



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: Memòria

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 N° 1: MEMÒRIA

INDEX DE LA MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ.....	5
1.1. Antecedents.....	5
1.2. Objecte.....	5
1.3. Especificacions i abast	6
2. DEMANDA DEL PROJECTE.....	7
3. NORMATIVA.....	8
3.1. Normativa de baixa tensió.....	8
3.2. Normativa pel càlcul de cendres.....	8
4. DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE.....	9
4.1. Ergonomia.....	11
4.2. Característiques geomètriques.....	11
4.3. Condicions d'obligat compliment.....	11
4.4. Prestacions.....	12
4.5. Dimensionament dels suports.....	12
4.6. Elements de la instal·lació.....	14
4.7. Sistema de mesura i control.....	17
4.8. Instal·lació elèctrica.....	18
4.9. Presa de mostres.....	19
4.10. Posta en marxa de la instal·lació.....	19
4.11. Visualització de la solució final.....	31
5. PLÀNOLS.....	32
5.1. Plànol suport agitador.....	33
5.2. Plànol suport bomba.....	34
5.3. Plànol suport dipòsit.....	35
5.4. Plànol suport hidrocicló.....	36
6. PRESSUPOST.....	37
6.1. Introducció.....	37
6.2. Preus unitaris.....	37
6.3. Pressupostos parcials.....	38
6.3.1. Elements de compra.....	38

6.3.2. Muntatge.....	40
6.4. Resum econòmic.....	40
7. DIAGRAMA DE GANTT.....	41
8. CONCLUSIONS.....	42
9. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	43
10. BIBLIOGRAFIA.....	44
11. AGRAÏMENTS.....	46

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

INDEX DELS DOCUMENTS ANNEXOS

- Documents Annexos de l'Agitador.
- Documents Annexos de la Bomba Centrífuga.
- Documents Annexos de l'Hidrocicló.
- Documents Annexos dels Dispositius de Mesura i Control.
- Norma TAPPI : càlcul de les cendres provinents d'una pasta de paper.
- Annex de la taula pel dimensionament de les línies elèctriques.

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

El projecte s'emmarca dins de l'àmbit de la indústria paperera i més concretament en el procés de fabricació del paper. Dins aquest procés de fabricació, el projecte se centra en l'etapa de depuració ciclònica, procés pel qual es volen eliminar aquelles partícules que acompanyen la pasta de paper i que no són desitjables ja que afecten les característiques del paper i el funcionament de la resta d'equips del procés de fabricació.

El grup de recerca LEPAMAP (Laboratori d'Enginyeria Paperera i Materials Polímers) del Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de la Universitat de Girona vol realitzar activitats de recerca sobre el tema de la depuració ciclònica, motiu pel qual necessiten disposar d'una instal·lació adequada per realitzar aquestes activitats. La instal·lació també pot ser utilitzada per a docència en enginyeria.

Es vol fer el disseny d'una instal·lació pilot adequada per realitzar una depuració ciclònica a la pasta paperera. La Universitat ja disposa del separador adequat, un hidrocicló, però és necessari el disseny complet de la instal·lació per tal de que aquest equip funcioni correctament.

La suspensió paperera objectiu a depurar procedirà de paper reciclat, fet que comportarà identificar quins tipus de contaminants portarà associat aquest tipus de paper per tal que la separació sigui eficient.

Aquesta planta pilot estarà ubicada al soterrani de l'edifici de pesants de la Universitat de Girona, la qual ja disposa de serveis d'aigua i llum per satisfer les necessitats de la instal·lació.

1.2. Objecte

L'objectiu d'aquest projecte serà dissenyar (bomba centrífuga, dipòsits, conduccions, vàlvules, aparells de mesura i control, etc.) i posar en marxa un sistema de depuració ciclònica tant per contaminants pesants com lleugers que es troben en les suspensions papereres procedents de paper reciclat. El sistema de depuració serà fàcilment manejable i adaptable a diferents depuradors centrífugs per tal de satisfer les necessitats de funcionament, i servirà com a eina d'aprenentatge al laboratori d'enginyeria paperera i materials polímers.

L'objectiu bàsic de la depuració és obtenir un paper net, sense contaminants que impliquin taques, trencaments o envelliments accelerats per desgast en el procés de fabricació.

1.3. Especificacions i abast

El disseny i posta en marxa del projecte es realitzarà fent ús dels depuradors centrífugs cedits a la Universitat de Girona per l'empresa *GL&V Celleco*.

Es dissenyarà i es muntarà la instal·lació i posteriorment es realitzaran diferents proves o assajos per determinar els paràmetres de funcionament de la instal·lació per a depurar pastes cel·lulòsiques i d'aquesta manera comprovar l'eficiència real de l'equip.

També s'haurà de dur a terme el càlcul i dimensionament dels equips elèctrics (bomba centrífuga i agitador) així com també el càlcul i dimensionament de l'estructura i els elements de suport, les canonades pel transport de la pasta i els elements de mesura i control.

També es realitzarà dins de l'abast del projecte una estada a Madrid, a l'INIA per tal de veure un muntatge pilot i d'aquesta manera tenir una idea més clara de quin és el funcionament real d'aquests tipus de depuradors centrífugs.

Els elements que componen l'estudi del projecte són els següents:

- Memòria
- Plànols
- Plec de condicions
- Càlculs de la instal·lació
- Pressupost
- Documents annexos

2. DEMANDA DE PROJECTE

És un projecte per la Universitat de Girona. Més concretament per satisfer una necessitat del grup LEPAMAP del Departament d'EQATA pel desenvolupament d'activitats de recerca sobre la depuració ciclònica i estalvi energètic. El finançament per a la construcció d'aquest projecte ha anat a càrrec del Ministerio de Ciencia e Innovación, finançat a través del projecte CTM2008-06886-C02-02.

3. NORMATIVA

3.1. Normativa de baixa tensió

- R.D. 842/2002, de 2 d'agost, pel que s'aprova el Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió. (BOE N° 224 de 18/09/2002).
- Decret 74/2007, de 27 de març, pel qual es modifica l'article 13.1 del Decret 363/2004, de 24 d'agost, pel qual es regula el procediment administratiu per a l'aplicació del Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió. (DOGC N° 4852 de 29/03/2007).

3.2. Normativa pel càlcul de cendres

- Pel càlcul de les cendres procedents de fibres papereres, cal seguir la següent norma TAPPI, adjuntada a l'apartat de documents annexos.

4. DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

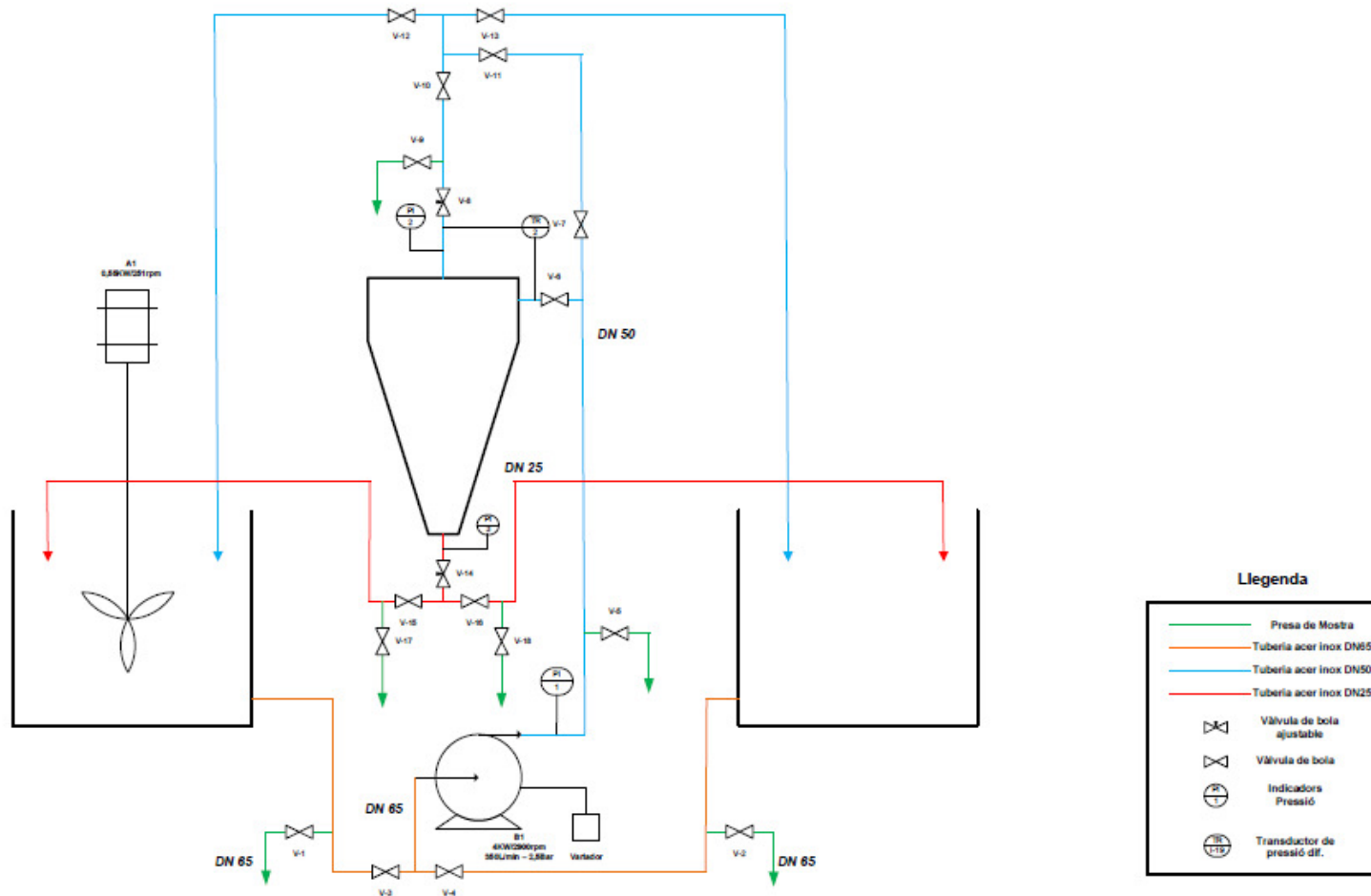
La major part d'aquest projecte gira al voltant d'un hidrocicló. En altres paraules, l'objectiu bàsic d'aquest projecte és aconseguir dissenyar una instal·lació flexible que permeti estudiar el funcionament d'aquest hidrocicló variant les condicions de treball, però intentant buscar sempre el seu funcionament òptim.

A partir de les diferents opcions que ens donava disposar d'un hidrocicló, s'ha optat per dissenyar una instal·lació de circuit tancat, ja que bàsicament anirà destinada a activitats de recerca i docència.

Per entendre millor a on es troba situada l'etapa de depuració centrífuga dins un procés de fabricació de paper, quin mecanisme de separació utilitza i què cal fer posteriorment a la depuració per tal d'obtenir un paper amb unes característiques específiques, veieu l'Apartat 3 del Plec de Condicions.

La següent figura (Fig.1) mostra a grans trets el diagrama de flux de la instal·lació, on hi apareixen tots els elements necessaris per subministrar, controlar i mesurar totes les variables del procés.

Diagrama de flux de la instal·lació



4.1. Ergonomia

Malgrat el nostre projecte només se centri en el funcionament d'un hidrocicló concret, s'ha dissenyat pensant en la possible col·locació d'altres hidrociclons de diferent capacitat. Per tant, haurà de ser una instal·lació fàcilment manejable, sobretot pel tema de les conduccions, de manera que sense fer gaire canvis es puguin connectar els diferents hidrociclons a la bomba centrífuga i al sistema.

Per poder dur a terme un bon manteniment de la instal·lació i poder treballar d'una forma còmode, la instal·lació ha de ser espaiosa i fàcilment accessible.

4.2. Característiques geomètriques

Les dimensions de la instal·lació de depuració han de tenir en compte l'espai disponible inicial per a la seva ubicació, que és, a la planta baixa de l'edifici de pesants. Les restriccions dimensionals són: 5 m de llargada per 2,1 m d'amplada per 2 m d'alçada.

Degut a que es necessita un cabal elevat per tal de que l'hidrocicló treballi amb unes condicions òptimes d'eficiència, les dimensions dels dipòsits seran també considerables, si ho mirem des de la perspectiva d'una activitat de recerca, de manera que l'espai disponible de treball no serà molt gran, permetent només que el nombre aproximat de persones que hi treballin sigui de dues o tres.

4.3. Condicions d'obligat compliment

- Seguretat en el treball.
- Normativa de baixa tensió.
- Normativa de seguretat per a màquines.

4.4. Prestacions

- Cabal òptim d'impulsió: 350 L/min però amb una flexibilitat de variació des de 100L/min fins a 450L/min.
- Caiguda mínima de pressió entre l'entrada i la sortida de l'hidroció: 1Bar. (per tal de que la separació sigui eficient).
- Flux el màxim de laminar possible a l'interior dels conductes per tal de que es generi una força centrífuga important.

4.5. Dimensionament dels suports

- Suport per l'hidroció:

El suport tindrà com a funció principal aguantar l'hidroció, per mantenir-lo subjectat a una alçada còmode per poder-hi treballar fàcilment. Aquesta alçada és necessària també per tal que la bomba pugui generar la succió suficient, de manera que la pressió a l'entrada de l'hidroció sigui l'òptima. Degut a que només es disposen de 2 metres d'alçada en la planta baixa, serà necessari fer un forat al sostre de planxa per tal de que les conduccions puguin passar cap a la part superior, on hi haurà tot el conjunt de vàlvules necessari per poder controlar el flux cap un dipòsit o l'altre.

Aquest suport anirà fixat a la paret.

- Suport per la bomba centrífuga:

El suport de la bomba centrífuga senzillament tindrà la funció de mantenir la bomba lleugerament aixecada del terra per evitar possibles vessaments d'aigua i per tal de poder-la subjectar millor. Aquest tindrà la forma d'una mini-bancada, amb dues barres travesseres. Aquesta bomba anirà col·locada a sota l'hidroció, sobre la mateixa vertical.

- Suport pels dipòsits:

És necessari que l'aspiració de la bomba estigui sempre inundada de líquid, per tal d'evitar que aquesta agafi aire. Per evitar aquest possible problema, s'ha decidit elevar els dipòsits lleugerament, uns 25 centímetres. S'ha construït una bancada- suport a la base dels dipòsits, que podeu veure detallada a l'apartat Plànols.

- Suport per l'agitador:

Per poder subjectar l'agitador del dipòsit numero 1 just al centre i a una alçada òptima (1/3 de l'altura del dipòsit) és necessari la construcció d'un suport. Aquest suport anirà subjectat a la malla metàl·lica del dipòsit i mitjançant unes barres travesseres soldades, facilitaran que el motor de l'agitador quedi subjectat de forma vertical i centrada.

- Suport per les conduccions:

Sempre que sigui possible, les canonades aniran subjectades a la paret mitjançant abraçadores. En el cas que no sigui possible disposar de la paret, i en cas que el tram de canonada sigui excessivament llarg, s'intentarà subjectar-la mitjançant algun altre mecanisme.

Val a dir que el material utilitzat per la construcció de tots els suports i les canonades serà d'acer inoxidable.

El quadre elèctric anirà fixat a la paret, per tal de que l'accés tant al comandament de la bomba com a l'agitador sigui còmode i de fàcil, sobretot quan sigui necessària una aturada d'emergència. Al mateix temps també s'ha de mantenir prou allunyat de qualsevol possible vessament d'aigua.

Els plànols corresponents a tots els elements de subjecció dels equips, estaran detallats a l'apartat Plànols.

4.6. Elements de la instal·lació

El sistema de depuració ciclònica dissenyat és de circuit tancat (es fa recircular una vegada rere una altra el flux de pasta de paper amb l'objectiu d'anar-lo depurant progressivament).

Aquest sistema consta de diferents parts, cadascuna d'elles amb una funció específica.

Tot seguit es descriuran, seguint el diagrama de flux de l'apartat anterior, indicant-ne la seva funció principal.

1. Dipòsit:

La instal·lació disposarà de dos dipòsits de 1 metre cúbic de capacitat (1x1x1) amb una bancada de suport de 25cm. Seran de material plàstic i estaran envoltats per una malla metàl·lica per tal de que siguin més rígids.

El primer dipòsit servirà per preparar les suspensions a depurar, ja siguin de pasta desintegrada a una concentració determinada o bé suspensions vàries, depenent de cada experiment. Tindrà una obertura superior per on hi entrarem els productes que formaran la suspensió, així com també les pales i l'eix de l'agitador en el moment del seu muntatge.

El segon dipòsit servirà per recollir les suspensions ja depurades, per facilitar la recirculació i la mesura dels cabals. .

El muntatge permetrà que la bomba pugui aspirar de qualsevol dels dos dipòsits, mitjançant un joc de vàlvules, sempre per la seva part inferior. L'entrada de la suspensió depurada provinent de l'hidrocicló serà sempre a través de la part superior dels dipòsits.

Els dipòsits han estat cedits per dues empreses papereres de les comarques gironines.

Pel buidat dels dipòsits, la instal·lació disposarà de dues aixetes de DN65 (2,5 polsades) col·locades a cada una de les canonades d'aspiració. Mitjançant un tub flexible, es conduirà el producte fins el desguàs en cas de que es necessiti buidar els dipòsits.

2. Agitador:

Per tal de mantenir una concentració de la pasta homogènia a l'interior del dipòsit de preparació, i per aconseguir que els sòlids es mantinguin en suspensió i no precipitin, és important disposar d'un agitador.

L'agitador ens proporcionarà un moviment de rotació a la suspensió que a la vegada farà que es mantingui homogènia.

L'agitador serà de la marca INOXPA, model NB12 marina D350, amb les característiques tècniques recollides a l'Apartat 4 del Plec de Condicions i a la taula 1. Aquest tipus d'agitadors són utilitzats en indústries papereres per mantenir els dipòsits de 1 m³ homogeneïtzats. Es va triar aquest seguint aquestes recomanacions. El col·locarem a la part superior del dipòsit de preparació, mitjançant un suport (veieu plànols).

Tipus d'Agitador	NB12 marina D350
Potència	0,55 KW 4 pols
Freqüència	50 Hz
Velocitat	251 rpm
Hèlice	Marina – Diàmetre = 350mm
Material	Acer Inox AISI 316L

Taula 1: característiques principals de l'agitador

3. Bomba Centrífuga:

La bomba centrífuga serà l'equip encarregat d'impulsar el producte a depurar des de l'interior del dipòsit que desitgem cap a l'interior de l'hidrocicló.

Per aquest motiu, les característiques tècniques de la bomba estaran en funció de les necessitats de funcionament de l'hidrocicló, per tal de que aquest treballi eficientment.

La bomba que forma part del cor de la instal·lació ha de ser centrífuga i de rodet obert. Centrífuga perquè són un tipus de bombes que permeten un rang d'aplicacions molt ampli i en el nostre cas es necessita que el flux entri amb una velocitat important a l'interior de l'hidrocicló; i el rodet obert és necessari ja que la majoria de vegades es treballarà amb pasta de paper, un material molt viscos i

incrustant, de forma que dificultaria el moviment dels àleps de la bomba si aquest no és obert.

Després d'analitzar diferents pressupostos i diferents prestacions de bombes centrífugues, s'escull una bomba centrífuga de la marca FRISTAM, model FPE 3522/130B, amb les característiques tècniques recollides a l'Apartat 5 del Plec de Condicions i resumides en la taula 2. Aquesta bomba es controla mitjançant un variador de freqüència que dóna certa flexibilitat al cabal que pot aportar al sistema.

Tipus de Bomba	FPE 3522/130B
Potència del motor	4 KW
Freqüència	50 Hz
Velocitat	2900 rpm
Potència absorbida	2,4 KW
Cabal	350 L/min
Rodet	130 mm
Aspiració	DN65
Impulsió	DN50
Material	Acer Inox AISI 316L

Taula 2: característiques principals de la bomba centrífuga

4. Hidrocicló:

L'hidrocicló és la part principal de la instal·lació ja que és l'equip encarregat de separar les partícules sòlides contingudes en la suspensió paperera de les pròpies fibres (veure Apartat 3 del Plec de Condicions).

Aquest equip separa per acció de la força de la gravetat.

L'hidrocicló ha estat cedit per gentilesa de l'empresa *GL&V*, i és el model Cleanpac 350. Aquest hidrocicló es pot valorar amb un preu de 880€.

Segons les especificacions tècniques d'aquest equip recollides a l'Apartat 6 del Plec de Condicions i a la següent taula 3, és un equip dissenyat per treballar a un cabal de 350 L/min i una pressió a l'entrada de 1,5 Bar.

Tipus d'Hidrocicló	Cleanpac 350
Cabal	350 L/min

Pressió	1,5 Bar
Entrada / Sortida	DN50
Material	Plàstic

Taula 3: característiques principals de l'hidrocicló

4.7. Sistema de mesura i control

La mesura de les variables de procés (cabal, pressió, volum) es realitza a través d'uns mesuradors col·locats en els punts més característics de la instal·lació.

Pressió:

S'instal·len lectures de pressió manomètrica en tres punts de la instal·lació mitjançant uns manòmetres de membrana d'escala 0-4 bars. Aquests punts de mesura estan situats a l'entrada de l'hidrocicló, a la sortida dels acceptats i a la sortida dels rebuigs de l'hidrocicló.

A la vegada, mitjançant un transmissor de pressió diferencial col·locat entre l'entrada de l'hidrocicló i la sortida dels acceptats, podem conèixer en tot moment quina és la diferència de pressió entre aquests dos punts, una dada important per a la realització dels experiments. Aquest dispositiu està en procés d'instal·lació perquè s'han trigat 2 mesos a poder-ne disposar un cop feta la comanda corresponent.

Cabal:

La mesura del cabal es decideix realitzar sense necessitat d'instal·lar cap mesurador electrònic. Consisteix en fer passar la suspensió impulsada per la bomba procedent del dipòsit 1 cap al dipòsit 2, mitjançant el conjunt de vàlvules de la instal·lació. Per poder-lo mesurar, s'utilitza l'escala graduada del dipòsit, de forma que conegut el volum que ha entrat durant un temps determinat, ens dóna un valor de cabal.

Aquestes lectures de cabal es realitzen per cada posició diferent del variador de freqüència de la bomba (10 posicions) de forma que tenim 10 valors de cabal per una suspensió de pasta a una consistència determinada. Aquestes 10 lectures ens permeten realitzar una recta de calibrat que ens relaciona el cabal amb cada una de les posicions del variador de freqüència.

Volum:

El volum dels tancs es considera mesurat a partir de l'escala graduada dels dipòsits. En principi es considera que la lectura és correcte i es correspon amb el volum marcat pel mateix fabricant del dipòsit.

Les especificacions tècniques de tots aquests mesuradors estan recollides a l'Apartat 7 del Plec de Condicions.

El control d'aquestes dades mitjançant algun sistema PID o semblant, es realitzarà probablement en un projecte futur.

4.8. Instal·lació elèctrica

L'energia elèctrica subministrada és necessària en els següents elements de la instal·lació:

- Quadre elèctric de control de la instal·lació.
- Motor de l'agitador.
- Bomba centrífuga.
- Variador de freqüència de la bomba.
- Transmissor de pressió diferencial

Els elements esmentats van connectats a la línia segons l'esquema elèctric del quadre elèctric i de la instal·lació elèctrica present a la planta baixa de l'edifici de pesants.

L'esquema elèctric (maniobra i potència) de la instal·lació, està detallada a l'Apartat 8 del Plec de Condicions.

El tipus de cable elèctric emprat per cada línia, la seva secció, les proteccions contra sobreintensitats i els contactes directes i indirectes utilitzats, estan indicats a l'Apartat 8 del Plec de Condicions (càlculs elèctrics).

4.9. Presa de Mostres

La instal·lació disposa de tres punts de presa de mostres:

- A l'entrada de l'hidrocicló.
- A la sortida dels acceptats de l'hidrocicló.
- A la sortida dels rebuigs de l'hidrocicló.

Cada un d'aquests punts de presa de mostra, va equipat amb una vàlvula (aixeta) de DN25 (1 polsada) pel que fa als rebuigs i de DN50 (2 polsades) a l'entrada i sortida d'acceptats de l'hidrocicló.

Les mostres recollides serveixen per la posta en marxa de la instal·lació, per calibrar els equips, per analitzar quin és el percentatge de separació, i d'aquesta manera conèixer el funcionament de l'hidrocicló.

4.10. Posta en Marxa de la Instal·lació

- Comprovació de possibles pèrdues a la instal·lació

Per comprovar l'existència d'alguna pèrdua en algun tram de tubera, vàlvules, juntes... es va posar la bomba en marxa a cada una de les diferents velocitats, regulades pel variador de freqüència, de menys a més, observant a cada un dels elements si hi havia algun problema. Es va deixar la bomba treballant al màxim de potència una estona per observar que la instal·lació podia suportar bé la pressió màxima. Les petites pèrdues existents, es van solucionar estrenyent més els elements i afegint més tefló a les juntes.

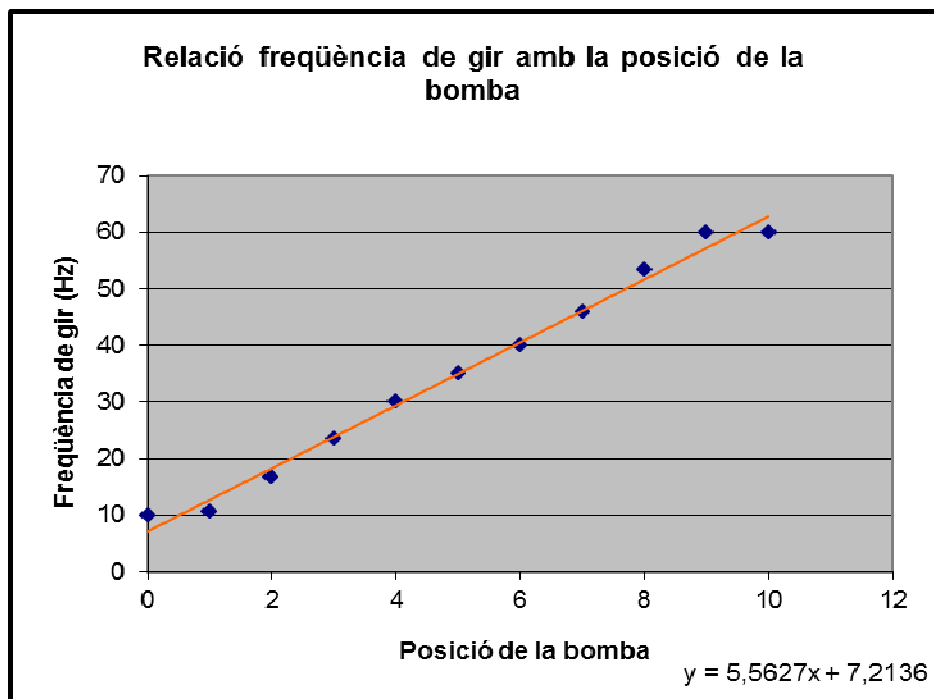
- Calibració del cabal (sense l'hidrocicló):

Per realitzar els diferents experiments, una variable important a conèixer és el cabal que ens dona la bomba a cada una de les seves posicions. La freqüència de gir de la bomba a cada una de les seves posicions i el seu respectiu cabal obtingut experimentalment, es pot veure a les taules i gràfics següents:

Per la mesura del cabal, farem ús de l'escala graduada del dipòsit i d'un cronòmetre. Al ser la calibració inicial, utilitzarem únicament aigua.

La distribució de la freqüència amb cada una de les posicions del variador de freqüència de la bomba és la següent:

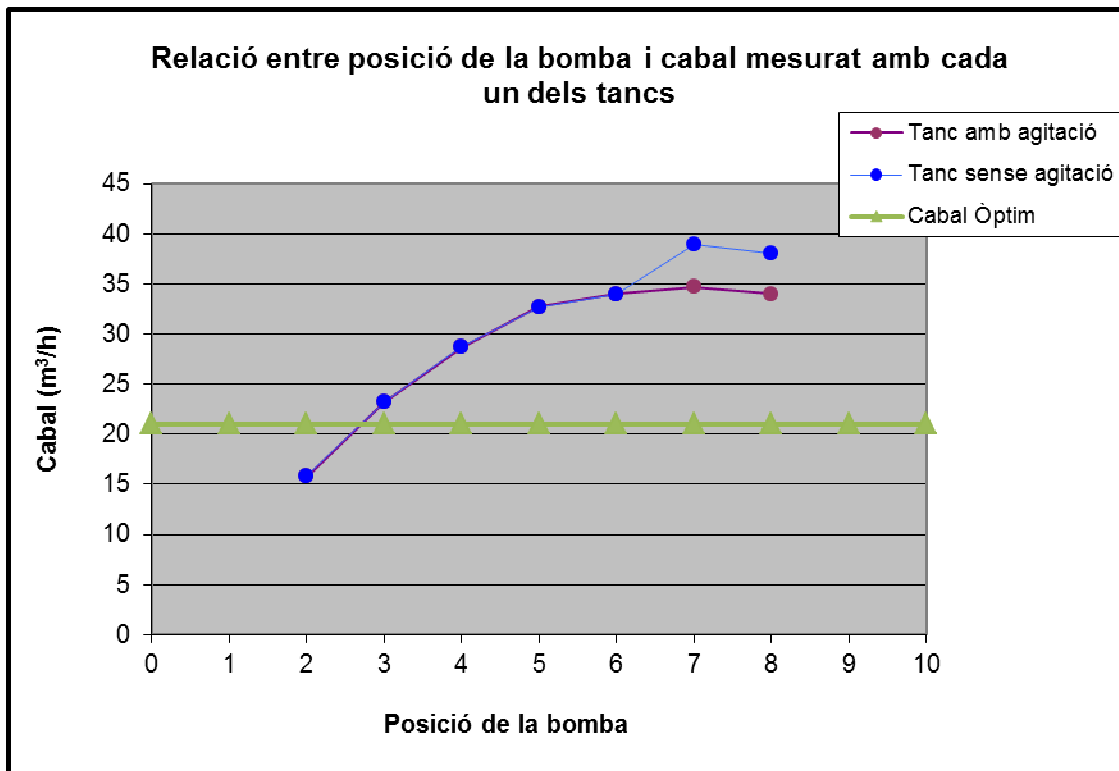
Posició	Freqüència (Hz)
0	10
1	10,6
2	16,8
3	23,6
4	30
5	35
6	40
7	46
8	53,3
9	60
10	60



La mesura del cabal amb cada un dels tancs és la següent:

Posició	Cabal Tanc A (m ³ /h)	Cabal Tanc B (m ³ /h)
0	0	0
1	0	0
2	15,76	15,76

3	23,22	23,22
4	28,67	28,67
5	32,72	32,72
6	34,01	34,01
7	34,7	38,91
8	33,96	38,03
9	0	0
10	0	0



Es pot observar una lleugera diferència entre el tanc amb agitació i el que no en té. Això és degut a que el recorregut que segueix l'aigua per anar a un o altre dipòsit no és simètric, afectant d'aquesta manera el temps i per tant ens dona un valor de cabal diferent, però només quan la freqüència de gir és elevada, possiblement perquè l'elevada pressió té un efecte més significatiu amb el recorregut de les tuberes.

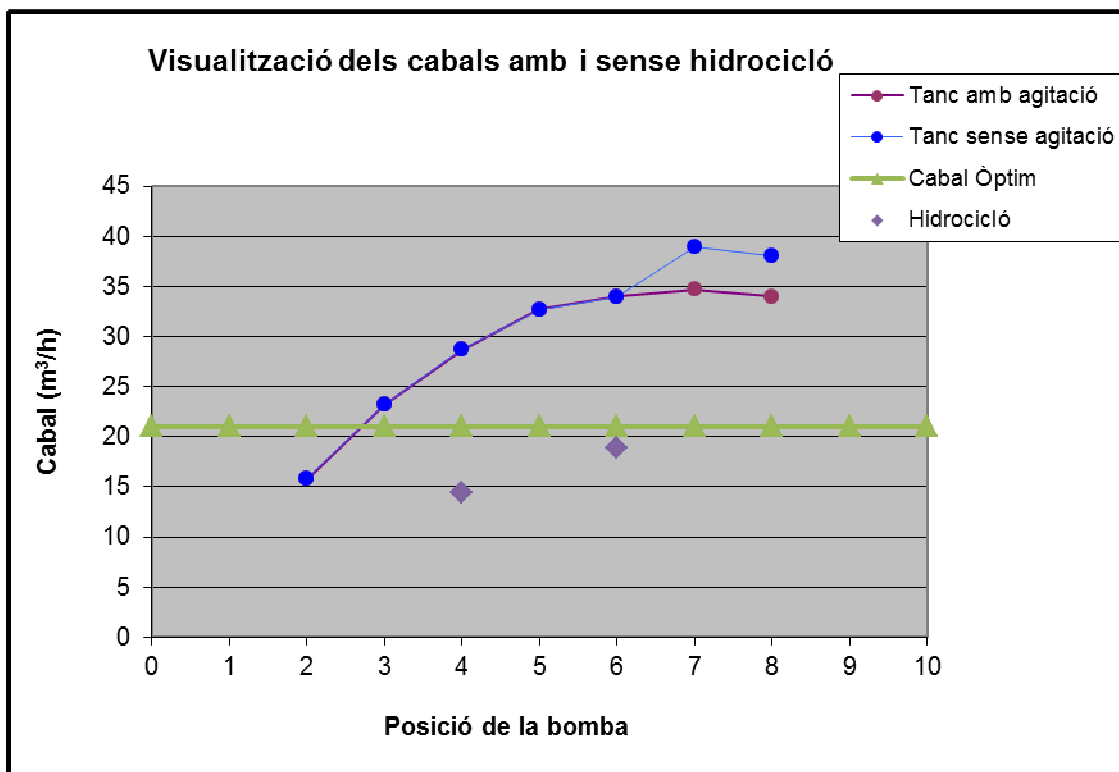
Per aquest motiu, sempre farem els càlculs a partir del tanc amb agitació (Tanc A).

- Calibració del cabal amb l'hidrocicló:

Aquí el cabal depèn de molts factors, de forma que és difícil la calibració. Depèn entre altres coses de la velocitat de gir de la bomba, de l'obertura de les vàlvules de control

(acceptat i rebuig) i per tant de la pressió, del tipus de producte amb el que es vol experimentar, etc.

Per tant aquesta variable s'haurà de calibrar al començament de cada experiment, sabent que el cabal a l'entrada (total) hauria de ser de $21 \text{ m}^3/\text{h}$ i el cabal del rebuig un 10% del cabal total perquè l'hidrocicló funcioni eficientment. Tenint en compte aquestes condicions, a continuació podem veure un gràfic comparatiu entre dos cabals obtinguts treballant amb l'hidrocicló (posicions 4 i 6 de la bomba) i els cabals obtinguts anteriorment sense l'hidrocicló.



Es pot veure que l'hidrocicló té una afectació important amb la mesura del cabal, ja que aquest és significativament inferior quan es treballa amb l'hidrocicló que quan no, degut bàsicament a la resistència que li oposa al pas del fluid.

Sembla ser doncs que per obtenir el cabal òptim de funcionament serà necessari que el percentatge de rebuig sigui inferior del 10%, almenys fins a la posició 6 de la bomba.

- Observacions:

Durant la posta en marxa de la instal·lació, s'han observat diferents coses, entre les quals cal esmentar que degut a que el tram de tubera després de l'hidrocicló segueix una trajectòria diferent en funció de quin tanc sigui el seu destí, el cabal es veu afectat i això fa que la mesura del cabal sigui diferent si es mesura des d'un tanc o des d'un altre, sempre treballant sense passar a través de l'hidrocicló.

Un altre aspecte a tenir en compte és la freqüència de la bomba, que va directament relacionada amb el seu consum elèctric. Quan es treballa sense pèrdua de càrrega (sense passar per l'hidrocicló), cal tenir en compte que per un cabal de $21\text{m}^3/\text{h}$, la màxima freqüència que pot assolir la bomba és d'uns 54 Hz, ja que llavors el consum de la bomba es dispara i supera els 4 KW de potència amb la que està dissenyada. Per aconseguir els $21\text{ m}^3/\text{h}$ a partir de la posició 6, és necessari jugar amb les vàlvules de control per tal de generar una pèrdua de càrrega.

Comprovació del funcionament de l'hidrocicló:

- Experiment 1: suspensió amb pasta de paper al 3% de consistència.

Com a primer experiment, hem preparat una suspensió amb pasta de paper d'origen industrial al 3% de consistència, i s'ha observat si existeixen diferències molt significatives en quan a la mesura dels cabals quan es treballa amb aigua o en aquest cas amb pasta de paper.

La pasta de paper utilitzada és una pasta termomecànica blanquejada provinent de l'empresa *Torraspapel S.A.*

Quilograms de pasta de paper a afegir:

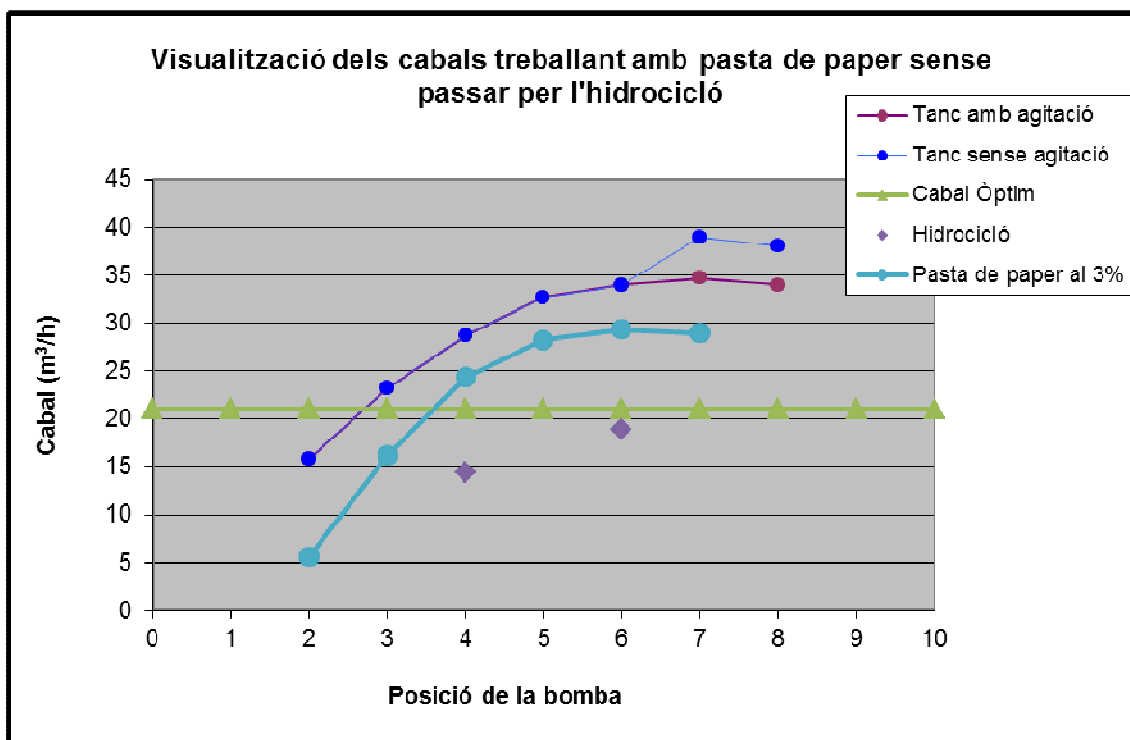
- Sequedat = 88,68%
- Quilograms de pasta al 3% de consistència en 800L d'aigua = 24 Kg pasta
- Segons la sequedat: $\frac{24\text{Kg}}{88,68} \cdot 100 = 27,06\text{Kg}$

S'han pesat 27,06 Kg de pasta, s'ha trossejat, i s'ha abocat a l'interior del tanc amb agitació i s'ha afegit aigua fins a 800L. L'agitació s'ha encarregat de trencar i homogeneïtzar la suspensió. Un cop preparada la suspensió, s'han mesurat els cabals a

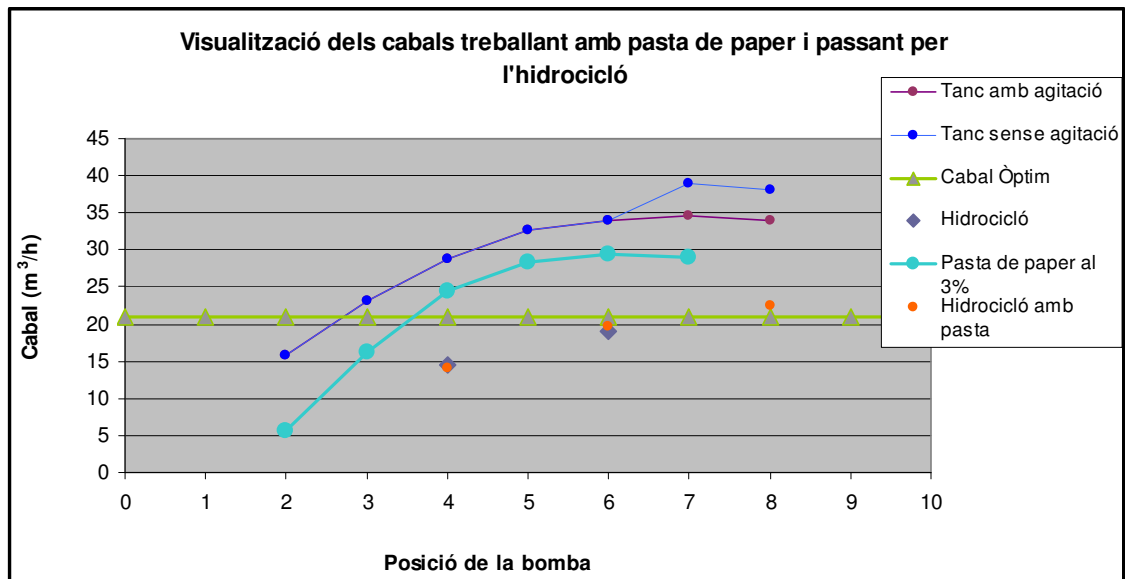
diferents velocitats de gir de la bomba, de moment sense fer passar la suspensió per l'interior de l'hidrocicló.

En aquest cas, els cabals s'han mesurat a partir del tanc agitat, ja que l'agitació tenia un efecte molt significatiu amb el cabal.

Un aspecte important a tenir en compte quan es treballa amb pasta de paper és la neteja de la instal·lació al finalitzar cada experiment. Cal fer passar aigua per cada una de les tuberes per tal de que s'endugui la pasta incrustada i cal obrir cada una de les vàlvules per tal de que no quedin obturades. Lògicament també cal netejar el dipòsit.



Comparant aquest gràfic amb el primer, es pot observar que els cabals són lleugerament inferiors treballant amb pasta de paper. Això és degut a que la pasta de paper té una viscositat superior a la de l'aigua, i sota les mateixes condicions, la bomba no és capaç d'impulsar-la de la mateixa manera.



En aquest últim gràfic, podem veure que els cabals mesurats fent passar el flux per l'interior de l'hidrocicló treballant amb pasta de paper són molt semblants als cabals obtinguts anteriorment quan només hi fèiem passar aigua. És un resultat si més no curiós, ja que en el gràfic anterior hem vist que quan es treballava amb pasta de paper els cabals eren inferiors, però ara en canvi, quan fem passar la pasta de paper per l'interior de l'hidrocicló, els cabals són pràcticament els mateixos. Això, probablement és degut a que el tram de tuberia quan es treballa amb l'hidrocicló és més simètric que quan no es treballa amb ell.

- Experiment 2: suspensió amb pasta de paper al 3% de consistència i sorra.

Com a segon experiment, i mantenint les condicions de la pasta de paper al 3% de consistència, s'ha afegit una quantitat determinada de sorra, segons les especificacions de l'hidrocicló per la separació de partícules sòlides. Aquesta sorra es consideraria un contaminant en una suspensió real.

Amb aquest experiment, es vol comprovar l'eficiència de separació de l'equip, el qual lògicament la fracció sòlida separada ha de ser major a la part del rebuig.

La sorra utilitzada és sorra de platja separada i tamisada. S'ha separat amb tamisos de 400, 250, 200, 150 i 40µm respectivament. Segons les especificacions de l'hidrocicló, el diàmetre de partícula ideal per la separació és el comprès entre 150-40µm, però degut a

que la fracció de sorra continguda en aquest tamís és molt petita, s'ha optat per utilitzar la fracció de 250-200µm, que n'hi ha més quantitat.

Massa de sorra a afegir:

La quantitat de sorra a afegir va en funció de la quantitat de fibres. S'ha d'afegir un 2% en pes de sorra del pes total de fibres. Així doncs, sabent que la consistència de la suspensió és del 3%, s'han d'afegir:

$$1000L \cdot \frac{3Kg \text{ pasta}}{100L} = 30Kg \text{ pasta}$$

$$30Kg \cdot \frac{2Kg \text{ sorra}}{100Kg} = 0.6Kg = 600g \text{ sorra}$$

Degut a que en el dipòsit no hi ha 1000L sinó 930L, la quantitat de sorra a afegir és:

$$930L \cdot \frac{600g}{1000L} = 558g. \text{ sorra}$$

La quantitat de sorra a afegir en el tanc és de 558 grams.

S'ha introduït en el tanc amb agitació i s'han esperat uns 30 minuts per tal de que la suspensió estigui completament homogènia.

Per tal de determinar l'eficiència de separació de l'equip, s'han extret dues mostres del rebuig, dues de l'acceptat i dues de l'alimentació a les posicions 4, 6 i 8 de la bomba. En total s'han extret 18 mostres.

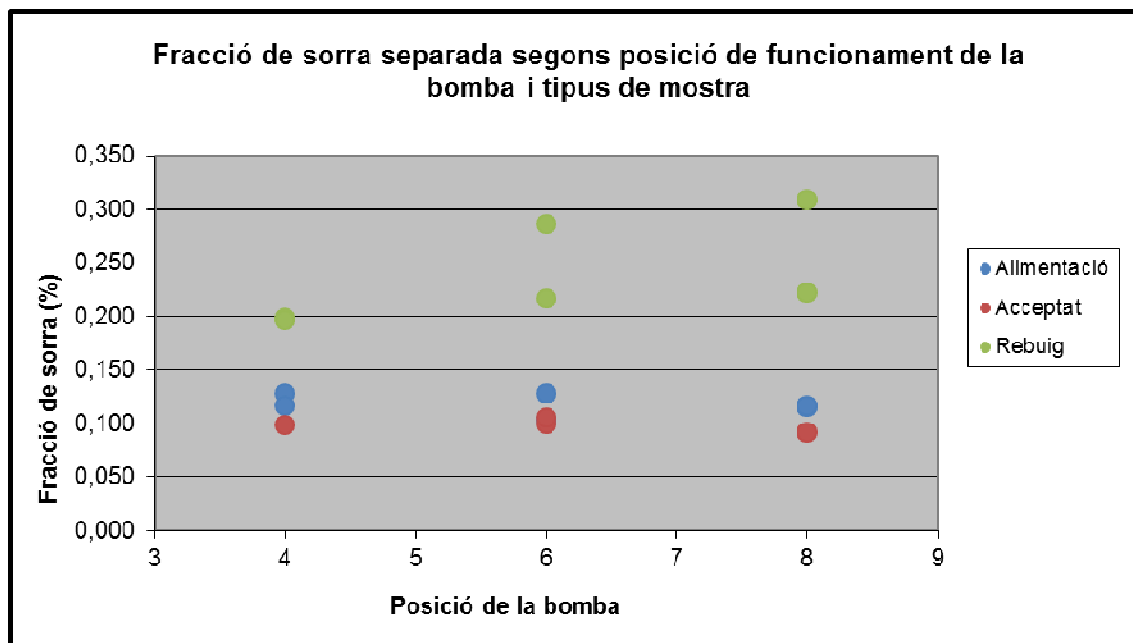
Abans de començar a extreure les mostres, és necessari posar en funcionament la instal·lació uns 20 minuts per tal de que assoleixi un règim constant.

Per determinar el pes de sorra recollit, s'ha posat primer la mostra a l'estufa a 105°C per tal d'eliminar l'aigua i posteriorment s'ha introduït a la mufla a 900°C per tal d'eliminar la pasta de paper de tal manera que només n'ha quedat la fracció mineral (cendres) que correspon a la sorra.

Els resultats obtinguts són els següents:

* Nota: a continuació, per diferenciar les mostres s'ha fet ús dels següents colors **Alimentació**, **Acceptat** i **Rebuig**.

Nº Capsula	Posició	Buit i sec	Ple de mostra	Pes Mostra	Després mufla	Pes de sorra	Fracció de sorra %
11-R	4	18,4479	41,5541	23,1062	18,4938	0,0459	0,19865
20-A	4	20,1773	38,2893	18,112	20,2005	0,0232	0,12809
2-Ac	6	21,9583	41,9197	19,9614	21,9782	0,0199	0,09969
77-Ac	6	21,4514	43,764	22,3126	21,4748	0,0234	0,10487
6-Ac	8	20,8852	41,9528	21,0676	Defectuós		
24-R	4	19,7712	42,267	22,4958	19,8154	0,0442	0,19648
60-A	8	17,988	35,8533	17,8653	18,0087	0,0207	0,11587
63-Ac	8	19,3739	38,2913	18,9174	19,3913	0,0174	0,09198
23-R	8	20,8682	44,0934	23,2252	20,9399	0,0717	0,30872
1-R	8	19,8943	40,5945	20,7002	19,9403	0,046	0,22222
4-R	6	20,3325	42,4177	22,0852	20,3959	0,0634	0,28707
81-Ac	4	20,6387	36,5548	15,9161	Defectuós		
94-Ac	4	20,3027	39,5193	19,2166	20,3216	0,0189	0,09835
8-A	6	20,0365	43,0505	23,014	20,0602	0,0237	0,10298
5-R	6	20,6222	39,3971	18,7749	20,663	0,0408	0,21731
7-A	4	21,6545	41,446	19,7915	21,6798	0,0253	0,12783
10-A	8	20,3513	43,789	23,4377	20,3786	0,0273	0,11648
16-A	6	18,9293	42,1282	23,1989	18,9535	0,0242	0,10432



A partir d'aquest gràfic, es pot veure que per cada posició de la bomba, la fracció més gran de sorra separada correspon a mostres extremes del rebuig, fet que confirma que aquest hidrocicló separa correctament. Si ens fixem amb els acceptats, s'observa que la seva fracció és inferior a la de l'alimentació, un fet lògic, ja que la finalitat d'un hidrocicló és separar les partícules sòlides d'una suspensió i donar un flux d'acceptat net i òptim per ser processat.

Experiment 2.1: repetició de l'experiment 2 per comprovar els resultats.

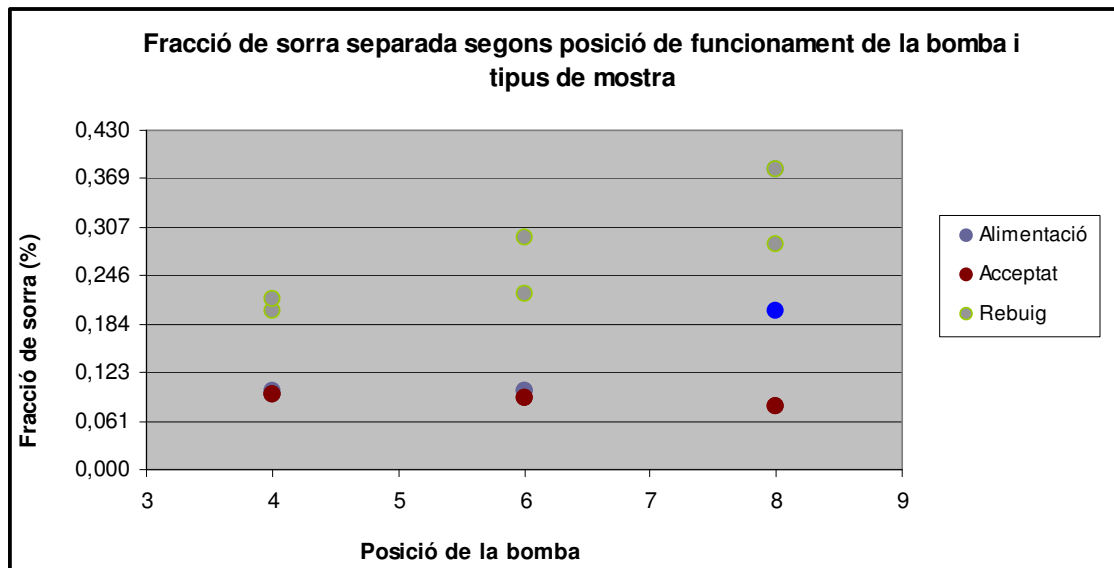
En aquest experiment, i partint de les mateixes condicions de l'experiment anterior i sense afegir-hi més sorra, s'han tornat a extreure mostres del rebuig, acceptat i alimentació i a més a més s'han extret 5 mostres més amb la bomba treballant al màxim (posició 8) amb uns pots de mostreig de volum més gran, per veure si s'observen diferències més significatives.

També s'ha volgut observar si existeixen diferències significatives al agafar la mostra que fa referència a l'alimentació directament del dipòsit o bé per la sortida de mostreig situada després de la bomba.

A continuació, els resultats obtinguts:

Nº Capsula	Posició	Buit i sec	Ple de mostra	Pes Mostra	Després mufla	Pes de sorra	Fracció de sorra %
32-Ac	8	20,0378	44,7713	24,7335	20,0577	0,0199	0,08046
23-R	4	20,8744	43,8269	22,9525	20,9205	0,0461	0,20085
63-Ac	8	19,3787	40,6931	21,3144	19,3959	0,0172	0,08070
94-R	4	20,306	44,1335	23,8275	20,3573	0,0513	0,21530
10-A	8	20,3543	45,3028	24,9485	20,3829	0,0286	0,11464
24-A	8	19,779	41,8074	22,0284	19,8031	0,0241	0,10940*
4-R	8	20,3394	43,719	23,3796	20,4285	0,0891	0,38110
2-R	8	21,961	44,9613	23,0003	22,0266	0,0656	0,28521
11-Ac	6	18,4554	41,6335	23,1781	18,4762	0,0208	0,08974
3-Ac	6	19,9006	43,1733	23,2727	19,9215	0,0209	0,08980
20-R	6	20,1842	41,8475	21,6633	20,248	0,0638	0,29451
14-R	6	20,893	42,2172	21,3242	20,9406	0,0476	0,22322
8-A	6	20,0438	43,2465	23,2027	20,0692	0,0254	0,10947
7-A	6	21,6589	41,1313	19,4724	21,6782	0,0193	0,09911
16-Ac	4	18,9318	42,9627	24,0309	18,9546	0,0228	0,09488
5-Ac	4	20,6298	42,9442	22,3144	20,651	0,0212	0,09501
9-A	4	20,6444	41,6735	21,0291	20,6655	0,0211	0,10034*
77-A	4	21,4607	44,7961	23,3354	21,4843	0,0236	0,10113*

* Nota: els valors que porten un asterisc, indiquen que la mostra ha estat agafada des del punt de mostreig situat després de la bomba.

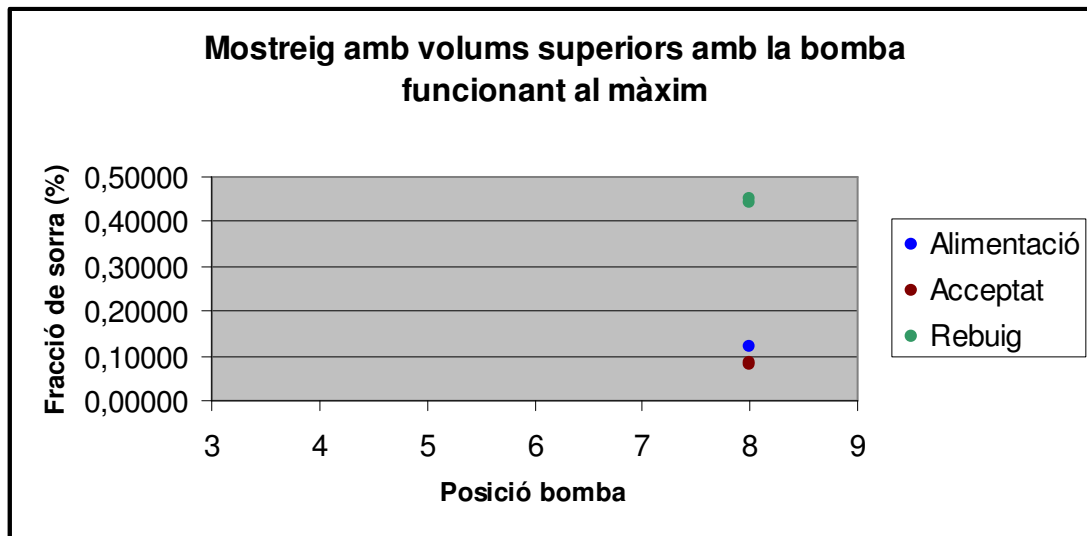


Igual que en l'experiment anterior, es pot veure clarament com la fracció que conté més quantitat de sorra es la que prové del rebuig mentre que la fracció de l'acceptat és la que té un contingut de sorra més baix.

Per tant, podem dir que la separació d'aquest hidrocicló és bona, treballant a un valor de consistència màxim (3%). Podem afirmar que el funcionament de l'hidrocicló és el correcte.

S'ha realitzat també un experiment amb un volum recollit de mostra més gran, i els resultats obtinguts han estat els següents:

Nº Capsula	Posició	Buit i sec	Ple de mostra	Pes Mostra	Després mufla	Pes de sorra	Fracció de sorra %
111-R	8	53,9734	168,622	114,6486	54,4797	0,5063	0,44161
102-R	8	56,305	167,8565	111,5515	56,8055	0,5005	0,44867
112-Ac	8	67,1216	169,707	102,5854	67,2064	0,0848	0,08266
122-Ac	8	107,1335	188,5194	81,3859	107,1996	0,0661	0,08122
121-A	8	65,7202	184,618	118,8978	65,8613	0,1411	0,11867



La diferència més significativa treballant amb volums grans és que la fracció de sorra separada és també més gran, però igual que en els experiments anteriors, la mostra amb una fracció més alta de sorra contínua essent el rebuig.

Es pot dir, que el rendiment de l'hidrocicló és més alt quan la bomba treballa a posicions de funcionament més altes, la qual cosa implica que la velocitat del flux a l'interior de l'hidrocicló és també més alta, beneficiant d'aquesta manera la generació d'una força centrífuga més forta i per tant, es produeix una separació més bona.

4.11. Visualització de la solució final



5. PLÀNOLS

Llistat dels plànols:

- Plànol suport agitador.
- Plànol suport bomba.
- Plànol suport dipòsit.
- Plànol suport hidrocicló.

6. PRESSUPOST

6.1. Introducció

El següent pressupost fa referència al projecte *Disseny i muntatge d'un sistema de depuració ciclònica per reciclatge de paper*, construït a la Universitat de Girona.

En ell s'hi detallen els preus de cada un dels elements que formen la instal·lació, així com la mà d'obra de la construcció i del muntatge elèctric.

Els preus de cada element són preus tancats amb el proveïdor extern, que ens serveix el producte acabat i a punt per muntar. A la vegada, cada un d'ells ja porta inclòs el cost del transport i embalatge.

6.2. Preus unitaris

Els preus referents a la mà d'obra de l'empresa responsable de la construcció de la instal·lació i de la part elèctrica són els següents:

Concepte	Unitats	Preu Unitari (€)
Oficial de muntador	hores	27,00
Electricista	varis	532,88

6.3. Pressupostos parcials

6.3.1. Elements de compra

MAQUINÀRIA					
Element	Descripció	Unitats	Quantitat	Preu Unitari (€)	Preu Total (€)
Agitador Vertical INOXPA	NB12 marina D350 0,55 KW		1	1.228,52	1.228,52
Bomba Centrífuga FRISTAM	FPE 3522/130B 4 KW 2900rpm		1	3.125,00	3.125,00
Variador de freqüència GEFTRAN	ADV20 3,7 KW		1	315,00	315,00
Total elements Maquinària					4.668,52

REGULACIÓ I CONTROL					
Element	Descripció	Unitats	Quantitat	Preu Unitari (€)	Preu Total (€)
Quadre elèctric APLIBOX	Maniobra per bomba i agitador		1	717,88	717,88
Manòmetres de membrana Mel	Escala 0-4 bars		3	229,75	689,25
Transmissor de pressió dif. APLISENS	2 segells amb diafragma		1	1.175,00	1.175,00
Vàlvules de bola GENEBRE	DN25 (1") i DN50 (2")		17	636,60	636,60
Total elements de Regulació i Control					3.218,73

MATERIAL					
Element	Descripció	Unitats	Quantitat	Preu Unitari (€)	Preu Total (€)
Material de tall i soldadura			1	83,30	83,30
Sistema de canonades	Tuberies, accessoris, enllaços...		1	948,03	948,03
Mànegues i abraçaderes	Tub flexible		1	108,96	108,96
Treball amb el torn	Mecanització connexió amb dip.	hores	7	35,00	245,00
Desplaçaments	Camió grua	€/desplaç.	6	15,00	90,00
Total elements Material					1.475,29

6.3.2. Muntatge

Concepte	Unitats	Quantitat	Preu Unitari (€)	Preu Total (€)
Oficial de muntador	hores	68,00	27,00	1.836,00
Electricista	varis	1,00	532,88	532,88
Total Muntatge				2.368,88

6.4. Resum Econòmic

Concepte	Preu (€)
Maquinària	4.668,52
Regulació i Control	3.218,73
Material	1.475,29
Muntatge	2.368,88
Cost Total sense impostos	11.731,42

L'import del pressupost ascendeix a **11.731,42 €** (onze mil set-cents trenta-un amb quaranta-dos cèntims).

7. PLA D'EXECUCIÓ: DIAGRAMA DE GANTT

En el següent diagrama es poden veure les diferents etapes que han format part del desenvolupament del projecte, amb els temps de realització emprats per cada una.

TASQUES	SETMANES																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
Anàlisi del projecte	█																																				
Estructura del projecte		█	█																																		
Cerca de la informació		█	█	█	█	█	█	█																													
Desenvolupament de la part teòrica							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
Compra dels elements necessaris													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
Muntatge de la instal·lació																																	█	█	█		
Inici dels experiments																																		█	█	█	
Desenvolupament de la part experimental																																		█	█	█	
Obtenció dels resultats																																				█	█
Impressió del projecte																																					█
Entrega del projecte																																					█

8. CONCLUSIONS

En el present projecte, s'han assolit els objectius exposats a l'inici d'aquest document que fan referència al disseny d'una instal·lació de depuració ciclònica i la seva corresponent posta en marxa. I dic que s'han assolit precisament perquè tal i com s'ha pogut llegir en aquest mateix projecte, la instal·lació de depuració no tant sols ha estat dissenyada sinó que també s'ha construït i s'ha posat en funcionament.

La posta en marxa de la instal·lació com a segon objectiu a assolir, ha servit per comprovar l'eficiència de l'equip bàsic d'aquesta instal·lació, l'hidrocicló. A través de les diferents proves realitzades les quals han estat anteriorment detallades, s'ha observat que aquest equip de separació és capaç de separar partícules sòlides, en aquest cas sorra, contingudes en una suspensió paperera en forma de contaminants. No cal oblidar que el marc de treball que envoltava aquest projecte era sobre l'eliminació de contaminants dins del procés de reciclatge de paper.

Amb els resultats com a fonament, hem vist que la fracció més gran de sorra s'obtenia a través de les mostres provinents del rebuig mentre que la fracció amb un percentatge en sorra més baix corresponia a les mostres provinents del flux d'acceptat. La fracció en sorra del rebuig era fins a tres vegades superior a la fracció de l'acceptat.

Segons la teoria, aquest és un aspecte favorable ja que el flux d'acceptat ha de ser un flux net i lliure de partícules considerades contaminants que podrien provocar danys o taques en el paper i fins i tot arribar a agilitzar el desgast dels equips que formen part del procés de fabricació del paper.

Com a última dada important, s'ha vist que quan la bomba treballa a una freqüència elevada (més pressió a l'entrada), la separació és més bona ja que les diferències entre el rebuig i l'acceptat són més significatives. Així doncs, podem concloure dient que aquest hidrocicló treballa amb un rendiment més alt si la bomba impulsa el flux a pressions més elevades.

En projectes futurs, s'estudiarà quin és el punt de funcionament òptim de l'hidrocicló per una pasta determinada i quins paràmetres són els necessaris per obtenir una separació el màxim d'eficient.

14 de Juny de 2012

9. RELACIÓ DE DOCUMENTS

A continuació es mostra la relació de documents que formen part d'aquest projecte:

- Document N° 1: Memòria i Plànols**
- Document N°2: Plec de Condicions i Càlculs**
- Document N°3: Documents Annexos.**
- Document N°4: Pressupost**

10. BIBLIOGRAFIA

HOLIK, HERBERT. *Handbook of paper and board*, Ed. Wiley-VCH, 2006.

VELÁSQUEZ, ASHLEY. *Procesos productivos del papel*, 2007.

(<http://www.infomipyme.com/Docs/NI/Offline/Procesos%20Productivos%20del%20Pap el.pdf>, consultada el 16 d'octubre de 2011).

MONTE LARA, M^a CONCEPCIÓN. *Depósitos adherentes en el proceso de fabricación de papel reciclado*, 2000. Tesis doctoral UCM.

(<http://eprints.ucm.es/tesis/19972000/X/0/X0047401.pdf>, consultada el 16 de novembre de 2011).

TIP 0508-10. *An Introduction to centrifugal cleaners*.

(<http://www.tappi.org/Downloads/TIPs/0108050810.aspx>, consultada el 12 d'abril de 2012).

SMOOK, G.A. *Handbook for pulp & paper Technologists* (Angus Wilde, 1994).

A. VENDITTI, RICHARD. *Paper recycling technology*.

(<http://www4.ncsu.edu/unity/users/r/richardv/www/documents/Presentation108HOdetailpart1best.pdf>, consultada el 10 de febrer de 2012).

SAINT AMAND, FRANÇOIS J. *Principles and technology of cleaning*, 6th CTP/PTS Advanced training course on deinking Technology, març 2003 (CTP, Grenoble-France).

CARRÉ B. GALLAND, GÉRARD. *Overview of deinking Technology*, 6th CTP/PTS Advanced training course on deinking Technology, març 2003 (CTP, Grenoble-France).

YLI-VITALA, PIRJO. JOKINEN, HANNA. *Hydrocyclone sand separation*. *Appita Journal*, vol 60, n° 4, 291-295 (2007).

MIRANDA CARREÑO, RUBEN. *Caracterización y eliminación de la materia disuelta y coloidal*; 2009). Tesis doctoral

(<http://www.eprints.ucm.es/9414/1/T30873.pdf>, consultada el 10 de novembre de 2011).

LICAR. *Equipos para la industria paperera*.

(<http://www.licar.es>, consultada el 15 de febrer de 2012).

VOITH/ESCHER-WYSs Rejectsorter. *Esquemas de equipos de depuración*.

(<http://www.voith.com>, consultada el 12 de març de 2012).

BARRERA S, URRUTIA C, TOLVETT C. *Parámetros de diseño de un hidrociclón*, 2010. Tesis doctoral Universidad de Chile.

11. AGRAÏMENTS

A la M^a Àngels Pelach per tot el suport que m'ha donat al llarg de tot el treball.

A en Miquel Llop per ajudar-me a dissenyar la instal·lació.

A en Christian P.H. Dammeier per ajudar-me durant la part de la posta en marxa de la instal·lació i l'anàlisi de les mostres.