instal·lacions primitives d'hidrociclons utilitzaven un gran número d'unitats individuals amb una disposició vertical oberta, amb tubs d'unió a l'alimentació i als capçals dels acceptats, i una descàrrega oberta a la coberta dels rebuigs.

La majoria de les noves instal·lacions estan agrupades en contenidors amb envoltoris o carcasses amb dissenys diferents. La disposició horitzontal amb piles suposa uns estalvis d'espai importants mentre que la construcció tancada permet un bon manteniment.

A continuació veure'm els tipus d'hidrociclons més comuns que es poden trobar a una indústria paperera. Una instal·lació de depuració d'aquesta magnitud està sempre formada per una sèrie d'hidrociclons (bateria d'hidrociclons), connectats entre sí amb una seqüència en cascada, amb la qual hi ha hidrociclons de tots els tipus, per tal d'optimitzar al màxim la depuració. Com és lògic, els primers equips de la seqüència solen ser depuradors d'alta densitat, essent els de baixa densitat els del final.

Tipus d'hidrociclons

- Hidrociclons d'Alta Consistència (HC):

Aquests es col·loquen després de l'etapa de desintegració i pulpejat i treballen a unes consistències entre el 2-5% i a vegades fins al 6%. Són els tipus d'hidrociclons més grans que s'utilitzen en la indústria paperera. S'utilitzen per fer una neteja prèvia (grollera) per tal d'eliminar aquelles partícules pesants superiors a 1 mm (partícules de sorra, partícules metàl·liques, stickies grans, etc). La seva densitat ha de ser significativament superior a la de l'aigua (1000Kg/m^3). Aquestes partícules poden obstruir, desgastar i fins i tot danyar els demés equips del procés i per aquest motiu és important eliminar-les.

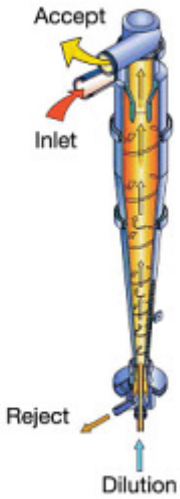


Figura 3.13: Esquema d'un hidrocicló d'alta consistència (Handbook of paper and board).

L'eficàcia d'aquests separadors dependrà de la mida de les partícules (preferiblement grans), de la consistència de la suspensió i de la pèrdua de càrrega (50 a 250kPa).

La gran majoria d'aquests netejadors es basen en el principi de contracorrent.

Actualment existeixen dos tipus d'hidrociclons d'alta consistència: els de vòrtex lliure, que són els més comuns i els de rotor induït.

Malgrat existeixen diferents tipus, tots tenen una configuració semblant, amb la suspensió fibrosa sortint per la part superior, i els contaminants pesants per la part inferior. Es coneixen com els depuradors centrífugs estàndard.

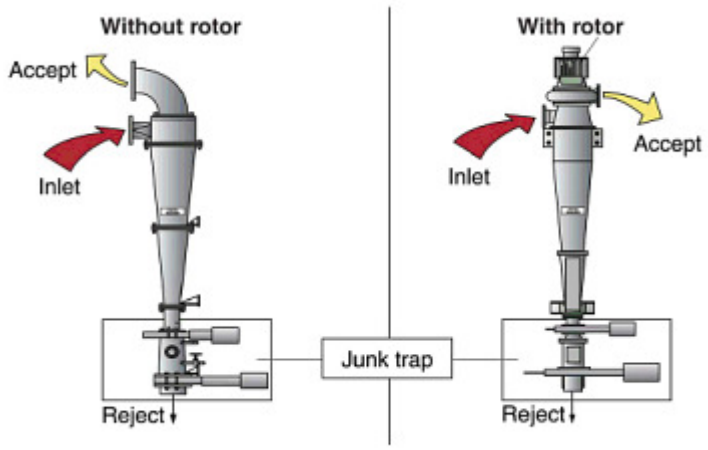
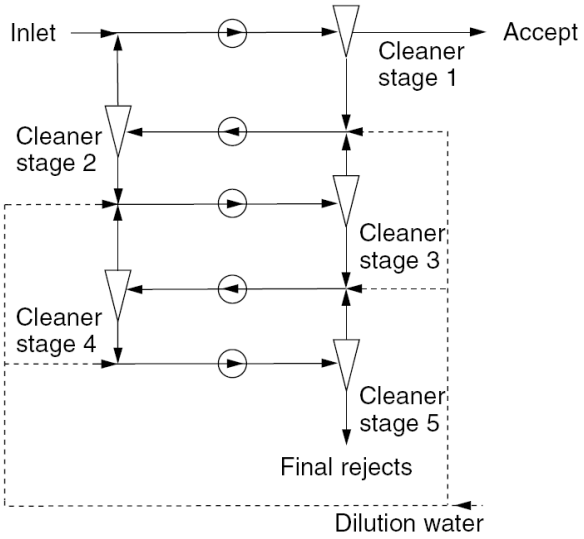


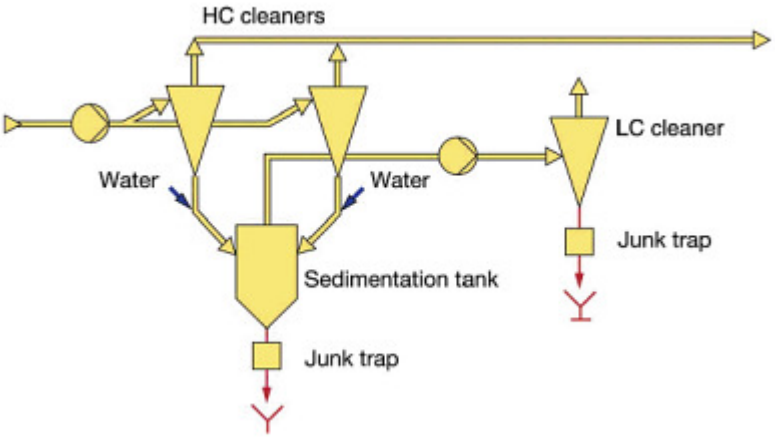
Figura 3.14: Hidrociclons d'alta consistència amb rótor i sense (Voith).

La descàrrega del rebuig es pot realitzar per càrregues (majoritàriament sense una etapa final) o bé en continu, però en aquest cas és necessària una etapa final de dilució del rebuig, i un posterior depurat d'aquest.

Per millorar la seva eficàcia, normalment la seva instal·lació és fa col·locant més d'un hidrocicló amb un sistema en cascada. Una instal·lació d'hidrociclons amb un sistema en cascada es basa fonamentalment en fer passar la part acceptada d'un hidrocicló com l'alimentació per l'hidrocicló anterior hi així successivament. Els rebuigs, o bé es van acumulant en un tanc de sedimentació, on posteriorment són diluïts i depurats de nou per tal de separar aquelles fibres que hagin pogut esser arrossegades o bé entren com l'alimentació de l'hidrocicló posterior. La concentració de la part rebutjada de l'últim hidrocicló de la seqüència és molt elevada. Pel que fa al primer hidrocicló, la part acceptada ja és separada directament.

Normalment aquests sistemes o seqüències d'hidrociclons es composen per 4 o 5 etapes, les quals les últimes, i degut a que la quantitat de contaminants pesants és inferior, solen estar composades per hidrociclons de consistència mitjana o fins i tot de consistència baixa.





Figures 3.15 i 3.16: Seqüències d'hidrociclons, amb cascada en el primer cas i un sistema amb hidrocicló HC primari i un de LC secundari (Handbook of paper and board).

- Hidrociclons de Consistència Mitjana (MC):

Aquests hidrociclons treballen normalment a unes consistències aproximadament del 2%. No són tant grans com els anteriors sinó que són d'una grandària mitjana i, tal com he dit anteriorment, es col·loquen normalment enmig d'una seqüència de depuració centrífuga, permetent d'aquesta manera que la pèrdua de fibres pel rebuig no sigui tan elevada. Poden eliminar trossos de vidre i de plàstic, sorra fina, etc.

- Hidrociclons de Consistència Baixa (LC):

Aquests netejadors centrífugs treballen a unes consistències entre el 0,5 i 1,5% i com és lògic tenen unes dimensions inferiors als hidrociclons d'alta i mitjana consistència. A causa de la baixa consistència i l'elevada força centrífuga (diàmetre petit i velocitat centrífuga alta) l'eliminació pel rebuig és major i contínua. Bàsicament eliminen partícules lleugeres com partícules fines de sorra, adhesius, stickies petits, escuma, ceres, etc.

A l'actualitat, existeixen tres tipus de depuradors de contaminants lleugers:

- Depuradors Centrífugs Inversos: aquests tenen un disseny semblant al dels hidrociclons estàndard d'alta consistència, essent l'alimentació per allà mateix però es diferencien ja que el rebuig surt per la part superior mentre que l'acceptat, per la part inferior. Cal tenir en compte però, que el rebuig en aquest cas el formen les partícules contaminants lleugeres, ja que pesen menys que la suspensió fibrosa, motiu pel qual surten per la part superior. Mentre, per la part inferior obtenim la suspensió fibrosa (acceptat), més pesant que els contaminants lleugers. La consistència de l'alimentació està al voltant del 0,8-1%, i, gràcies a l'eliminació de contaminants lleugers, aconseguim espesseir la suspensió fibrosa, la qual l'obtenim a una consistència al voltant de 1,7%. Amb aquests depuradors la pèrdua de fibres està al voltant del 20%.

A més a més, permeten eliminar l'aire que es troba a la suspensió, ja que es pot considerar un contaminant més, sobretot per la formació de bombolles.

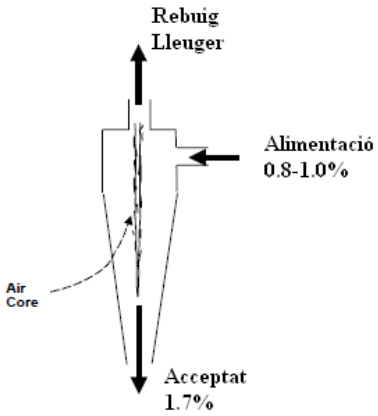


Figura 3.17: Esquema d'un depurador centrífug invers (An introduction to cenrifugal cleaners)

- Depuradors Centrífugs de Flux Paral·lel: aquests depuradors tenen com a principal característica que tant la sortida d'acceptats com la de rebuigs es troben a un mateix

extrem, l'inferior. Poden ser de dos tipus: pressuritzats o oberts a l'atmosfera. Un gran avantatge d'aquest tipus de depuradors és la seva elevada eficiència, ja que la pèrdua de fibres és inferior al 2%. Aquests depuradors són molt adequats quan hi ha poca quantitat de contaminants lleugers. Per aquest motiu, la consistència de l'acceptat pràcticament no varia.

Figura 3.18: Esquema d'un depurador centrífug de flux paral·lel (An introduction to cenrifugal cleaners)

<u>- Depuradors Centrífugs de Cos Rotatori:</u> aquest tipus de depurador centrífug és el més eficient i el que requereix de menys espai. Està format bàsicament per un cilindre rotatori. La suspensió a depurar és introduïda a l'interior d'aquest cilindre, la qual es veu accelerada degut al moviment rotatori de l'equip. La velocitat centrífuga de la suspensió és lleugerament superior a la del cilindre, fet que permet que els contaminants entrin en contacte més fàcilment amb les parets de l'equip i els diferents obstacles o deflectors que es troben a l'interior. La fibra acceptada s'extreu per la part oposada de l'equip, mentre que els contaminants, són empesos per una diferència de pressió cap al vòrtex central de l'equip, per on són eliminats. Hi ha un aprofitament de l'energia cinètica de l'equip, la qual s'utilitza per alimentar un segon rotor que permet l'extracció de les fibres depurades. Gràcies a l'elevada eficiència, normalment només requereixen

d'una sola etapa. La consistència de les fibres pot arribar fins un 2%, mentre que els índexs de rebuig poden arribar a ser inferiors al 0,1%.

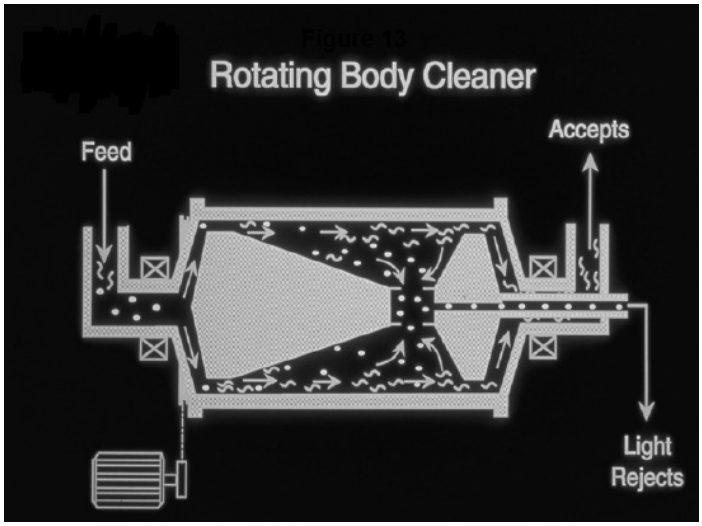


Figura 3.19: Esquema d'un depurador centrífug de cos rotatori (An introduction to cenrifugal cleaners)

Nous sistemes innovadors de depuració:

Durant els últims anys, el tema de la depuració centrífuga ha tingut un desenvolupament continu, ja que es tracta d'una depuració eficient, senzilla i que no necessita pràcticament de components electrònics, sinó que la separació es realitza gràcies a un fenomen físic. Així doncs, les millores han estat continues, i sempre enfocades en millorar l'eficiència de separació. A continuació veure'm un nou sistema innovador, que incorpora un gran nombre d'hidrociclons de petites dimensions, situats tots en una mena de cistella.

- Cistella (Canister): els depuradors són introduïts a l'interior d'una estructura d'acer inoxidable, que permet la instal·lació de molts d'ells a través d'uns forats de petites dimensions. Aquests disposició és ideal quan es treballa a una consistència baixa (inferior a l'1%) i es necessita requerir d'una eficiència molt elevada. L'alimentació ha de ser a pressió elevada.

A la següent fotografia es pot veure un exemple d'aquest innovador sistema, que incorpora un gran nombre de depuradors *Tripac 90 de GL&V* de diàmetre molt petit,

però d'una eficiència molt elevada, gràcies a l'elevada força centrífuga generada. Es tracta però, d'un sistema molt compacte.

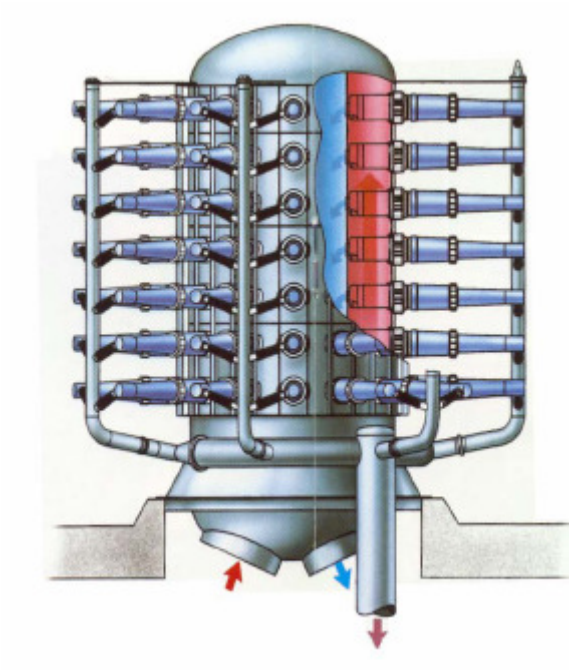


Figura 3.20: Bateria de depuradors centrífugs de baixa consistència en forma de cistella (GL&V).

És important que la pasta tingui les característiques ideals per poder ser introduïda a l'interior d'aquest sistema, ja que si no és així, els problemes degut a obturacions serien molt freqüents.

Així doncs, el principal inconvenient d'aquest innovador sistema rau en el manteniment. El seu manteniment no és fàcil, principalment perquè la planta funciona durant pràcticament tot l'any. Per això, quan la planta para la producció pel manteniment de les màquines principals, s'aprofita per fer també el manteniment d'aquests hidrociclons. Com és lògic, fer el manteniment quan la planta està en funcionament es fa difícil, i no resulta beneficiós parar un equip de depuració perquè un hidrocicló petit s'hagi espatllat.

Malgrat és un sistema molt innovador, resulta complicat poder-lo utilitzar sempre que es vulgui, tant per temes econòmics com de manteniment, per això només s'utilitza quan es necessiten unes eficiències de depuració molt elevades.

Per tant, resulta obvi que una planta de producció de pastes es decanti més per una instal·lació de depuració amb la qual els hidrociclons es disposen formant bateries d'hidrociclons, connectats entre si.

Aquesta disposició és la més comuna, ja que permet un millor accés als diferents separadors i un manteniment més senzill.

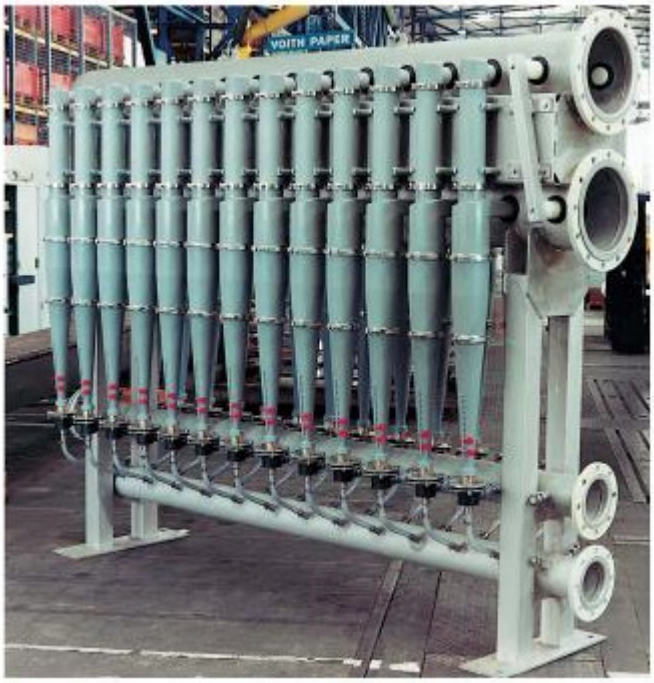


Figura 3.21:Disposició en bateria vertical d'hidrociclons industrials.

APARTAT 4:

ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES DE L'AGITADOR

4.1. Necessitats

Per la nostra instal·lació, necessitem un agitador que ens mantingui la suspensió homogènia en tot el dipòsit, per tal de que no es produeixin gradients de consistència diferent. L'agitació ha de ser suau i ens interessa que l'agitador sigui d'eix vertical, ja que anirà muntat mitjançant un suport a sobre el dipòsit.

4.2. Justificació de l'elecció d'aquest agitador

Aconsellats per l'empresa *TorrasPapel* i més concretament gràcies a l'ajuda del Sr. Ricard Batalla, vam contactar directament amb l'empresa INOXPA, que fabriquen bombes, agitadors, etc. bàsicament per empreses alimentàries.
Després d'explicar-los-hi les nostres necessitats, ens van ofertar un agitador amb les següents especificacions:

- Potència = 0,55 KW – 251 rpm – motor reductor 4 pols 230 / 400V – 50 Hz
- Hèlice Marina Diàmetre 350 mm
- Material: Acer Inox AISI 316L
- Eix vertical amb fixació per brida rodona

Tipo agitador	Potencia motor	Velocidad	Dimensiones						Eje agitador		Tipo 10 Hélice marina
					Brida						
	[kW]	[rpm]	C	E	ØA	ØB	ØDN	ØG(n)	Ød	Lmáx.	ØH
NBI 1.10-4055-1-175	0,55	rpm a determinar en función de la potencia absorbida	405	19	160	130	65	10,5 (4)	20	1400	175
NBI 1.10-4055-1-200											200
NBI 1.10-4055-1-250											250
NBI 1.10-4055-1-300											300
NBI 1.10-4075-1-200	0,75										200
NBI 1.10-4075-1-250											250
NBI 1.10-4075-1-300											300
NBI 1.10-4110-1-250	1,1		445						25	1600	250
NBI 1.10-4110-1-300											300
NBI 1.10-4110-1-350											350
NBI 1.10-4150-1-250	1,5										250
NBI 1.10-4150-1-300											300
NBI 1.10-4150-1-350											350

Figura 4.1: Gamma d'agitadors que ofereix Inoxpa amb les seves característiques (Inoxpa S.A.)

Tota la informació addicional a l'agitador, ja siguin les seves especificacions tècniques, el manual de manteniment, dimensions, manual de muntatge, etc, es podrà consultar a l'apartat de documents annexos 1.

APARTAT 5:

ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

5.1. Necessitats

Les nostres necessitats depenen de la configuració de l'hidrocicló. Les variables òptimes perquè aquest equip treballi de manera eficient són:

- Cabal = 350 L/min
- Pressió = 1,5 Bar (a l'entrada)
- Producte: aigua amb sorra o pasta de paper.

Conegudes les necessitats del nostre equip, només fa falta trobar la bomba més adequada perquè ens doni aquest cabal amb aquesta pressió i amb un rendiment acceptable.

5.2. Justificació de l'elecció d'aquesta bomba

Per elegir una bomba que la seva funció bàsica serà impulsar un producte determinat a una alçada (pressió) i un cabal determinat, és important seguir una sèrie de passos per tal de que l'elecció d'aquesta bomba sigui la correcta.

Determinació del flux: laminar o turbulent.

Per saber si el flux serà laminar o turbulent, cal determinar el nombre de Reynolds mitjançant la següent expressió: (considerem que el producte és aigua).

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

v = velocitat del flux (m/s)

d = diàmetre de la tuberia (0,065 m)

ρ = densitat del producte (1000 kg/m^3)

μ = viscositat del producte (0,001 Pa · s)

$$Velocitat = \frac{Cabal}{Suprfície} = \frac{21 m^3/h}{\frac{\pi \cdot 0.065^2}{4}} = 6325{,}3 \frac{m}{h} x \frac{1h}{3600 seg} = 1{,}75 \frac{m}{s}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1{,}75 \cdot 0{,}065 \cdot 1000}{0{,}001} = 113750 = 1{,}13.10^5$$

El flux és turbulent, ja que és superior a 2320.

Determinació de la pèrdua de càrrega a l'aspiració

La pèrdua de càrrega en una tubera és deguda al fregament entre el líquid i les parets de la tubera i als elements o accessoris que hi pugui haver (colzes, vàlvules, tes...).

Per determinar-la de manera aproximada, es pot fer ús del següent gràfic, el qual relaciona el cabal, la velocitat i el diàmetre de tubera per donar un valor de percentatge de pèrdua de càrrega. Conegut aquest percentatge, es calcula la longitud equivalent de tubera que provoquen els diferents accessoris i s'aplica el percentatge de pèrdua equivalent.

Cabal = 350 L/min = 21 m^3/h
Diàmetre tuberia = 65mm
Velocitat del flux = 1,75 m/s

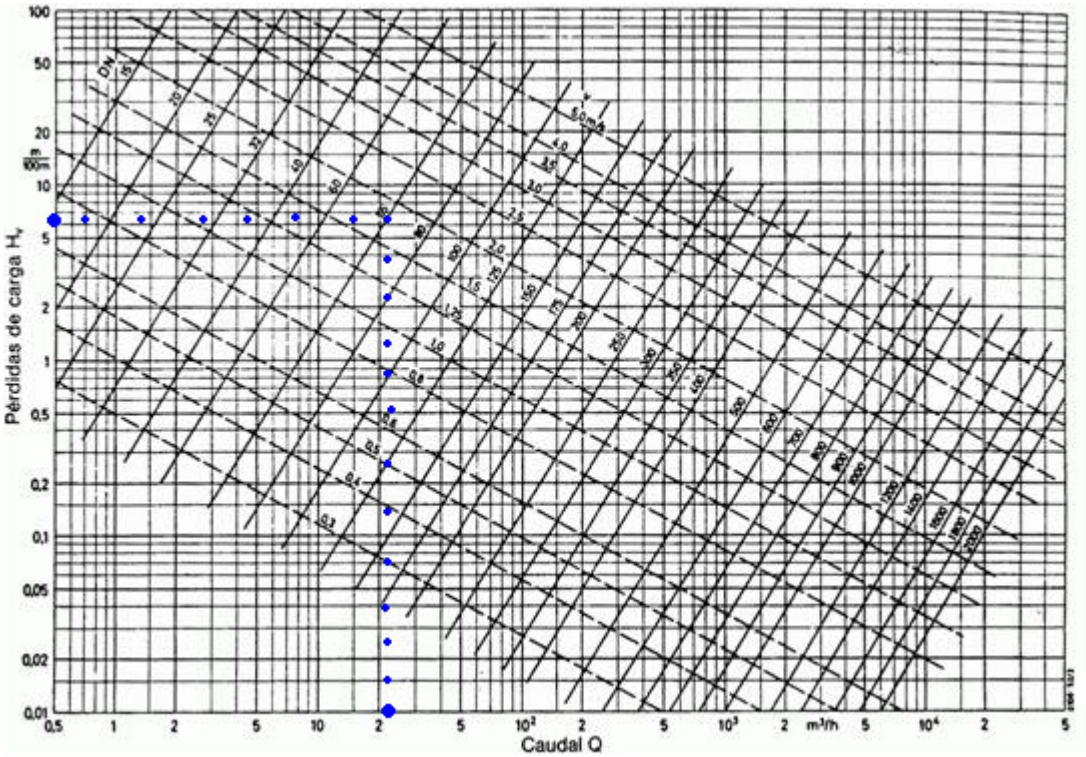


Figura 5.1: Diagrama pel càlcul de pèrdues de carrega en conductes (Colebrook)

Percentatge pèrdua de càrrega (segons gràfic) = 6m / 100m = 6%

Longitud equivalent de tub:

Longitud tuberia = 1m

Accessoris: 3 colzes 90º = 3 x 1,4 = 4,2m

1 te = 1 x 4,4 = 4,4m

1 vàlvula = 1 x 1,5 = 1,5m

Diameter DN [mm]	25	40	50	65	80	100	125	150
Standard valve	2.1	4.6	7.5	11.0	14.0	20.0	28.0	37.0
Free-flow valve	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8	2.2	2.9	3.7
90° valve	3.2	5.0	7.2	10.0	13.0	17.0	23.0	31.0
Elbow 90° R = 4 x d	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.3
Elbow 90° R = 3 x d	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.2	2.8	3.5
Tee (diffusion)	1.6	2.0	2.5	3.3	4.0	4.8	5.7	6.8
Tee (junction)	2.0	2.6	3.2	4.4	5.8	7.5	10.0	13.0

Figura 5.2: Taula d'equivalències (factors) per accessoris de tuberies (FRISTAM S.L)

Longitud equivalent = 1m + 4,2m + 4,4m + 1,5m = 11,1m

Pèrdua de càrrega de l'aspiració = 6% de 11,1 = 0,06 x 11,1 = 0,666 m = 0,066 Bar

Determinació de la NPSH de la instal·lació

Conèixer el valor de la NPSH (altura neta positiva de l'aspiració) és important, ja que d'ella en depèn el funcionament de la bomba. Si la pressió del circuit és menor que la pressió de vapor del líquid, la bomba es veurà afectada per un fenomen anomenat cavitació, dificultant la circulació del líquid i danyant els elements de la bomba.

NPSH (instal·lació) = $Patm + Hd - Hga - Hra - Pv \geq 0$

On: Patm = pressió atmosfèrica

Hd = altura de líquid al dipòsit

Hga = diferència d'altura entre l'aspiració de la bomba i el nivell d'aspiració mínim del dipòsit

Hra = pèrdues de càrrega a l'aspiració

Pv = pressió de vapor del líquid a la temperatura ambient

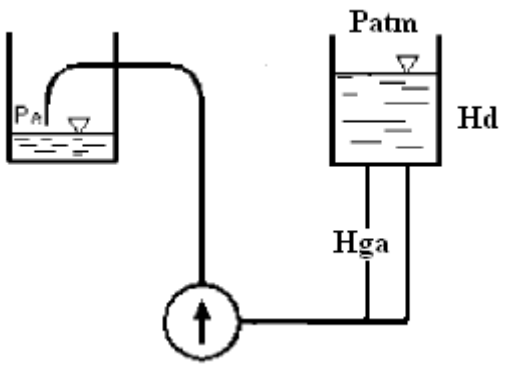


Figura 5.3: Disposició dels dipòsits i bomba de la nostra instal·lació

Hra = 0,666 m

Pv (20ºC) = 17,535mm HG

(veure taula de les pressions de vapor de l'aigua a diferents temperatures: http://slbn.files.wordpress.com/2008/09/tabla_presion-de-vapor.pdf)

$$\text{Pv} = 17{,}535 mmHG \, x \frac{1atm}{760mmHG} x \frac{10{,}33 m.c.a}{1atm} = 0{,}23m$$

NPSH (instal·lació) = 10m + 1m – (- 0,25m) – 0,666m – 0,23m = 10,35m

La instal·lació disposa de 10,35 metres favorables per l'aspiració de la bomba.

Elecció de la bomba adequada

Coneguts els paràmetres característics de la nostra instal·lació, el següent pas ja és escollir la bomba adequada. Aquesta bomba, a part d'ajustar-se als valors anteriorment calculats, ha de ser capaç de proporcionar-nos 1,5 Bar de pressió a l'entrada de l'hidrocicló.

Actualment al mercat hi ha molts fabricants de bombes centrífugues, de forma que tindrà una gran importància en l'elecció final el preu que ens ofertin per decantar-nos amb un o un altre. Després d'estudiar diferents ofertes, ens vam acabar decantant pel proveïdor *FRISTAM IBERICA S.L*, tant pel que fa al preu com perquè ens garantia un funcionament fiable de la bomba i per les facilitats que ens proporcionava, en temes de manteniment com d'un possible canvi en cas d'un mal funcionament.

Així doncs, segons *FRISTAM S.L*, la bomba que se'ns ajusta més a les nostres característiques és:

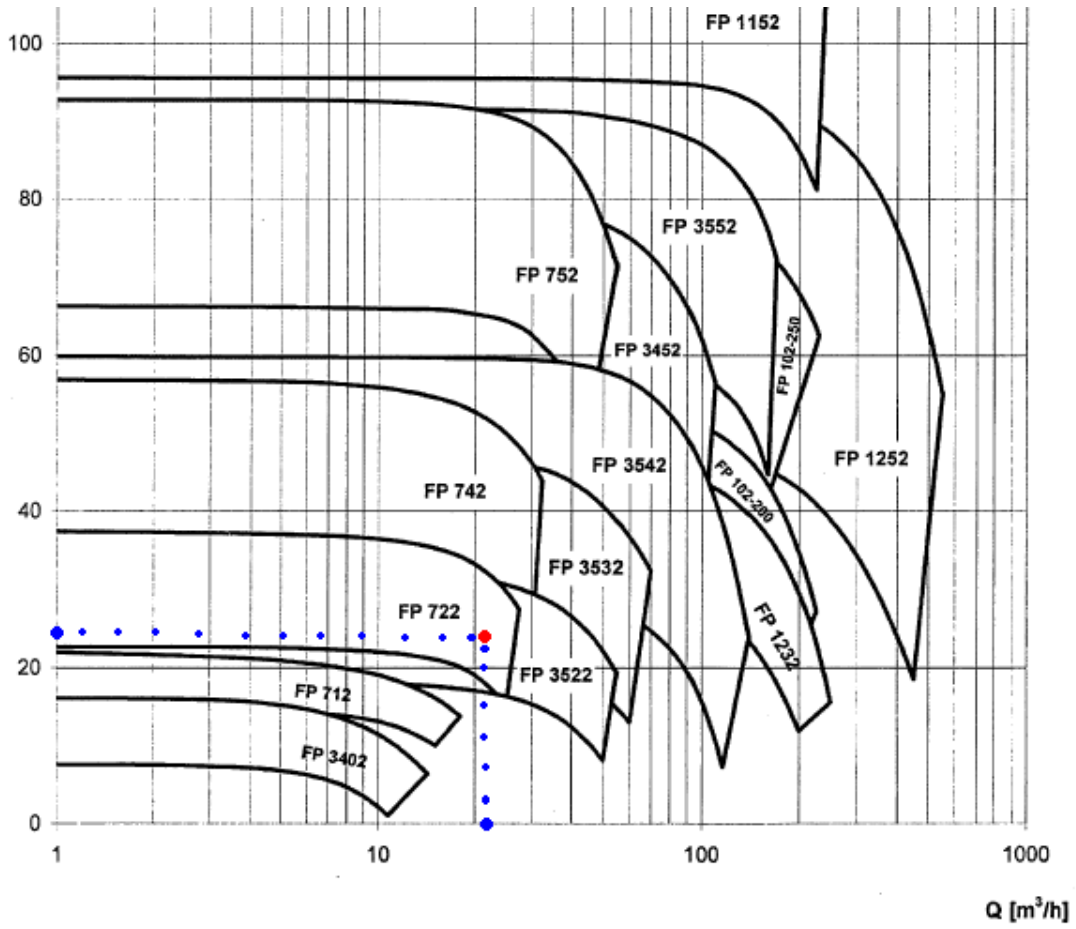


Figura 5.4: Diagrama d'elecció de la bomba adequada (FRISTAM S.L)

En el gràfic es pot veure que semblaria que el model adequat seria el FP 722, però degut a que està molt al límit pel que fa a les prestacions que necessitem, s'ha optat per triar el model següent, que ens assegura unes prestacions més adequades. El model adequat és:

Bomba Centrífuga model FPE 3522 / 130B

Les característiques més importants d'aquesta bomba són:

- Impulsió: fins a 25 metres (2,5 Bar).
- Potència: 4 KW – 2900 rpm – 50 Hz
- Material: Acer Inoxidable AISI 316L
- Tanca mecànica
- Rodet totalment obert de diàmetre 130

Corbes Característiques de la Bomba

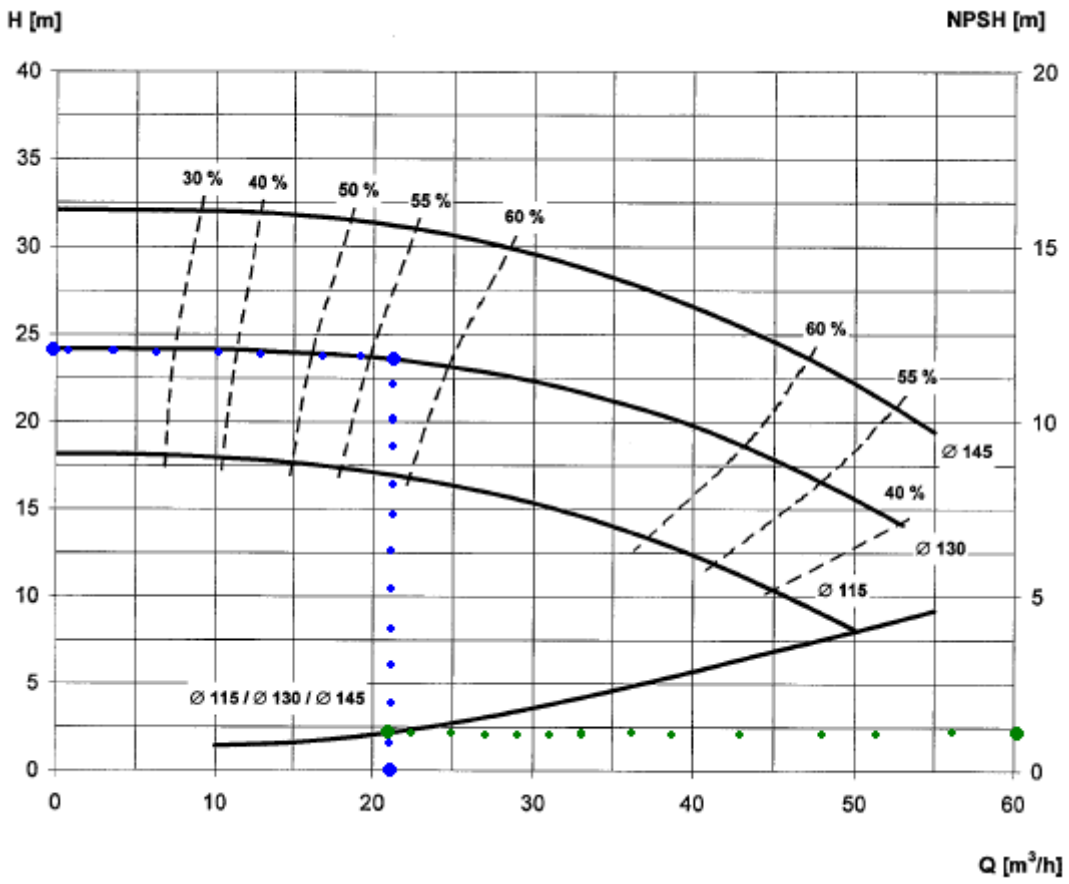


Figura 5.5: Corbes característiques de la bomba centrífuga (FRISTAM S.L)

D'aquesta gràfica, en podem treure les prestacions de la nostra bomba:

- Rendiment aproximat entre el 55 – 60%
- NPSH de la bomba = 1 metre

Tota la informació addicional a la bomba centrífuga, ja siguin les seves especificacions tècniques, el manual de manteniment, dimensions, manual de muntatge, etc, es podrà consultar a l'apartat de documents annexos 2.

APARTAT 6:

ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES DE L'HIDROCICLÓ

L'hidrocicló instal·lat és de la marca *GL&V* model Celleco Cleanpac 350 cedit per la pròpia empresa comercialitzadora per fins acadèmics.

Parts de l'hidrocicló

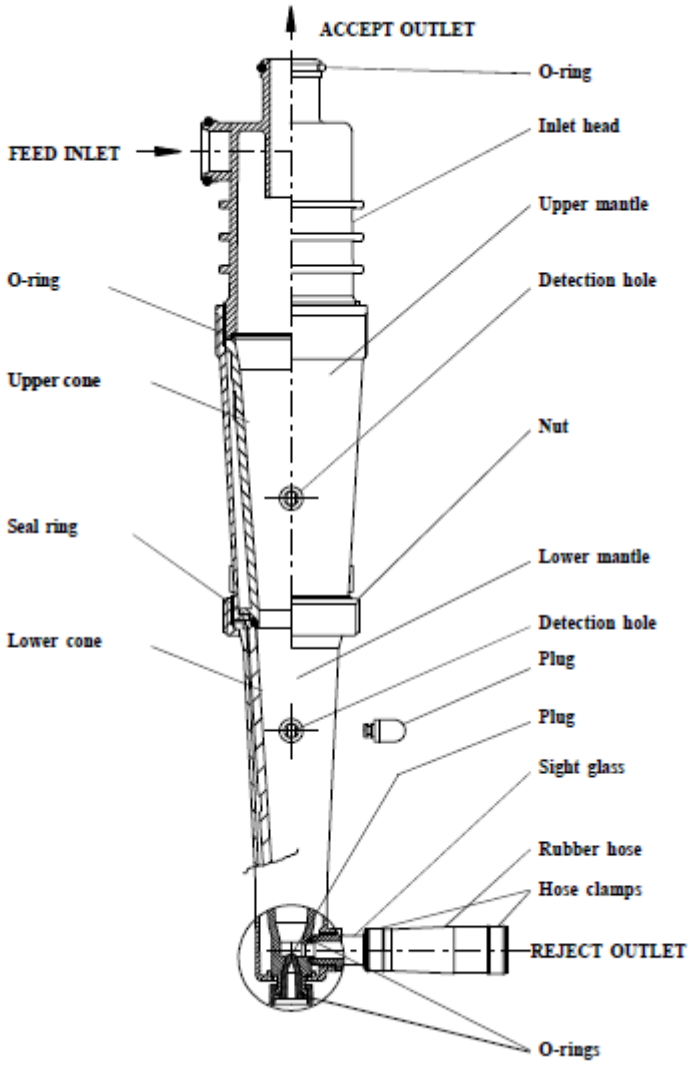


Figura 6.1: Parts de l'hidrocicló instal·lat (Manual GL&V)

Tota la informació addicional a l'hidrocicló, ja siguin les seves especificacions tècniques, el manual de manteniment, dimensions, manual de muntatge, etc, es podrà consultar a l'apartat de documents annexos 3.

Paràmetres de funcionament

Els paràmetres específics de funcionament de l'hidrocicló, estan resumits en el següent quadre:

The capacity of the CLP 350 cleaner is dependent on the pressure drop between the feed and accept headers:

Pressure Drop (Fp - Ap)	Capacity: Standard Inlet Head	Capacity: High Flow Inlet Head
100 kPa (14 psi)	365 l/min (96 USGPM)	430 l/min (114 USGPM)
120 kPa (17 psi)	400 l/min (106 USGPM)	470 l/min (125 USGPM)
150 kPa (21 psi)	450 l/min (118 USGPM)	525 l/min (139 USGPM)

Max. accept pressure allowed for a standard performance CLP 350 Bank is 150 kPa.
Max. accept pressure allowed for a reinforced performance of CLP 350 Bank is 300 kPa.

Figura 6.2: Paràmetres específics de funcionament de l'hidrocicló (GL&V)

El quadre anterior, relaciona la pèrdua de càrrega entre l'entrada i la sortida dels acceptats amb el cabal estàndard i el màxim que és capaç de suportar l'hidrocicló.
La pressió màxima a la que pot entrar el flux és de **3 bar**.

Connexió de l'hidrocicló amb la tubera

La connexió entre l'hidrocicló i la tubera es fa mitjançant una platina i una junta tòrica, tal i com es pot veure en la següent fotografia. Mitjançant uns cargols passants, aquesta platina es pot estrènyer més o menys i també permet poder separar fàcilment l'hidrocicló de la tubera, ja sigui per treballs de manteniment o bé per fer un canvi d'hidrocicló.

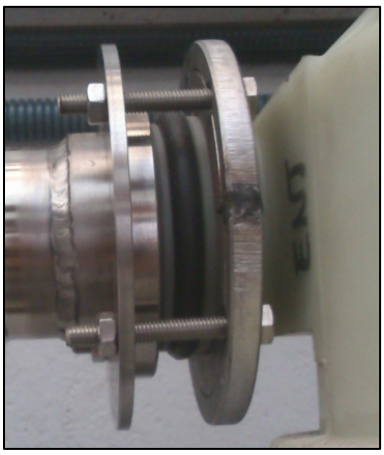


Figura 6.3: Fotografia de la connexió entre la tubera i l'hidrocicló.

APARTAT 7:

ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES DELS DISPOSITIUS DE MESURA I CONTROL

- Manòmetres de membrana:

Per la mesura de la pressió manomètrica, s'utilitzaran 3 manòmetres de membrana de la marca *MeI* col·locats a l'entrada de l'hidrocicló i tant a la sortida dels acceptats com dels rebuigs.

És necessària la membrana ja que la pasta de paper és un fluid viscós i d'aquesta manera evitarem que entri a l'interior del manòmetre i el pugui danyar.

Característiques d'aquests manòmetres

- Escala: 0 – 4 Bars
- Amplitud d'escala: 270º
- Membrana elàstica de protecció (element sensible)
- Temperatura del fluid: de – 25ºC a 65ºC
- Connexió a procés: AISI 316L
- Visualitzador: de cristall
- Cos: d'acer inoxidable
- Agulla indicadora: d'alumini amb ajust micromètric

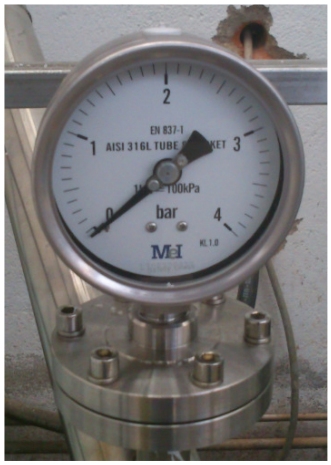


Figura 7.1: Fotografia del manòmetre de membrana instal·lat.

- Vàlvules de Pas:

Per controlar el pas del flux a través de la instal·lació, s'instal·laran 17 vàlvules d'esfera de pas total (2 peces) de la marca *Genebre* de 1" ½ excepte dues, que seran de 2" pel buidat dels dipòsits.

Característiques d'aquestes vàlvules

- Vàlvula d'esfera de pas total (2 peces) de 1" ½ i 2"
- Material: Acer Inoxidable AISI 316
- Palanca manual amb sistema de bloqueig
- Temperatura: - 25ºC a 180ºC
- Extrems soldables

Figura 7.2: Fotografia de les vàlvules de bola instal·lades.

- Transmissor de pressió diferencial:

Per la posta en marxa de l'hidrocicló i per obtenir-ne la màxima eficiència i també per activitats de docència, és important disposar d'una lectura de caiguda de pressió (pressió diferencial) entre l'entrada de l'hidrocicló i la sortida dels acceptats.

Per aconseguir aquesta mesura, s'instal·larà un transmissor de pressió diferencial de la marca *Aplisens model Apre- 2000PD.*

Aquest transmissor, està format per dos segells amb diafragma que li comuniquen la pressió dels punts on estan connectats mitjançant un tub capil·lar. Aquest transmissor, mitjançant la senyal de 4-20mA, transforma aquesta lectura en una lectura de diferència de pressió. Necessita d'una calibració prèvia.

Característiques d'aquest transmissor

- Rang de Temperatura d'operació: de – 25ºC a 80ºC.
- Pressió estàtica màxima: fins a 40 Bars.
- Senyal de sortida: 4-20mA.
- Rang de mesura: 0 a 3 Bars.

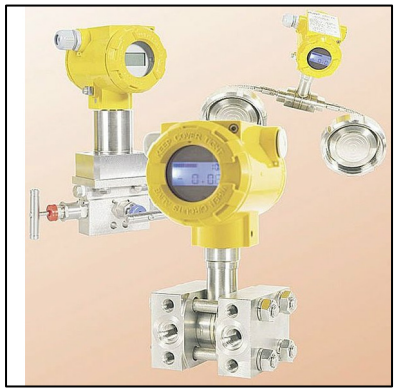


Figura 7.3: Fotografia del transmissor de pressió diferencial.

Tota la informació addicional dels elements de mesura i control, ja siguin les seves especificacions tècniques, els manuals de manteniment, dimensions, manuals de muntatge, etc, es podrà consultar a l'apartat de documents annexos 4.

APARTAT 8:

EQUIPS - DISPOSITIUS EMPRATS I CÀLCULS ESQUEMA ELÈCTRIC

8.1. Equips i dispositius emprats

Protecció quadre elèctric:

- Interruptor General 400V / 32A.
- Interruptor Diferencial 40A / 300 mA de sensibilitat i 4 pols

Control i Protecció Bomba:

- Variador *GEFRAN* model ADV20.
- Protecció Bomba: 1 Tèrmic de 16A.
- Potenciòmetre per les consignes de velocitat.
- Selector per l'engegada i parada de la bomba.
- 1 Pilot vermell d'alarma.

Control i Protecció Agitador:

- Protecció Agitador: 1 Tèrmic de 1,6A i Contactor de 5,3A.
- Selector per l'engegada i parada de la bomba.

Protecció Transformador:

- Transformador 63 VA (400V-24V).
- Protecció Transformador: 2 Fusibles de 6A.

L'interruptor general porta un mecanisme de seguretat que no permet l'entrada de corrent en cas que les portes del quadre elèctric no estiguin tancades.

8.2. Circuit de Potència i Maniobra

La corrent d'alimentació al quadre elèctric serà de 400V - 50Hz trifàsica.

Un interruptor general i un únic diferencial, protegeixen el quadre elèctric i tot el circuit.

La maniobra del quadre elèctric s'ha d'encarregar de l'encesa i l'apagada, tant de la bomba com de l'agitador. Per això és necessària la incorporació d'un transformador per

transformar el potencial (esquema de potència) de 400V a 24V, un voltatge més segur per fer la maniobra. El transformador està protegit mitjançant dos fusibles de 6A.
La bomba està totalment controlada pel variador de freqüència. D'aquí que les proteccions són sobre el variador. Mitjançant un potenciòmetre, podrem variar la velocitat de la bomba (cabal). Aquest dóna un rang de variació de 10 posicions de velocitat.

L'agitador porta la protecció d'un tèrmic de 1,6A en cas d'un possible curt-circuit.

Els esquemes de potència, maniobra i plànol de connexionat, estan detallats a l'apartat 8.4 del present document.

8.3. Càlcul del Cablejat Ideal

L'elecció de la secció del cablejat elèctric ideal per alimentar la bomba i l'agitador es realitza a partir de la següent expressió i fent ús de la taula dels conductors elèctrics, adjuntada a l'apartat de documents annexos.

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \alpha$$

Bomba:

- Potència: 4 KW
- Voltatge: 400 V trifàsic
- Cos α = 0.90

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \alpha} = \frac{4000W}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 0.90} = 6{,}41A$$

Fent ús de la taula, i sabent que han de ser cables multi conductors en tubs empotrats a parets aïllants, la secció ideal del cable és:

Secció = 1,5 mm^2

Agitador:

- Potència: 0.55 KW
- Voltatge: 400 V trifàsic
- Cos α = 0.90

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\alpha} = \frac{550W}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 0.90} = 0{,}88A$$

Fent ús de la taula, i sabent que han de ser cables multi conductors en tubs empotrats a parets aïllants, la secció ideal del cable és:

Secció = 1,5 mm^2

La caiguda de tensió produïda entre el quadre elèctric i els dos equips es pot considerar nul·la, ja que la distància de cablejat és inferior a 1,5 metres.

8.4. Esquemes Elèctrics

- Esquema de potència de l'alimentació.
- Esquema de potència del variador.
- Esquema de maniobra.
- Plànol de connexionat dels borns.
- Visualització de l'armari (quadre elèctric).