

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica.

Títol: Disseny, fabricació i assaig de noves crepines per a filtres de sorra.

Document: Memòria i annexos.

Alumne: Pau Sala Gispert

Director/tutor: Antoni Pujol Sagaró
Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció.
Industrial
Àrea: Mecànica de Fluids.

Convocatòria: Febrer de 2015

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	5
1.1. Antecedents.....	5
1.2. Objecte.....	7
1.3. Abast.....	8
2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	9
2.1. Descripció del filtre del laboratori.....	9
2.2. Resum del disseny i fabricació de crepines.....	11
2.3. Preparació de l'assaig.....	12
2.4. Protocol d'assaig.....	13
2.5. Tractament de dades.....	15
3. DISSENY I FABRICACIÓ DE NOVES CREPINES.....	20
3.1. Introducció.....	20
3.2. Crepina comercial.....	20
3.3. Crepines estudiades al projecte.....	22
3.3.1. Crepina A.....	23
3.3.2. Crepina B.....	24
3.3.3. Crepina C.....	25
3.4. Càlculs.....	26
3.5. Plànols.....	26
3.6. Fabricació de crepines.....	27
3.7. Despeses.....	28
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	29
4.1. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 140 mm a filtració.....	29
4.2. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 140 mm a contra-rentat.....	30
4.3. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 340 mm a filtració	32

4.4. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 340 mm a contra-rentat.....	33
4.5. Comparació de cada crepina i dos nivells de sorra a filtració i contra-rentat...	34
4.6. Comparació de resultats experimentals amb el model analític d'Ergun.....	42
5. CONCLUSIONS.....	49
6. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	51
7. BIBLIOGRAFIA.....	52
ANNEX A. DESPESES.....	53
ANNEX B. CÀLCULS.....	55
B.1. Càlcul del gruix de paret del cilindre de la crepina.....	56
B.2. Càlcul de comprovació que la zona central del cilindre aguanta la pressió.....	59
B.3. Càlcul de comprovació que la tapa superior aguanta la pressió.....	60
ANNEX C. Plànols de fabricació.....	63
C.1. Llistat de plànols.....	64
C.2. Tapa Superior.....	65
C.3. Tapa superior 12 escletxes.....	66
C.4. Tapa inferior.....	67
C.5. Cilindre cas A, 45 escletxes.....	68
C.6. Cilindre cas B, 33 escletxes.....	69
C.7. Cilindre cas C, 63 escletxes.....	70
C.8. Muntatge crepina A.....	71
C.9. Muntatge crepina B.....	72
C.10. Muntatge crepina C.....	73
ANNEX D. DADES.....	74
D.1. Dades experimentals.....	75
D.2. Corbes d'ajust.....	85

1. INTRODUCCIÓ.

1.1. Antecedents.

Els filtres per aigua són un sistema de tractament d'aigua. La seva finalitat principal és treure partícules sòlides o contaminants de l'aigua. Existeixen molts tipus de filtres per aigua com poden ser els de membranes, osmosi inversa, de sorra, etc.

El cas que s'estudia es centra en una petita part del filtre de sorra. La finalitat del filtre de sorra estudiat és evitar que petites partícules sòlides que pot portar una aigua de reg obturi els elements i emissors per on passa en sistemes de microirrigació (Trooien and Hills, 2007).

El filtre de sorra com a sistema per netejar l'aigua s'utilitzen des de fa centenars d'anys. En aquells temps remots si es volia aconseguir aigua clara d'un riu on baixava tèrbola només calia fer un forat, no molt allunyat del riu i a un nivell inferior. L'aigua tèrbola del riu passava a través del terreny que feia de medi filtrant i entrava dins el forat amb un aspecte no tèrbol. Era un sistema molt rudimentari i la seva eficàcia depenia molt del tipus de medi filtrant (terreny). Aquest primitiu tipus de filtre es basava en el mateix funcionament que els actuals, avui en dia molt millorats. Primerament cal un medi filtrant que en funció del líquid i partícules a filtrar cal saber escollir pel que fa a la mida de la partícula, densitat, composició, quantitat necessària, etc. També és important tenir clar quin fluid i quines partícules cal separar; no tots els medis són adequats. Per tal que el fluid avanci a través del medi és necessària una força, generalment aplicada com a pressió i perquè sigui el procés possible cal un element mecànic capaç de contenir el medi, rebre l'entrada i sortida de fluid i adequat per aplicar una pressió al fluid per aconseguir la filtració.

La crepina és un element que forma part del filtre de sorra. És el sistema encarregat d'evitar que el medi filtrant, generalment format per partícules petites, pugui ser arrossegat per la sortida de fluid quan s'hi aplica pressió. Generalment estan col·locades a la part inferior del filtre, sota el medi filtrant i per tal de permetre la sortida de fluid tenen forats o esclatxes de dimensions adequades al medi. Canvis en la configuració de parts dels filtres comercials poden modificar substancialment la pèrdua de càrrega total (Burt, 2010).



Figura 1. Filtre de sorra del laboratori de l'EPS que s'utilitza per assajos de pèrdues de càrrega.

En el laboratori d'hidràulica de l'EPS es disposa d'un filtre per fer assajos de pèrdues de càrrega per a diferents cabals (figura 1). Estudis previs han mostrat que la crepina és un element que provoca una pèrdua de càrrega important. Aquesta pèrdua de càrrega correspon a una energia no aprofitada per filtrar, energia que la bomba impulsora d'aigua consumeix i no retorna. Per tant, es constata la necessitat d'utilitzar crepines energèticament més eficients, que provoquin menys pèrdues de càrrega. Apart del cost propi de la instal·lació, quan un sistema de reg per microirrigació es troba en funcionament correcte el cost econòmic d'energia per impulsar l'aigua és la despesa principal de la instal·lació.

L'assaig s'ha fet en base a una crepina comercial. D'aquestes n'hi han de molts tipus, dimensions, materials de fabricació... El cas que s'ocupa es tracta d'una crepina comercial, de geometria troncocònica i amb una àrea de pas de $607,05 \text{ mm}^2$ repartits en 45 escletxes rectangulars de 0.45 mm d'amplada per 30 mm de llargada. Varies crepines comercials es veuen instal·lades dins un filtre comercial a la figura 2.



Figura 2: Imatge de l'interior del llit de sorra d'un filtre comercial amb varies crepines comercials instal·lades. Imatge extreta de G. Arbat et al. (2011).

1.2. Objecte.

L'objectiu del projecte és trobar una crepina que minimitzi les pèrdues de càrrega. Per fer-ho s'han portat a terme diversos passos com ha estat el disseny i fabricació d'unes crepines determinades, l'assaig d'aquestes crepines i l'anàlisi de resultats.

Dissenyar 3 crepines, amb unes dimensions de l'esclatxa de pas d'aigua igual que la comercial i amb les següents característiques específiques: 1) Crepina amb àrea de pas igual que la crepina comercial però de geometria cilíndrica en comptes de troncocònica. 2) Crepina cilíndrica amb una àrea de pas igual que la comercial però aquesta àrea distribuïda entre el cos de la crepina i la tapa superior d'aquesta. 3) Crepina cilíndrica amb una àrea de pas un 40% més gran que la comercial.

La construcció de crepines de geometria més senzilla que la comercial (cilíndrica en comptes de cònica) per tal d'estudiar els casos 2 i 3 obliga a estudiar també el cas 1. Aquest es podrà comparar directament amb la crepina comercial, ja que tenen la mateixa àrea de pas i la diferència principal entre ambdues correspon al canvi de geometria.

Assajar en el filtre del laboratori les crepines i obtenir les pèrdues de càrrega en funció del cabal.

Analitzar els resultats i proposar una configuració d'una crepina que sigui energèticament més eficient.

1.3. Abast.

Proposar quina de les configuracions estudiades és la més adequada per reduir la pèrdua de càrrega.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.

2.1. Descripció del filtre del laboratori.

Al laboratori d'hidràulica de l'EPS es disposa d'un filtre de sorra per realitzar assajos. Aquest filtre és una rèplica a escala d'un filtre de sorra comercial (Regaber, Parets del Vallès, Espanya) de 500 mm de diàmetre interior i que pot allotjar 12 crepines. El filtre a escala està calculat per a una sola crepina i té un diàmetre interior de 200 mm i una llargada total de 757 mm. El filtre, metàl·lic, està format per tres elements bàsics: el cos, la tapa inferior i la tapa superior. La bomba que impulsa aigua a través del filtre és una Espa Prisma 20/4M . Els manòmetres utilitzats per a la lectura de dades a l'assaig són de la marca Keller i model Leo Record 1...30 bar.

A la figura 3 es mostra un esquema del filtre del laboratori amb tots els seus components, aquests són enumerats i especificats en la taula 1.

El cos està format per un cilindre. En els seus dos extrems hi ha soldada una corona circular amb forats per passar cargols per poder subjectar-hi les tapes. A l'interior disposa d'una platina circular, amb un forat central per poder-hi allotjar la crepina i està soldada a les parets del cilindre de manera que les seccions circulars siguin paral·leles. Entre la platina interior i la part superior del filtre es distribueixen verticalment 3 orificis separats 10 cm on es poden connectar manòmetres per prendre altres tipus de mesures que no han estat estudiades en aquest projecte.

La tapa inferior del filtre és una platina circular. Disposa de forats per passar els cargols que coincideixen amb el cos del filtre i així es poden unir les dues peces. Per tal de garantir l'estanquitat es posa una junta de goma entre ambdues parts. La part central de la platina disposa d'un forat des d'on, cap a la part exterior, en surt un tub. Aquest tub té un allotjament per a posar-hi un manòmetre i prendre dades. Aquest punt sí que s'ha utilitzat per prendre dades en aquest projecte i s'ha anomenat manòmetre 5. Seguint el tub es troba una vàlvula, aquesta és l'encarregada de regular el cabal quan es treballa a filtració. Després de la vàlvula hi ha la peça de connexió que s'utilitza per connectar la tapa inferior amb una mànega, ja sigui la de pressió o la de retorn.

La tapa superior del filtre és una platina circular. Disposa de forats per passar els cargols que coincideixen amb el cos del filtre i així es poden unir les dues peces. Per tal de garantir l'estanquitat es posa una junta de goma entre ambdues parts. La part

central de la platina disposa d'un forat des d'on, cap a la part exterior, en surt un tub. Aquest tub té un allotjament per a posar-hi un manòmetre i prendre dades. Aquest punt si que s'ha utilitzat per prendre dades en aquest projecte i s'ha anomenat manòmetre 1. Seguint el tub es troba una vàlvula, aquesta és l'encarregada de regular el cabal quan es treballa a contra-pressió. Després de la vàlvula hi ha la peça de connexió que s'utilitza per connectar la tapa superior amb una mànega, ja sigui la de pressió o la de retorn. A la cara de la tapa que es col·loca a l'interior del filtre hi ha un deflector. La seva missió és evitar que un raig d'aigua incideixi directament sobre la sorra. Aquest deflector consisteix en una platina circular d'unes dimensions suficients per escampar el raig d'aigua incident situada de manera paral·lela a la tapa i a una distància intermèdia entre la tapa superior i la major alçada de sorra admissible al filtre. El deflector està subjectat mitjançant tres punts de suport a la tapa superior.

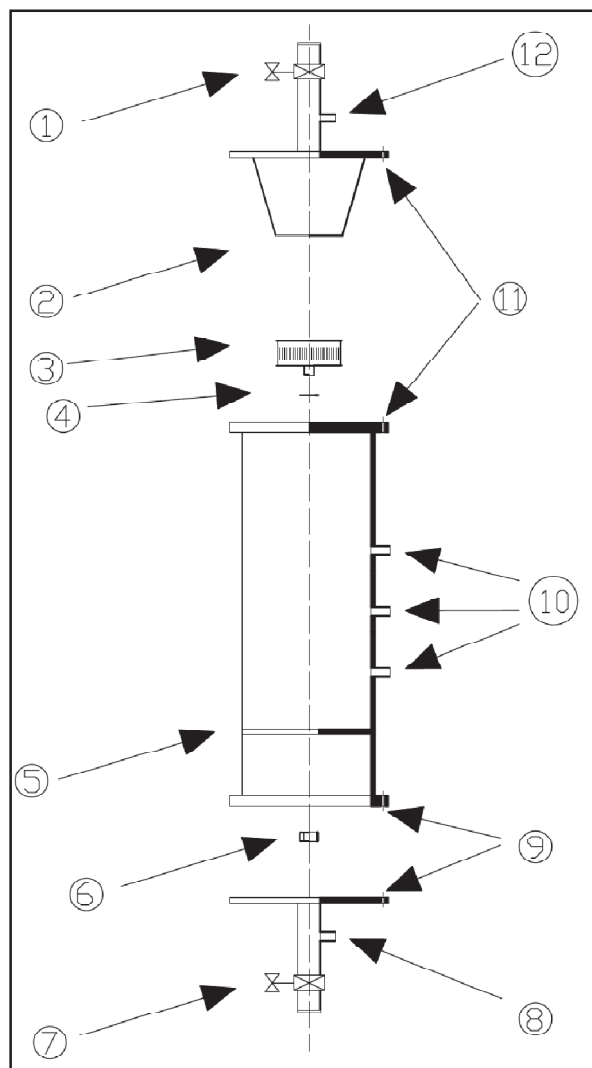


Figura 3: Esquema del filtre del laboratori amb tots els seus components.

Taula 1: Descripció dels punts marcats a la figura 3

Marca	Descripció
1	Vàlvula de la tapa superior i encaix per a connexió de mànegues.
2	Deflector per repartir el raig d'aigua incident.
3	Crepina a estudiar preparada per ser introduïda dins el filtre.
4	Junta de goma per garantir l'estanquitat en l'acoblament de la crepina i el filtre.
5	Platina amb forat central per a la subjecció de la crepina.
6	Femella roscada per a subjectar fermament la crepina a la platina interior.
7	Vàlvula de la tapa inferior i encaix per a la connexió de mànegues.
8	Allotjament on s'acobra el manòmetre 5, corresponent a la tapa inferior.
9	Forats repartits equidistants per unir el filtre i la tapa inferior. Enmig hi ha una junta.
10	Altres orificis on es poden col·locar manòmetres per obtenir lectures.
11	Forats repartits equidistants per unir el filtre i la tapa superior. Enmig hi ha una junta.
12	Allotjament on s'acobra el manòmetre 1, corresponent a la tapa superior.

2.2. Resum del disseny i fabricació de crepines.

Per tal de poder realitzar els assajos al filtre del laboratori, primer ha estat necessària la fabricació de les crepines a assajar. S'ha partit de la base i semblances d'una crepina comercial. S'han mantingut aspectes com les dimensions de les esclatxes per on passa l'aigua i dimensions aproximades. S'han realitzat els plànols de fabricació de les peces i muntatge d'aquestes així com també s'han realitzat càlculs de resistència a la pressió de la crepina dins el filtre. Les crepines, fabricades amb acer inoxidable 304 han estat fabricades entre el taller Oxiterri, S.L. que s'ha encarregat del tall làser del material i de les esclatxes i per altre part el taller de l'EPS que s'ha encarregat del plegat i muntatge mitjançant soldadura de les crepines.

El capítol 3, Disseny i fabricació de crepines, està dedicat a explicar amb tot detall el procés de disseny i fabricació de les crepines. A la figura 4 es pot observar un exemple de quin ha estat el resultat de la fabricació de les crepines.



Figura 4. Resultat de disseny i fabricació amb una crepina acabada.

2.3. Preparació per a l'assaig.

Cal escollir en primer lloc la crepina a assajar i el nivell de sorra per a l'assaig. Seguidament es procedeix a muntar la crepina en el filtre. Cal introduir la crepina dins el cos del filtre, posant una junta de goma per garantir una major estanquitat en la seva part roscada i aquesta alhora fer-la passar pel forat inferior del filtre. A l'altra banda es colla amb una femella per assegurar-ne la subjecció. El proper pas és adjuntar la part inferior del filtre, posant-hi la junta d'estanquitat i cargolant amb fermesa tots els cargols.

Ara cal introduir la sorra dins el filtre. La quantitat de sorra ha estat prèviament determinada per al cas de nivell de sorra baix i per a nivell de sorra alt. La quantitat de sorra fa referència a pes sec, per tant la sorra ha de ser assecada a l'estufa. En els casos en què es fa un canvi de crepina per a un mateix nivell de sorra únicament cal retirar la sorra de dins el filtre, canviar la crepina i tornar a introduir la mateixa sorra sense necessitat de ser assecada i pesada altra vegada. Per altra part, quan es vol variar el nivell de sorra, cal assecar aquesta i tornar-la a pesar. A la taula 2 es mostren els càlculs de volum de sorra per a cada nivell; a la taula 2 es mostra per al tipus de sorra utilitzat la quantitat necessària d'aquesta.

Per tal de determinar les alçades de sorra que s'utilitzen per al càlcul a la taula 3 s'han utilitzat com a referència els manòmetres addicionals que hi han filtre. La primera alçada determinada en 140 mm correspon als 100 mm des de la base al centre de l'orifici on s'instal·la el manòmetre inferior de dins el filtre, 10 mm per acabar de cobrir l'orifici on s'instal·la el manòmetre i 30 mm més per assegurar que en cas de que la

sorra es compacti o se'n perdi una mica el nivell continuï estant per sobre la lectura del manòmetre. Per al nivell de 340 mm és un cas semblant on el centre del forat on s'instal·la el tercer manòmetre de dins el filtre es troba a 300 mm i com a marge de seguretat s'aplica el mateix que en l'altre cas 40 mm.

Taula 2. Càlcul del volum de sorra necessària per als dos nivells estudiats.

Alçada de sorra	Altura de sorra (mm)	Diàmetre del filtre (mm)	Volum del cilindre (cm ³)	Volum de la crepina (cm ³)	Volum de sorra (cm ³)
Alçada 1	140	200	4398.2	346.9	4051.3
Alçada 2	340	200	10681.4	346.9	10334.5

Taula 3. Per a un mateix volum de sorra, en funció de la densitat de la sorra utilitzada es calcula la quantitat de sorra necessària.

Alçada de sorra	Volum de sorra (cm ³)	Densitat (g/cm ³) per granulometria 0.75-0.84 mm	Quantitat necessària de sorra (kg)
Alçada 1	4051.3	1.5411	6.24
Alçada 2	10334.5	1.5411	15.92

Cal pesar la sorra i introduir-la dins el filtre; seguidament ja es pot posar la junta superior i la tapa corresponent subjectada amb els cargols ben cargolats. Per finalitzar el muntatge cal connectar els dos extrems del filtre. En l'assaig a filtració es connecta la mànega que surt de la bomba a la part superior del filtre i la mànega de retorn a la part inferior. Cal assegurar bé les connexions cargolant les rosques amb una clau Stillson. En l'assaig a contra-reatat s'inverteix la posició de les mànegues.

2.4. Protocol d'assaig.

Quan el filtre està completament muntat el primer que cal fer és engegar la bomba per posar el circuit en funcionament. Aquesta operació serveix per comprovar que no hi hagin pèrdues de fluid per les connexions o per les juntes del filtre.

Seguidament es poden engegar i posar en mode de captura de dades els manòmetres instal·lats al filtre. Aquests manòmetres han estat prèviament posats a zero quan el

filtre no contenia ni aigua ni sorra. La captura de dades es fa cada segon i a cada manòmetre de manera automàtica. Les dades s'enregistren a la memòria interna de cada manòmetre.

S'inicia la captura de dades amb les vàlvules totalment obertes. Mitjançant un comptador volumètric i un temps de 2 minuts es calcula el cabal que circula pel muntatge. Passats aquests 2 minuts i sense parar la bomba, es tanca la vàlvula de sortida d'aigua fins a aconseguir un augment de pressió aproximat a 300 mbar. Quan es treballa a filtració la vàlvula manipulada és la inferior del filtre i el manòmetre de pressió referent és el superior. En el cas de contra-rentat la vàlvula manipulada és la superior i el manòmetre de referència l'inferior.

Amb la vàlvula ajustada es torna a calcular el cabal que circula pel sistema amb el comptador volumètric i un temps de 2 minuts, seguidament es torna a tancar la vàlvula fins que el manòmetre augmenta 300 mbar més. Aquest procés es fa fins a obtenir 11 punts i en cap cas superar la pressió màxima de 3700 mbar.

Cada assaig consta de 3 repeticions per a una mateixa alçada de sorra, mateixa crepina i corresponent cas a filtració o contra-rentat. A la taula 4 es mostra el model de taula utilitzat per prendre dades durant l'assaig.

Taula 4. Exemple taula per a prendre dades durant l'assaig

Cas 3, repetició 2, rentat; a dia 16/4/2014 i hora aprox. 10:25					
Volum inicial (m ³)	Volum final (m ³)	Temps (minuts)	Pressió (1) aprox. (mbar)	Volum fluid (l)	Cabal (l/s)
761.729	761.868	2	490	139	1.158
761.917	762.049	2	810	132	1.100
762.080	762,207	2	1120	127	1.058
.
.
.

Per tal de simplificar s'han referit els dos nivells de sorra i les diferents crepines com a:

- Cas 1: Crepina d'igual superfície de pas que la comercial, alçada de sorra 140mm (alçada 1)
- Cas 2: Crepina d'igual superfície de pas que la comercial però amb superfície de pas distribuïda als laterals però també a la tapa de la crepina, alçada de sorra 140mm (alçada 1)
- Cas 3: Crepina amb un 40% més d'àrea de pas que la comercial, alçada de sorra 140mm (alçada 1)
- Cas 4: Crepina d'igual superfície de pas que la comercial, alçada de sorra 340mm (alçada 2)
- Cas 5: Crepina d'igual superfície de pas que la comercial però amb superfície de pas distribuïda als laterals però també a la tapa de la crepina, alçada de sorra 340mm (alçada 2)
- Cas 6: Crepina amb un 40% més d'àrea de pas que la comercial, alçada de sorra 340mm (alçada 2)
- Cas 7: Crepina comercial, alçada de sorra 140mm (alçada 1)
- Cas 8: Crepina comercial, alçada de sorra 340mm (alçada 2)

2.5. Tractament de dades.

Per tal de poder obtenir unes dades per a ser valorades cal fer un tractament previ d'aquestes. Una vegada acabats els assajos cal procedir a descarregar les dades que han guardat els manòmetres i posar-les en un ordinador amb el programari adequat. Les dades descarregades a l'ordinador tenen el format mostrat a la figura 5. El format de descàrrega és Excel. S'indica primerament l'identificador del manòmetre i on ha estat guardat l'arxiu. També mostra el número de dada adquirida, corresponent a una per segon, el dia i l'hora de la mesura. La columna que interessa en aquest projecte és la corresponent a "CH1 Pressure1 mbar P1". L'última columna referent a temperatura no és d'interès per aquest projecte.

No	Date	Time	P1	TOB1
1	16/04/2014	11:05:34	64,278	23,8
2	16/04/2014	11:05:35	62,395	23,8
3	16/04/2014	11:05:36	61,768	23,8
4	16/04/2014	11:05:37	57,372	23,8
5	16/04/2014	11:05:38	62,395	23,8
6	16/04/2014	11:05:39	61,768	23,8
7	16/04/2014	11:05:40	62,395	23,8

Figura 5: Format en què es descarreguen les dades dels manòmetres i es guarden en format Excel.

Les dades descarregades necessiten ser tractades per a poder ser estudiades. El primer pas és trobar per a cada posició de la vàlvula (11 en total) un valor mitjà de pressió. Per aconseguir això cal fer la mitjana del màxim de valors possible en una mateixa obertura de la vàlvula. Cal començar al principi de la sèrie a la columna de pressió (mbar) i fer la mitjana del nombre màxim de valors possible fins a trobar valors clarament diferents, indicadors de tancament de la vàlvula. Per al mateix rang de valors per al que es fa la mitjana també resulta interessant calcular la desviació estàndard per poder avaluar l'error comès. La figura 6 exemplifica el rang de valors a utilitzar per fer la mitjana. Cada rang de valors que es determina i d'on s'extreu una mitjana correspon a un cabal determinat. Els punts que no s'utilitzen per al càlcul, corresponen al moviment de la vàlvula i un breu temps d'estabilització del sistema.

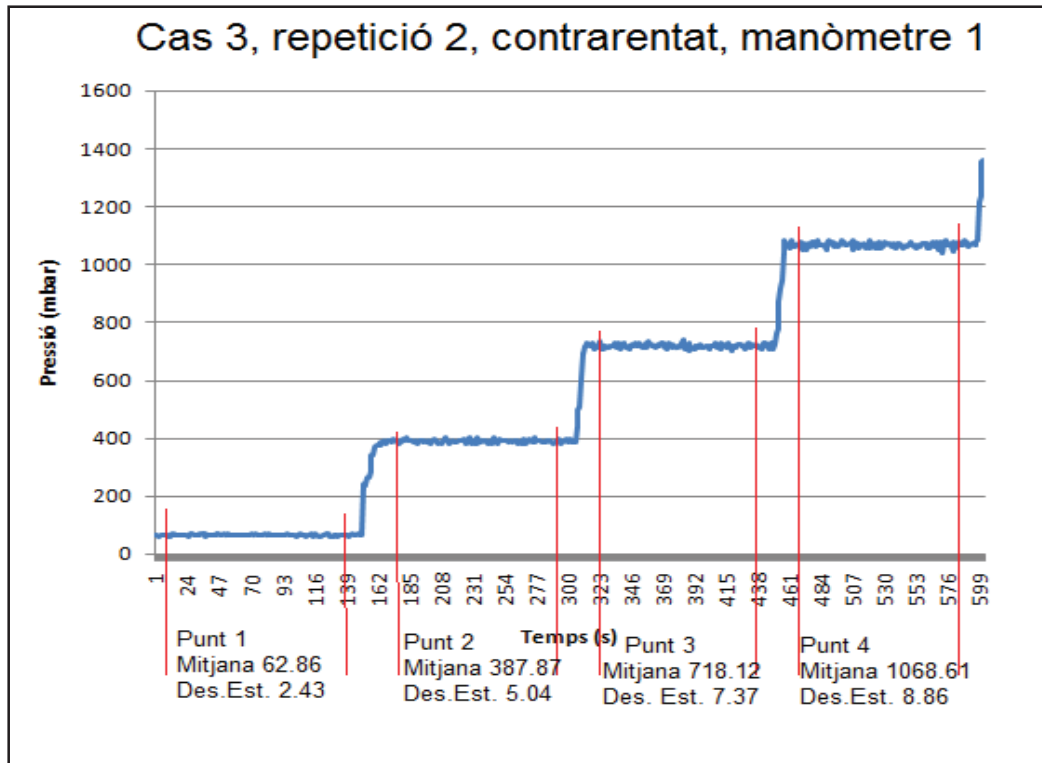


Figura 6: Dades de pressió al manòmetre superior en funció del temps per als cas de crepina cilíndrica amb 40% més d'àrea de pas que la comercial i una alçada de sorra de 140mm i contra-rentat. Els esglaons corresponen a tancaments progressius de la vàlvula de sortida. A cada posició de tancament, el cabal és diferent i es mesura amb un comptador volumètric.

Amb aquest procés s'obtenen valors mitjans de pressió d'un manòmetre per a cada cabal avaluat. Per obtenir la pèrdua de càrrega total del filtre cal buscar la diferència de pressió entre l'entrada i la sortida del filtre. La pressió més alta sempre es troba a l'entrada del filtre en el sentit de circulació de l'aigua, tant a filtratge com a contra-rentat, per tant la pèrdua de càrrega total del filtre serà la pressió del manòmetre d'entrada menys la pressió del manòmetre de sortida. La desviació estàndard, que és un indicador de l'error comès, s'obté per a cada manòmetre; la desviació estàndard de la resta de pressions es calcula com la suma de desviacions estàndard de cada manòmetre (error total). Els resultats s'han tractat mitjançant taules de pèrdua de càrrega del filtre i de desviació estàndard total en funció del cabal. A la taula 5 es mostra un exemple del mètode utilitzat per al càlcul de pèrdua de càrrega total del filtre i la seva desviació estàndard. Cal notar el canvi d'unitats de mbar a Pascals.

Taula 5: Exemple de dades de pèrdua de càrrega total i de desviació estàndard total.

Cas 3, repetició 2, contra-rentat						
Cabal (l/s)	Pe (Pa)	Ps (Pa)	Pe - Ps (Pa)	De (Pa)	Ds (Pa)	De+Ds (Pa)
1,141	60121,0	6286,0	53835,0	350,0	243,0	593,0
1,092	89361,0	38787,0	50574,0	461,0	504,0	965,0
1,058	119164,0	71812,0	47352,0	710,0	737,0	1447,0
1,016	150945,0	106861,0	44084,0	687,0	886,0	1573,0
.
.
.

Pe: Pressió a l'entrada; Ps: Pressió a la sortida; De: Desviació estàndard a l'entrada; Ds: Desviació estàndard a la sortida.

Gràficament també és un bon sistema per observar com evoluciona la pèrdua de càrrega total en funció del cabal. A la figura 7 es mostren les pressions graficades. A la figura 8 es mostren les desviacions estàndard de manera gràfica.

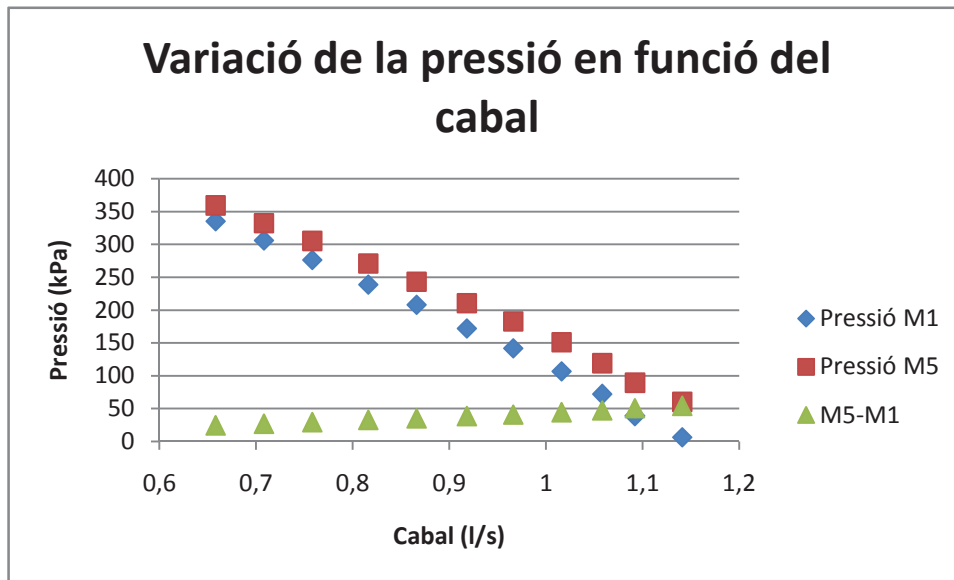


Figura 7: Pressió dels manòmetres M1 i M5 i la seva resta (M5-M1) per al cas 3 en contra-rentat, en funció del cabal.

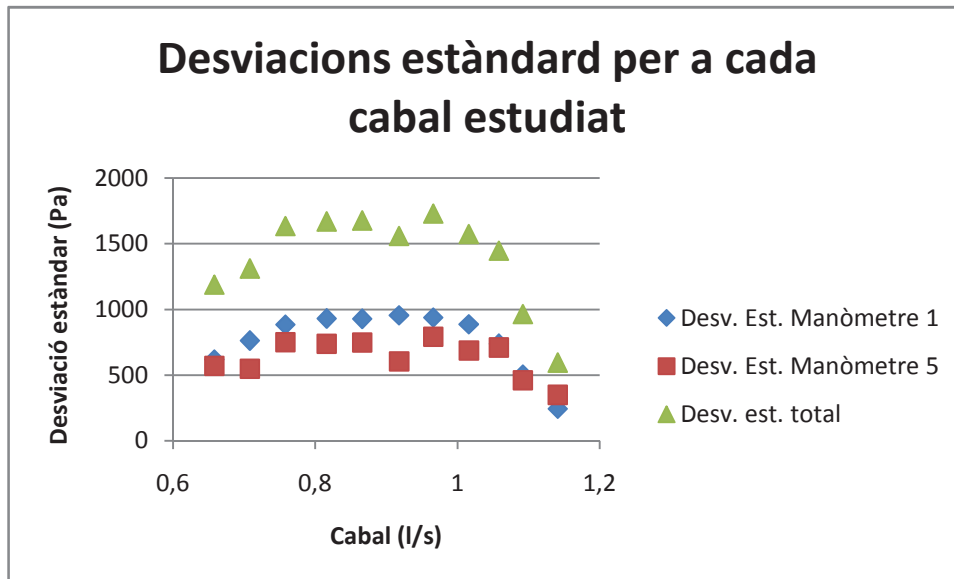


Figura 8: Desviació estàndard dels manòmetres M1 i M5 i la seva suma (Desv. est. total.) per al cas 3 en contra-rentat i en funció del cabal.

Com s'ha dit, de cada assaig es fan 3 repeticions. Per aconseguir els resultats finals, aquestes tres repeticions s'han posicionat gràficament i s'ha ajustat el seu valor utilitzant una línia polinòmica de grau 2.

Els casos 7 i 8, corresponents a la crepina comercial no s'han assajat; s'han utilitzat els resultats d'un assaig anterior realitzat en les mateixes condicions però per un altre equip de treball.

3. DISSENY I FABRICACIÓ DE NOVES CREPINES.

3.1. Introducció.

La crepina és un element molt important en els filtres de sorra, fa la funció de deixar passar amb la màxima facilitat el fluid per tal de sortir del filtre i per altre part ha de retenir el medi filtrant; en aquest cas la sorra. Per poder actuar correctament i evitar el pas de sorra juntament amb el fluid cal que aquest passi a través d'unes obertures molt petites. Quan el fluid és dins la crepina ha de tenir la màxima facilitat per poder ser evacuat. El fet que el líquid hagi de passar per la crepina provoca unes pèrdues de càrrega que poden arribar a ser molt importants i això representa directament un cost energètic destacable.

Per tal de poder complir la seva funció, les crepines han de respondre a alguns requisits. Els més importants són de resistència mecànica a la pressió del fluid i al pes de la sorra. També evitar obturacions dels orificis per culpa del medi o element a filtrar i poder-se fabricar amb materials adequats.

3.2. La crepina comercial.

En el mercat existeixen grans varietats de crepines. N'hi ha de diferents geometries, configuracions, materials, pas, adequades al medi, etc.

La crepina comercial que es relaciona amb aquest projecte està fabricada amb polipropilè. Té geometria troncocònica i per la part inferior en surt un tub roscat que és per on s'evacua l'aigua. Les esclotxes que retenen el fluid es troben distribuïdes en la seva cara lateral, en total n'hi ha 45 i tenen unes dimensions de 0.45 mm d'amplada i 30 mm de llargada. L'àrea total de pas a través de les esclotxes és de 607.5 mm². El forat inferior per on s'evacua l'aigua té una superfície de 415 mm². A la Figura 9 es mostra la crepina comercial i les seves dimensions principals.

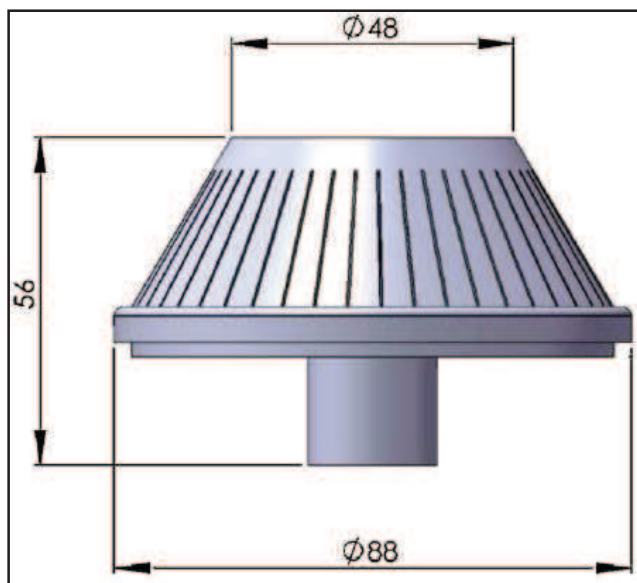


Figura 9: Dibuix de la crepina comercial i les seves dimensions bàsiques en mm. Imatge extreta de G. Arbat et al. (2013).

3.3. Crepines estudiades en el projecte.

En el principi de pensar en el treball es van proposar fins a 6 crepines diferents a estudiar; finalment es va decidir que les que podien tenir un major interès eren una crepina amb diferent geometria que la comercial però amb igual àrea de pas, una amb diferent geometria a la comercial i diferent configuració però mantenint la mateixa àrea de pas i una tercera crepina amb geometria diferent a la comercial i amb una àrea de pas un 40% mes gran. A la figura 10 s'observa una crepina de les fabricades amb un peu de rei com a referència.

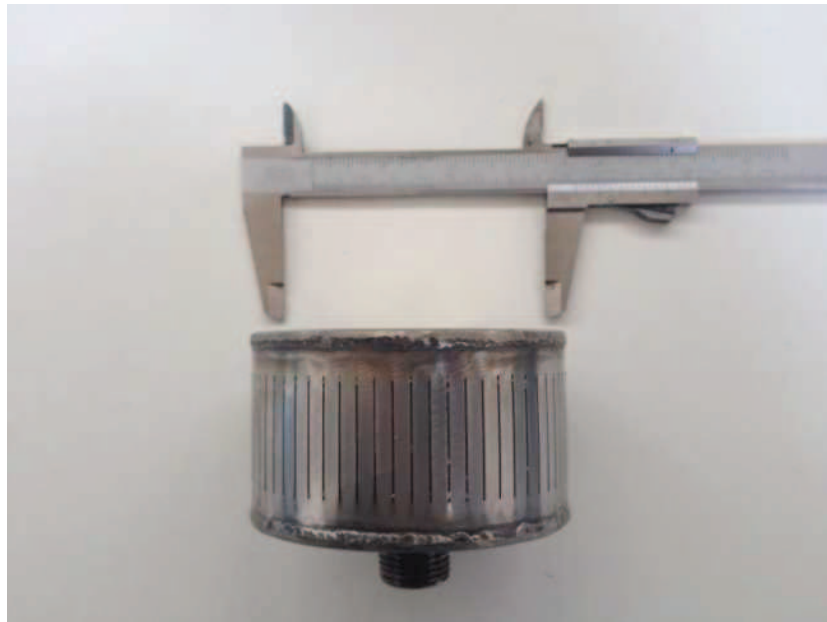


Figura 10. Mostra d'una crepina amb un peu de rei com a referència dimensional. L'obertura del peu de rei és de 94 mm, corresponent al diàmetre de la tapa.

3.3.1. Crepina A.

La primera crepina estudiada (crepina A) té forma cilíndrica. Està formada per una tapa inferior, una tapa superior, un tub roscat i el cos. La tapa superior té un diàmetre de 94 mm i un gruix d'1.5 mm. La tapa inferior té un diàmetre de 94 mm, un gruix de 1.5 mm i un forat central de 15 mm de diàmetre per evacuar l'aigua. Unit a la tapa inferior i per tal de poder subjectar la crepina al filtre hi ha un tub roscat per on surt el fluid. El cos de la crepina és un cilindre de 1 mm de gruix unit per un extrem a la tapa superior i per l'altre extrem a la tapa inferior. En aquest cilindre hi han obertures per on passa l'aigua. En total hi ha 45 esclatxes d'unes dimensions de 0.45 mm d'amplada i 30 mm de llargada, exactament igual que en la crepina comercial. A la figura 11 es mostra una imatge general de la crepina A.



Figura 11. Mostra de la crepina A on es veu el cos del cilindre i la tapa superior.

3.3.2. Crepina B.

La segona crepina estudiada (crepina B) té forma cilíndrica. Està formada per una tapa inferior, una tapa superior, un tub roscat i el cos. La tapa superior té un diàmetre de 94 mm i un gruix d'1.5 mm. Aquesta tapa té escletxes per on passa l'aigua, n'hi ha 12 i tenen unes dimensions de 30 mm de llargada i 0.45 mm d'amplada. La tapa inferior té un diàmetre de 94 mm, un gruix de 1.5 mm i un forat central de 15 mm de diàmetre per evacuar l'aigua. Unit a la tapa inferior i per tal de poder subjectar la crepina al filtre hi ha un tub roscat per on surt el fluid. El cos de la crepina és un cilindre de 1 mm de gruix unit per un extrem a la tapa superior i per l'altre extrem a la tapa inferior. En aquest cilindre hi han obertures per on passa l'aigua. En el cilindre hi ha 33 escletxes d'unes dimensions de 0.45 mm d'amplada i 30 mm de llargada. La suma total d'obertures és de 45 amb dimensions de 0.45 mm per 30 mm. Per tant, la crepina 2 té la mateixa àrea de pas que la crepina 1 i que la comercial però distribuïda de manera diferent. A la figura 12 es mostra una imatge general de la crepina B.



Figura 12. Crepina B amb escletxes al cos del cilindre i escletxes a la tapa superior.

3.3.3. Crepina C.

La tercera crepina estudiada (crepina C) té forma cilíndrica. Està formada per una tapa inferior, una tapa superior, un tub roscat i el cos. La tapa superior té un diàmetre de 94 mm i un gruix d'1.5 mm. La tapa inferior té un diàmetre de 94 mm, un gruix de 1.5 mm i un forat central de 15 mm de diàmetre per evacuar l'aigua. Unit a la tapa inferior i per tal de poder subjectar la crepina al filtre hi ha un tub roscat per on surt el fluid. El cos de la crepina és un cilindre de 1 mm de gruix unit per un extrem a la tapa superior i per l'altre extrem a la tapa inferior. En aquest cilindre hi han obertures per on passa l'aigua. En total hi han 63 esclertes d'unes dimensions de 0.45 mm d'amplada i 30 mm de llargada. L'àrea total de pas de l'aigua a través de les esclertes s'ha augmentat un 40% respecte les altres crepines estudiades. A la figura 13 es mostra una imatge general de la crepina C.



Figura 13. Crepina C on s'observa que les esclertes estan més juntes en la superfície lateral que en les crepines 1 i 2 i amb una tapa superior sense esclertes. Per a totes les crepines, la mida de cada esclerta és idèntica a la de la crepina comercial.

3.4. Càlculs.

S'han realitzat càlculs per a comprovar la resistència mecànica de les crepines. Aquestes han de ser capaces d'aguantar una pressió màxima de 4 bar; tot i això durant l'assaig mai s'han superat els 3,7 bar.

Per a la fabricació de les tapes superiors i inferiors s'utilitza acer inoxidable de gruix 1,5 mm. Per a la fabricació del cos dels cilindres s'utilitza acer inoxidable de gruix 1 mm.

El desenvolupament dels càlculs es mostren a l'Annex B. Càlculs.

3.5. Plànols de fabricació.

En l'annex C. Plànols de fabricació, es troben els següents plànols:

- C.2.: Tapa superior de les crepines A i C.
- C.3.: Tapa superior de la crepina B.
- C.4.: Tapa inferior per a les crepines A, B i C.
- C.5.: Cilindre cas A, 45 esclatxes.
- C.6.: Cilindre cas B, 33 esclatxes.
- C.7.: Cilindre cas C, 63 esclatxes.
- C.8.: Muntatge crepina A.
- C.9.: Muntatge crepina B.
- C.10.: Muntatge crepina C.

3.6. Fabricació de crepines.

La fabricació de les crepines ha estat realitzada en dues fases principals; la fase que ha realitzat Oxiterri, S.L., empresa que realitza treballs per a l'EPS i la fase que s'ha realitzat al taller de l'EPS. Com que són peces que estan amb contacte amb l'aigua es va optar fer fabricar-les amb acer inoxidable, concretament inoxidable 304.

El primer pas vas ésser triar el nombre i tipus de crepines a fer. Com s'ha vist en apartats anteriors es va optar per la fabricació de 3 crepines cilíndriques, amb unes dimensions principals iguals entre elles. L'idea va ser que el cos de les crepines tingués un diàmetre molt semblant al diàmetre màxim de les crepina troncocònica comercial (88 mm). Les tapes es va decidir fer-les d'un diàmetre lleugerament superior (94 mm) per tal de facilitar el procés de soldadura posterior. Amb aquestes dimensions per referència es van realitzar els plànols de les diferents peces que formen la crepina, tenint en compte el desenvolupament de les peces circulars i els càlculs realitzats.

A Oxiterri, S.L. es van encarregar la fabricació, mitjançant tall làser, dels components reflectits en la taula 6.

Taula 6. Peces i nombre d'aquestes fabricades per Oxiterri, S.L.

Nº Plànol fabricació	Nº unitats fabricades
C.2.	2
C.3.	1
C.4.	3
C.5.	1
C.6.	1
C.7.	1

Amb les peces realitzades es va procedir a la segona part del procés de fabricació de les crepines, realitzat per personal del taller de l'EPS.

El primer pas va ésser l'operació de corbar el que fins al moment eren les platines del cos de les crepines (plànol de fabricació 5, 6 i 7) fins a aconseguir els cilindres. Es va unir mitjançant soldadura els dos extrems de la platina per formar tres cilindres de diàmetre 88 mm i alçada 50 mm. Seguidament es van unir les tapes inferiors a cada

cilindre i les tapes superiors a cada crepina mitjançant soldadura. Per últim es van soldar a totes les tapes inferiors els tubs roscats per on s'ha d'evacuar l'aigua i han de servir de subjecció de la crepina en el filtre. Els muntatge de les crepines es reflecteix als plànols de muntatge. Aquests es troben a l'Annex C. Plànols de fabricació i corresponen a als plànols 8, 9 i 10.

3.7. Despeses.

El cost total de fabricació de les crepines ha estat de 160,44 €.

En l'Annex A. Despeses. es detalla d'on prové el cost total de fabricació de les crepines.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ.

Els resultats obtinguts dels assajos es presenten a continuació per a ser explicats i interpretats. La varietat d'estudis realitzats amb els resultats és gran; seguidament s'exposa com s'han estructurat els resultats per a poder ser presentats.

- Comparació entre crepines amb un nivell de sorra de 140 mm a filtració.
- Comparació entre crepines amb un nivell de sorra de 140 mm contra-rentat.
- Comparació entre crepines amb un nivell de sorra de 340 mm a filtració.
- Comparació entre crepines amb un nivell de sorra 340 mm a contra-rentat.
- Comparació per a cada crepina i dos nivells de sorra a filtració i contra-rentat.
- Comparació dels resultats experimentals amb el model d'Ergun.

4.1. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 140 mm a filtració.

En la figura 14 es mostren les dades experimentals corresponents a l'assaig a filtració per a un nivell de sorra 140 mm. En general, es veu que per a cabals majors, més diferència de pèrdua de càrrega hi ha entre les diferents crepines. Cal tenir present que, en general, la sorra provoca pèrdues de càrrega importants; en aquest cas on el nivell de sorra és baix la influència en la pèrdua de càrrega total del filtre provocada per la sorra és menor. Conseqüentment augmenta el percentatge de pèrdues de càrrega provocades per les crepines respecte a la pèrdua total del filtre.

S'observa de manera clara que la crepina comercial (cas7) és la que provoca unes pèrdues de càrrega més grans. S'observa també que les crepines amb forats a la tapa (cas 2) i amb un 40% més d'àrea de pas (cas 3) redueixen considerablement la pèrdua de càrrega del filtre i segons s'observa al gràfic pot tenir més importància la correcta distribució de l'àrea de pas que l'augment d'aquesta. La diferència entre la crepina comercial (cas 7) i la crepina fabricada i semblant a la comercial (cas 1) és important. Pot ser motivada per la diferència de geometria troncocònica i cilíndrica respectivament i també pel fet que la crepina comercial té un disseny interior que dificulta el pas de l'aigua a través seu o per altres motius que no poden ser determinats en aquest treball.

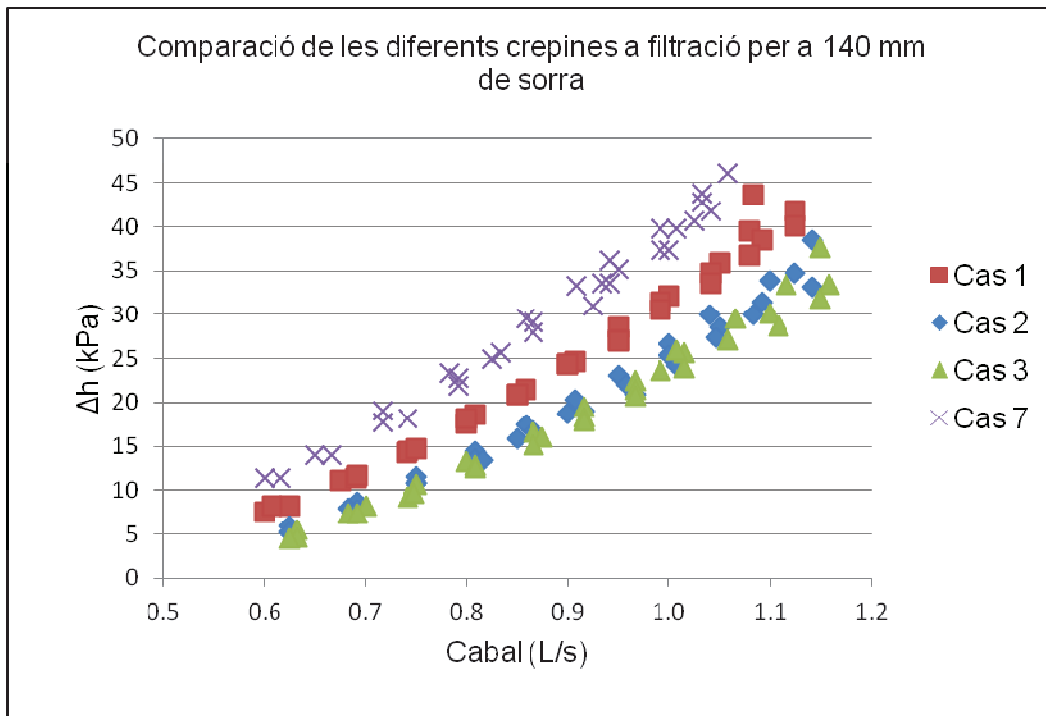


Figura 14. Pèrdua de càrrega en funció del cabal a filtració amb un nivell de sorra de 140 mm. Cas 1: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial; cas 2: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial però distribuïda en el cilindre i tapa superior; cas 3: crepina cilíndrica amb àrea pas 40% més gran; cas 7 crepina comercial. La desviació estàndard mínima de les dades és de 0.33 kPa i màxima de 2.84 kPa. Les dades completes es troben a l'annex D.1. Dades experimentals.

4.2. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 140 mm a contra-rentat.

En la figura 15 es mostren les dades experimentals de l'assaig a contra-rentat i nivell de sorra 140 mm. El primer que es constata és un valor molt elevat en una sèrie de les tres repeticions per a la crepina comercial (cas 7). Molt probablement, aquests valors no són correctes degut a algun problema durant l'assaig com podria ser l'obturbació del pas d'aigua, regulació equivocada d'alguna vàlvula o altres problemes.

El que sí que es constata és que la diferència de pèrdua de càrrega entre crepines és molt menor que a filtració. Quan es fa el contra-rentat l'aigua que entra al filtre a través del la crepina i en surt per la part superior manté la sorra en suspensió. Paral·lelament, com en el cas de filtració quan mes gran és el cabal més diferència hi ha entre

crepines. S'observa que la crepina igual que la comercial (cas 1) i la que té obertures a la tapa (cas 3) tenen un comportament molt semblant; la lleugera diferència entre elles podria venir del fet que en la crepina amb forats a la tapa, l'aigua quan entra impacta frontalment a les escletxes i una part d'aquesta surt directament, sense necessitat de desviar-se a les parets del cilindre. La crepina amb un 40% més d'àrea de pas (cas 3) mostra una lleugera disminució de la pèrdua de càrrega perquè té una àrea de pas molt major i aquest fet facilita la sortida d'aigua. Cal remarcar que, de forma general i per a un mateix valor de cabal, la pèrdua de càrrega a contra-entat supera la de filtració.

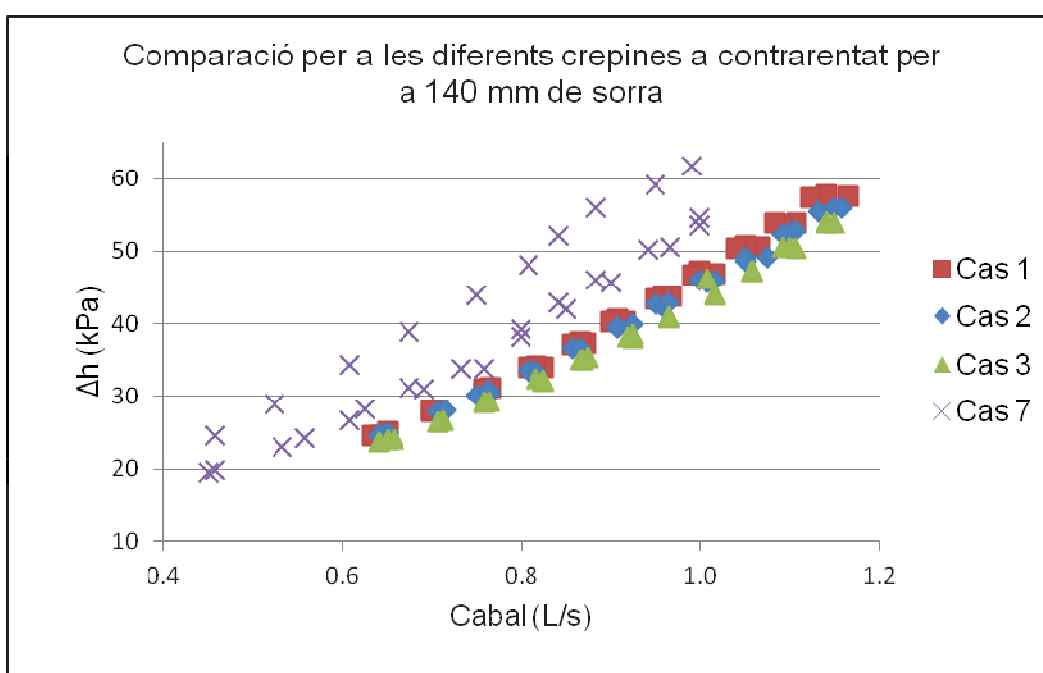


Figura 15. Pèrdua de càrrega en funció del cabal a contra-entat amb un nivell de sorra de 140 mm. Cas 1: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial; cas 2: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial però distribuïda en el cilindre i tapa superior; cas 3: crepina cilíndrica amb àrea de pas 40% més gran; cas 7 crepina comercial. La desviació estàndard mínima de les dades és de 0,59 kPa i màxima de 2,16 kPa. Les dades completes es troben a l'annex D.1. Dades experimentals.

4.3. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 340 mm a filtració.

La figura 16 mostra les dades experimentals per a l'assaig a filtració per a un nivell de sorra de 340 mm. Com en el cas de 140 mm de sorra, es veu que per a cabals majors, més diferència de pèrdua de càrrega hi ha entre les diferents crepines. En aquest cas, amb nivell de sorra 340 mm cal tenir present que l'augment de pèrdua de càrrega atribuït al nivell de sorra alt fa que el percentatge de pèrdua de càrrega provocat per la crepina sigui menor respecte a la pèrdua de càrrega total. En el gràfic s'observa que la crepina comercial (cas 8) i la crepina semblant a la comercial (cas 4) tenen un comportament molt similar. D'aquí es pot deduir que la geometria cilíndrica o troncocònica de la crepina té una importància petita per a nivells de sorra alts i paral·lelament que els casos 5 i 6 sí que tenen una diferència notable de pèrdua de càrrega respecte a la configuració inicial. S'observa que la crepina amb mateixa àrea de pas que la comercial i amb esclotxes a la tapa (cas 5) té un comportament més proper a la crepina amb un 40% més d'àrea de pas (cas 6). Aquest dos últims casos, per tant, són més eficients energèticament que la crepina comercial.

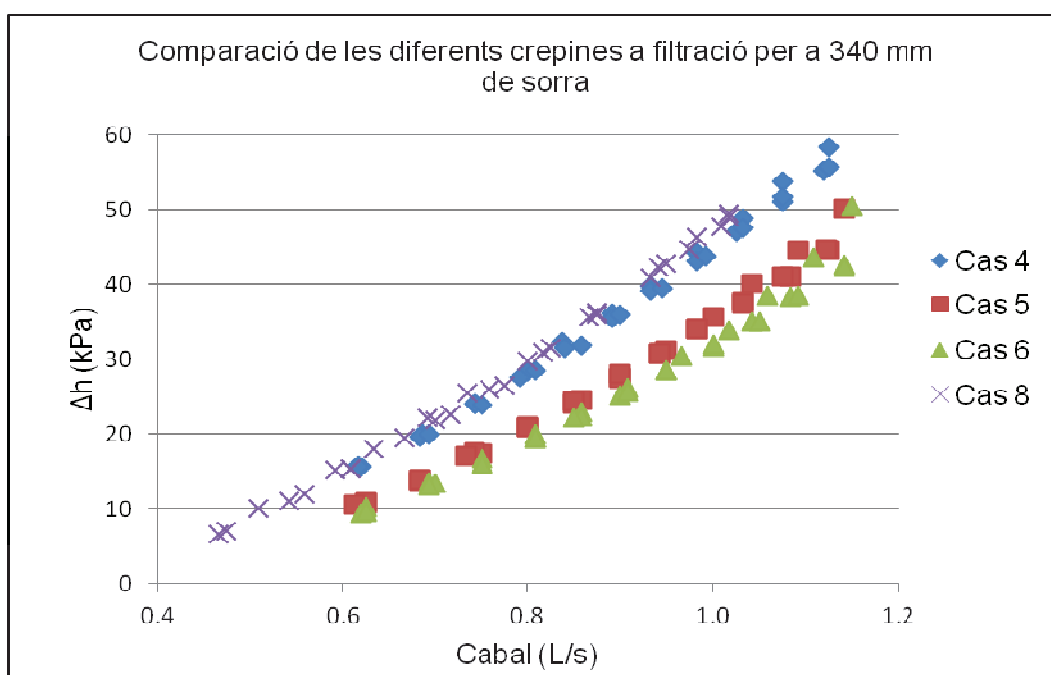


Figura 16. Pèrdua de càrrega en funció del cabal a filtració amb un nivell de sorra de 340 mm. Cas 4: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial; cas 5: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial però distribuïda en el cilindre i tapa superior; cas 6: crepina cilíndrica amb area pas 40% més gran; cas 8 crepina comercial. La desviació estàndard mínima de les dades és de 0,48 kPa i màxima de 2,60 kPa. Les dades completes es troben a D.1. Dades experimentals.

4.4. Comparació entre crepines per al nivell de sorra 340 mm a contra-rentat.

En la figura 17 es mostren les dades experimentals corresponents a l'assaig a contra-rentat amb un nivell de sorra de 340 mm. El cas constata que per al contra-rentat, i quan les pèrdues importants del filtre venen donades pel medi filtrant amb un nivell de sorra alt, el fet d'utilitzar una crepina o altre no dona resultats gaire diferents. Com en altres casos la crepina que provoca lleugerament menys pèrdues de càrrega és la crepina amb un 40% més d'àrea de pas (cas 6), tot i això es pot observar que les diferències entre les diferents crepines són molt petites.

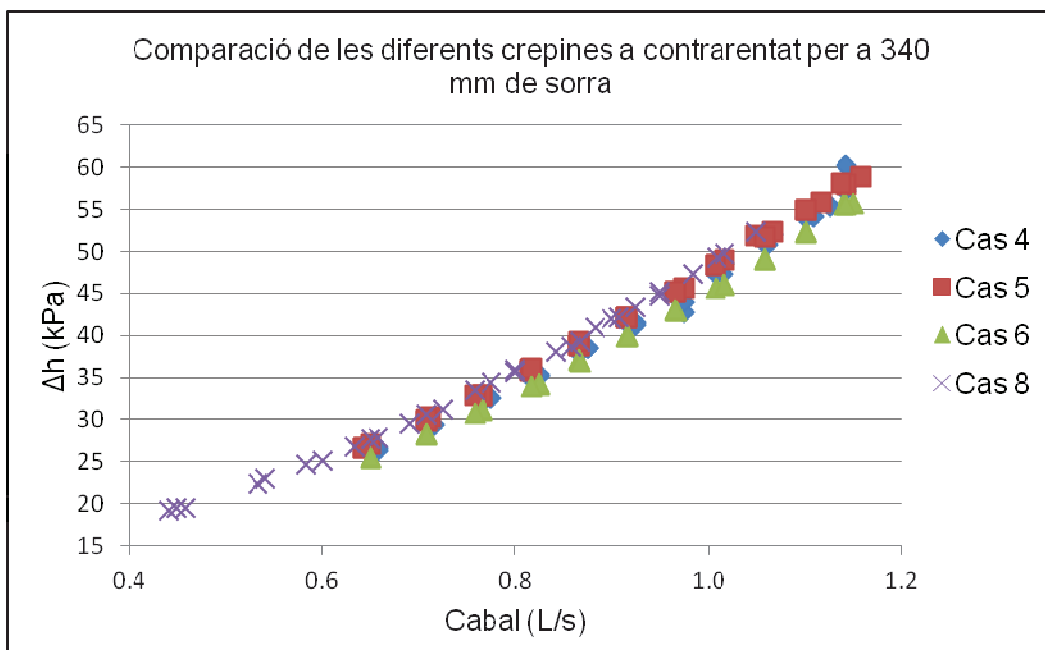


Figura 17. Pèrdua de càrrega en funció del cabal a contra-rentat amb un nivell de sorra de 340 mm. Cas 4: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial; cas 5: crepina cilíndrica amb igual àrea de pas que la comercial però distribuïda en el cilindre i tapa superior; cas 6: crepina cilíndrica amb àrea de pas 40% més gran; cas 8: crepina comercial. La desviació estàndard mínima de les dades és de 0.54 kPa i màxima de 2.30 kPa. Les dades completes es troben a l'annex D.1. Dades experimentals.

4.5. Comparació per a cada crepina i dos nivells de sorra a filtració i contra-rentat.

Aquesta part dels resultats consisteix a comparar el comportament del filtre amb una mateixa crepina i per al dos nivells de sorra estudiats, que són de 140 mm i 340 mm, a filtració i a contra-rentat. Es resultats es presenten a continuació en forma de gràfics.

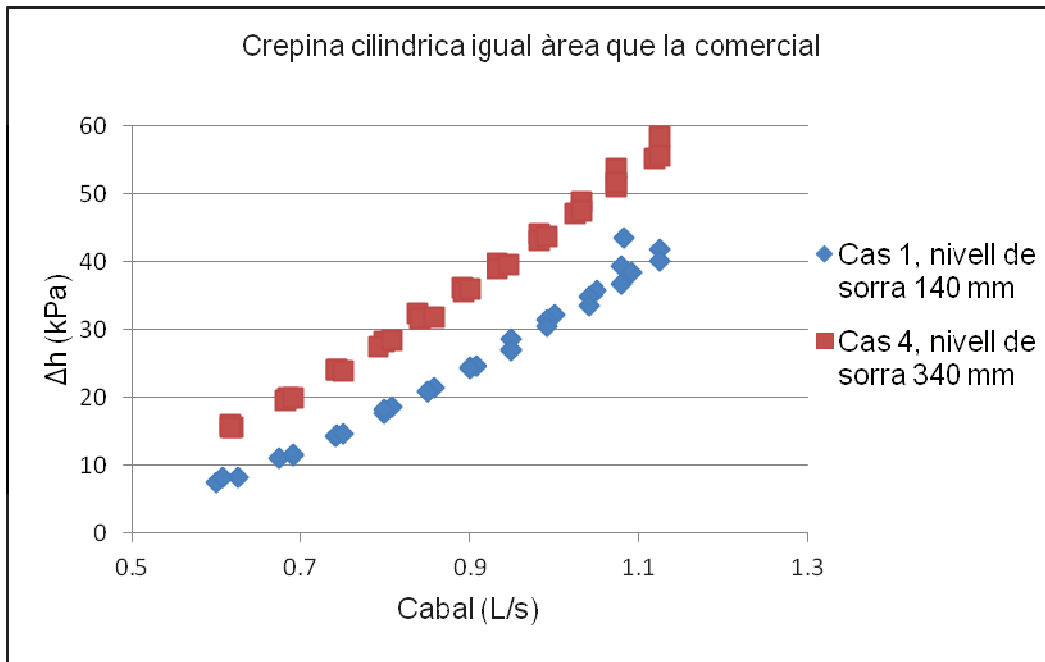


Figura 18. Assaig a filtració de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina amb igual àrea de pas que la comercial però amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica.

A la figura 18 s'observen els punts d'assaig per a la crepina d'igual àrea de pas que la comercial però amb geometria cilíndrica. Es pot veure que quan el nivell de sorra és més alt, les pèrdues de càrrega també. En els dos assajos però la tendència a l'evolució de la pèrdua de càrrega en funció del cabal és molt semblant. És interessant observar que, en la figura 10, i per a un mateix cabal, la diferència de pèrdues de càrrega correspon exclusivament a l'efecte de 200 mm d'alçada de sorra. A cabals més alts, sobretot per nivells de sorra baixos, es pot observar que la dispersió de punts és més gran. Possiblement aquest fet ve motivat perquè a cabals alts, la velocitat també és més alta i es poden generar zones de règim molt turbulent i provocar lectures mes disperses en els manòmetres.

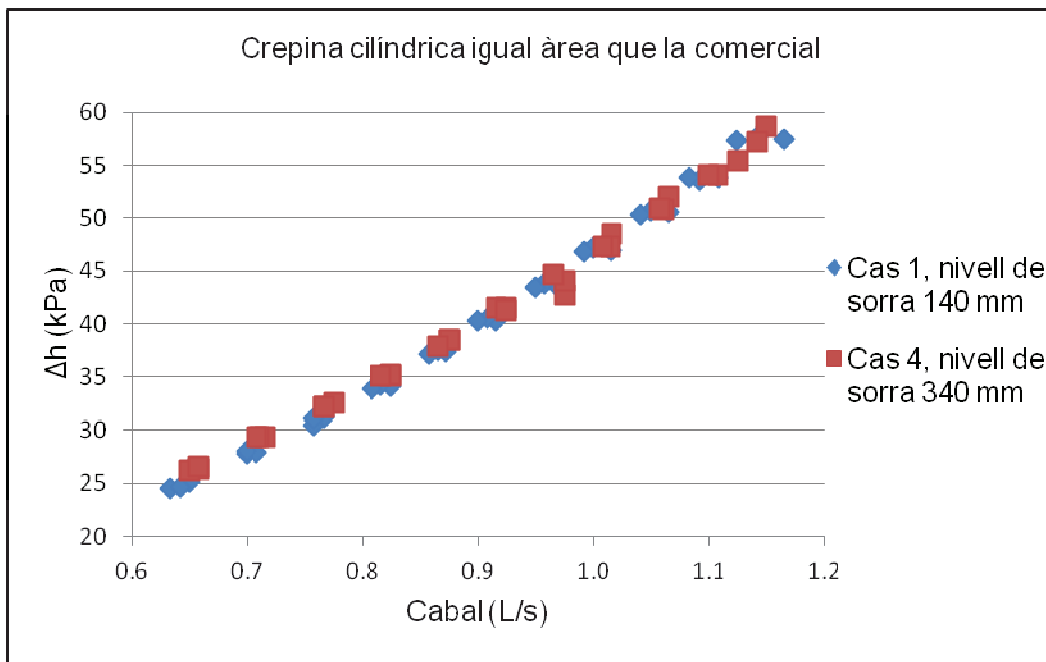


Figura 19. Assaig a contra-reatat de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina amb igual àrea de pas que la comercial però amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica.

A la figura 19 s'observa el comportament de la crepina igual que la comercial però amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica per al cas de contra-rentat i dues alçades de sorra diferents. En aquest cas s'observa clarament que no hi ha diferències de pèrdua de càrrega per a una mateixa crepina i dos nivells de sorra diferents. La raó és que, en contra-rentat, la sorra està en suspensió i l'efecte és gairebé el mateix per a les dues quantitats. El que sí que s'observa respecte el cas anterior és que per a un mateix cabal les pèrdues de càrrega són més grans a contra-rentat que a filtració.

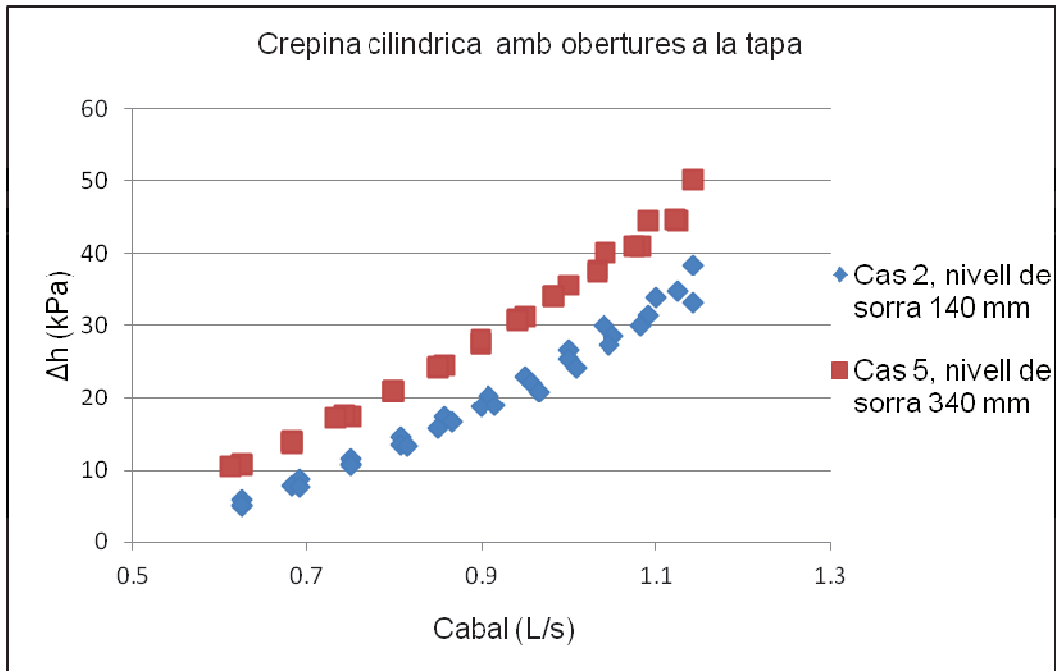


Figura 20. Assaig a filtració de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina amb igual àrea de pas que la comercial però amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica i àrea distribuïda entre el cilindre i la tapa.

La figura 20 mostra els resultats obtinguts utilitzant la crepina amb forats a la tapa i a la superfície cilíndrica i amb mateixa àrea de pas que la comercial. S'observa que per als dos nivells de sorra els dos assajos segueixen un model semblant i el cas amb un nivell de sorra superior produeix unes pèrdues de càrrega més grans. La diferència entre l'assaig a un nivell de sorra alt i el nivell de sorra baix és únicament provocat per l'augment d'altura de medi filtrant. La dispersió de dades a cabals grans pot ser resultat de la circulació de l'aigua a través del filtre a velocitats més grans. Es poden crear règims molt turbulents a la cambra inferior del filtre, entre la crepina i la sortida. També pot ser interferència entre les pròpies línies de corrent, que el fluid hi circula a una velocitat superior que a la resta de cabals. Les direccions de les línies de corrent que es dirigeixen al lateral del cilindre i les que entren a la crepina per la tapa poden variar en funció del cabal.

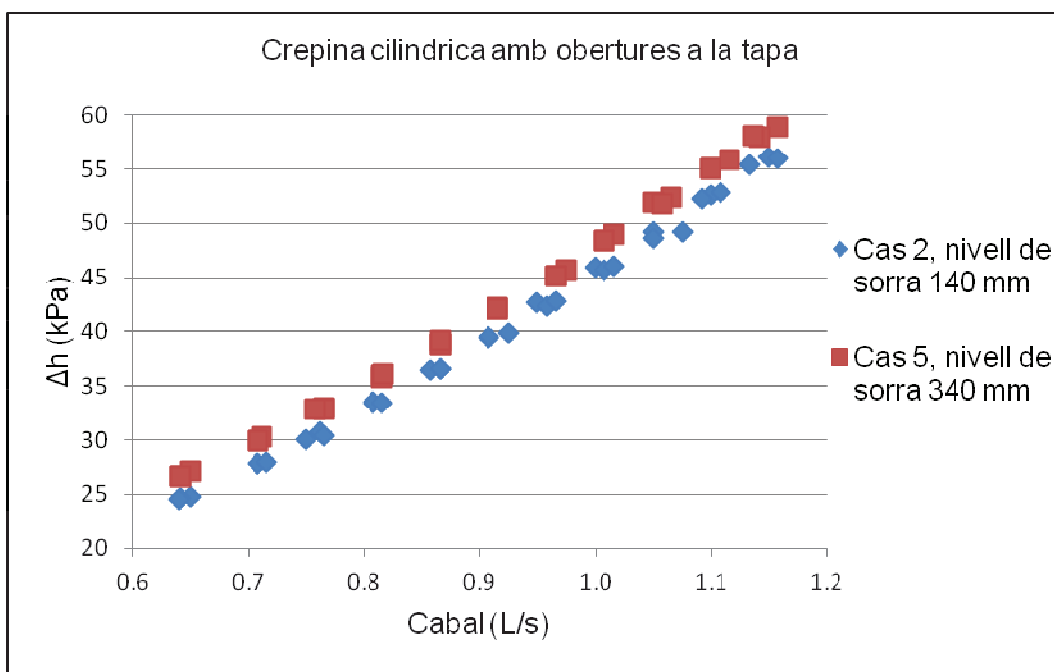


Figura 21. Assaig a contra-reatat de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina amb igual àrea de pas que la comercial però amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica i àrea distribuïda entre el cilindre i la tapa.

En el cas de contra-rentat mostrat a la figura 21, on en funció del cabal es mostra la pèrdua de càrrega per a una mateixa crepina i dues alçades de sorra, s'observa que quan el nivell de sorra és més alt la pèrdua de càrrega és superior. La diferència és poca però semblaria que tindria més sentit que fossin iguals ja que la sorra es troba en suspensió en els dos casos. Potser l'existència d'obertures a la part superior de la crepina pot crear interferències entre les línies de corrent i així fer augmentar la pèrdua de càrrega.

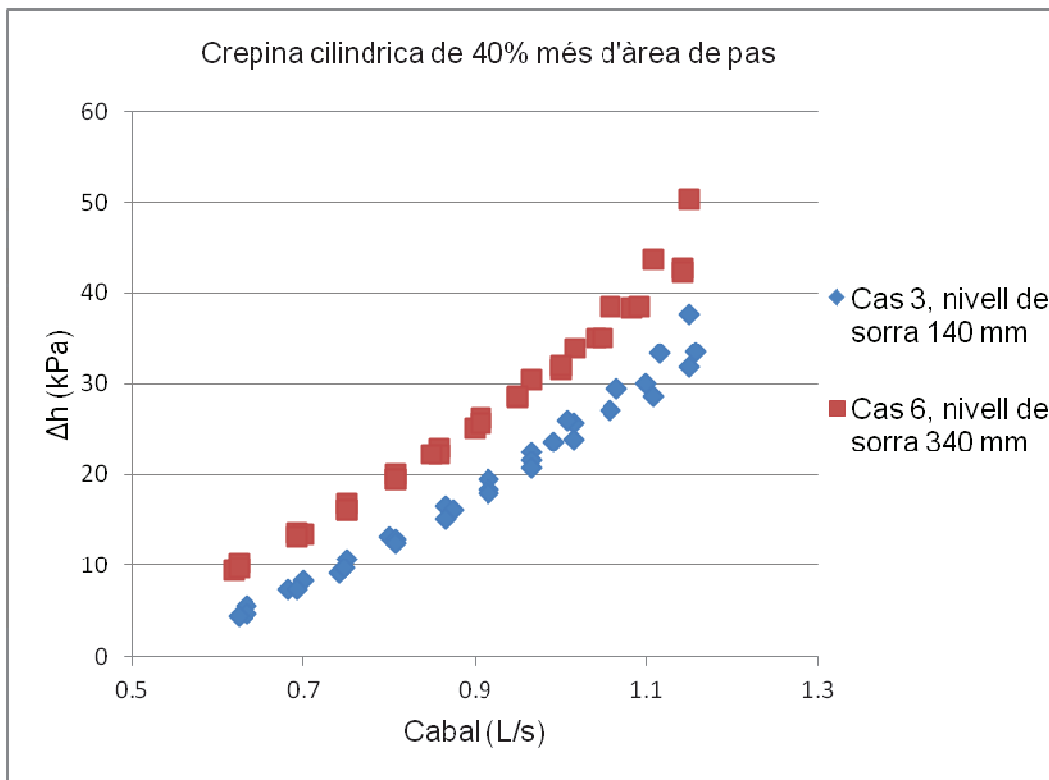


Figura 22 Assaig a filtració de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina amb àrea de pas 40% més gran que la comercial amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica.

La figura 22 mostra els resultats de la crepina cilíndrica amb un 40% més d'àrea de pas, a filtració i per a dos alçades de sorra diferents. S'observa, com ha passat en les crepines anteriors, que quan el nivell de sorra és alt, la pèrdua de càrrega és major. En les dues alçades de sorra però s'observa una mateixa tendència al comportament en les dues alçades per a cada cabal estudiat. Els punts on el cabal és màxim la vàlvula de sortida del filtre està totalment oberta, el fet que els punts estiguin més dispersos pot ser perquè la cambra que forma el filtre sota la crepina no tingui una pressió estable. L'aigua pot sortir lliurement cap al dipòsit i el fluid circula a velocitats més grans que poden crear turbulències i aquestes ser les causants de la dispersió de dades.

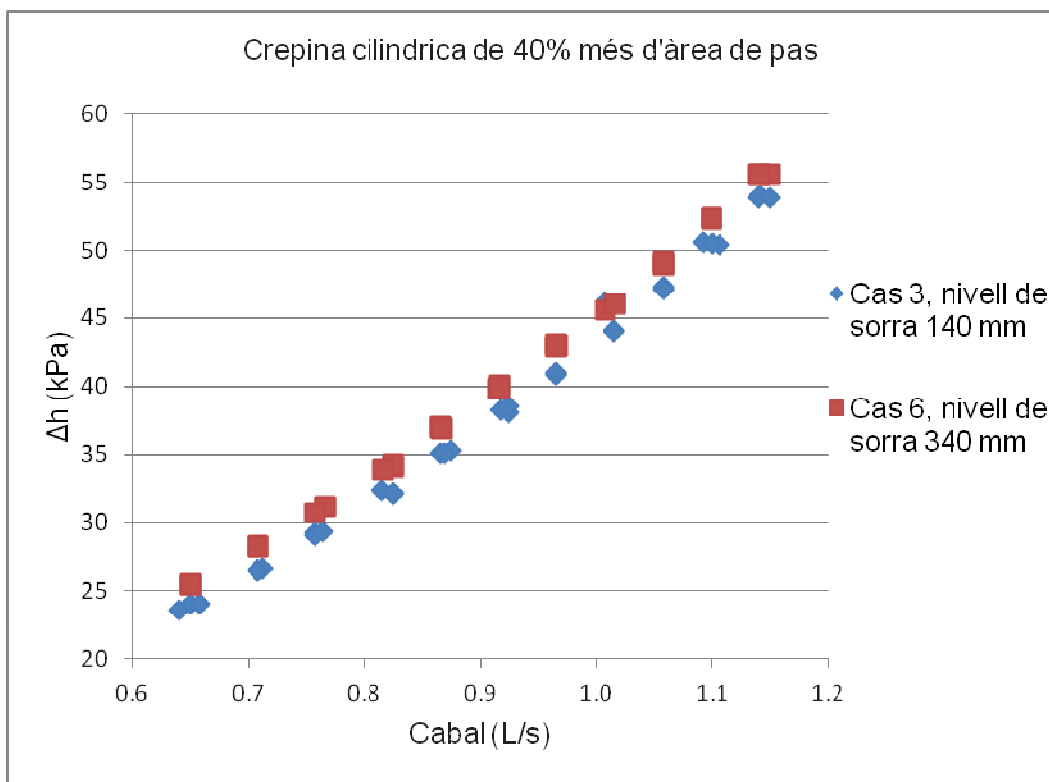


Figura 23. Assaig a contra-rentat de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina amb àrea de pas 40% més gran que la comercial amb geometria cilíndrica en comptes de troncocònica.

Per la seva banda, el cas mostrat a la figura 23, correspon a assajos de contra-rentat, amb la crepina que té una àrea de pas 40% superior a la comercial i assajada amb dos nivells de sorra diferents. S'observa com tant els punts corresponents al nivell de sorra baix com els corresponents al nivell de sorra alt, tenen un comportament semblant. En general, amb el nivell de sorra alt la pèrdua de càrrega en funció del cabal és una mica més gran. Tot i que la sorra es troba en suspensió pot ésser que dificulti lleugerament el pas d'aigua a través del filtre.

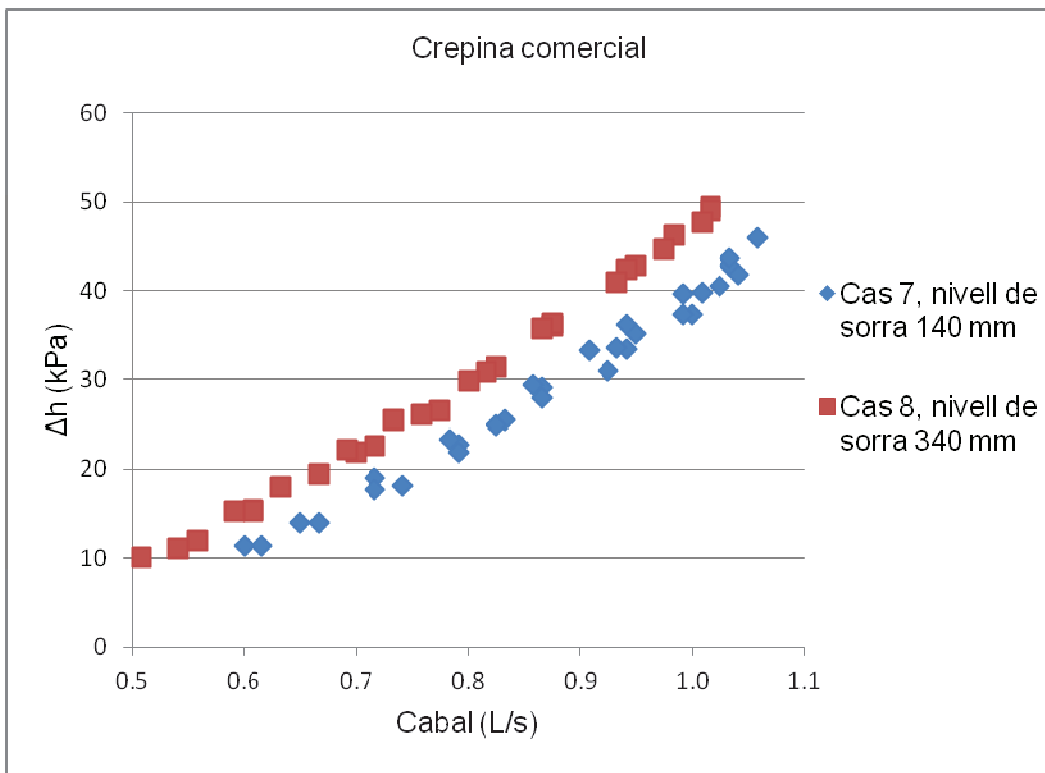


Figura 24. Assaig a filtració de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina comercial.

A la figura 24 s'observa la pèrdua de càrrega del filtre en l'assaig de la crepina comercial, a filtració i per a dues alçades de sorra. Es pot veure, tal com ha succeït en els altres casos, que per a nivells de sorra més alts la pèrdua de càrrega és més gran. Aquest augment, però, no és lineal sinó que és quadràtic. Per exemple, per a cabals petits la pèrdua de càrrega és de $\Delta_1 = 10$ kPa a cabal $Q_1 = 0,5$ l/s mentre que per a cabals grans la pèrdua de càrrega és de $\Delta_2 = 50$ kPa a cabal $Q_2 = 1$ l/s. La proporció Δ_1/Δ_2 és 0,2, gairebé la mateixa que $(Q_1)^2 / (Q_2)^2$ que és de 0.25. L'ajust quadràtic de les dades dona un coeficient de correlació de 0,98 pel cas 7 i de 0,99 pel cas 8. La diferència entre ambdós casos és important i també s'observa que en els dos casos el núvol de punts té la mateixa tendència.

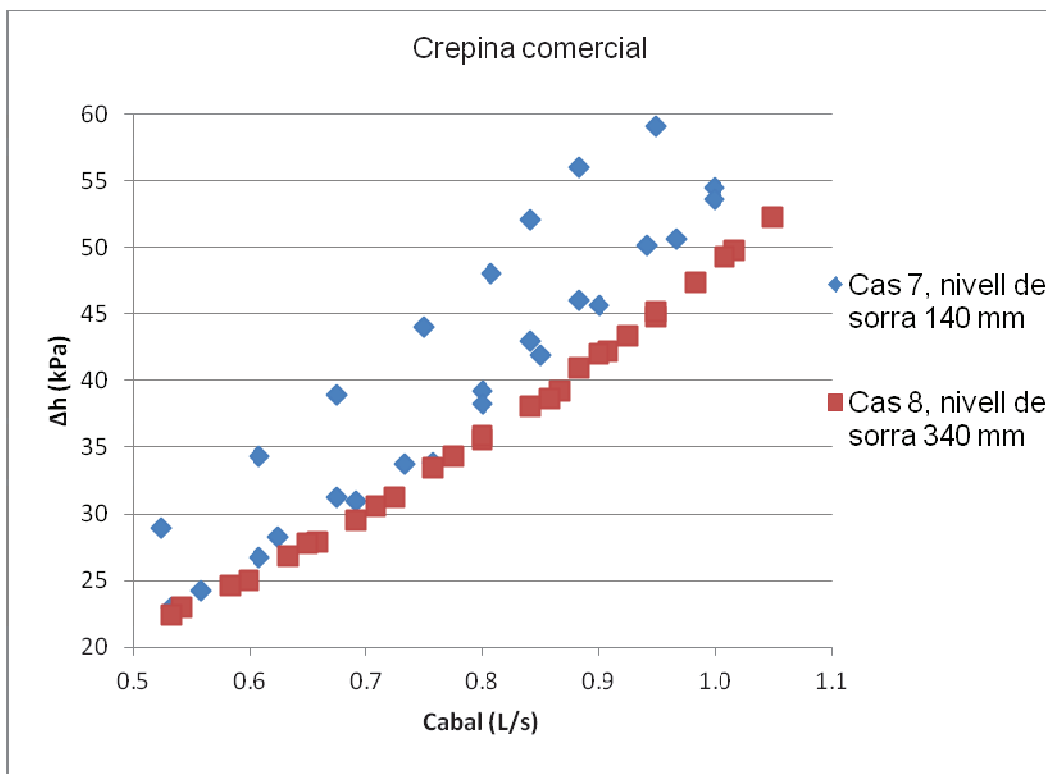


Figura 15. Assaig a contra-reatat de la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a dues alçades de sorra. Crepina comercial.

La figura 25 mostra la pèrdua de càrrega en funció del cabal per a la crepina comercial i dues alçades de sorra a contra-rentat. Els valors corresponents a l'assaig amb nivell de sorra 340 mm mostren molt poca dispersió en les tres repeticions de l'assaig. El cas del nivell de sorra 140 mm hi ha una repetició de les tres que dona uns valors molt elevats. Durant l'assaig alguna obstrucció o mala regulació d'alguna vàlvula podria haver provocat aquests resultats que semblen erronis. Fins i tot, en les altres dues repeticions, la pèrdua de càrrega en funció del cabal no sembla correcte, ja que dona superior a la del cas amb més sorra en suspensió (340 mm).

4.6. Comparació dels resultats experimentals amb el model d'Ergun.

En aquest apartat s'han comparat els valors de pèrdua de càrrega del filtre amb un mètode analític. La fórmula d'Ergun permet avaluar la pèrdua de càrrega d'un fluid quan travessa un medi porós, com, per exemple, un llit de sorra. A contra-rentat no té sentit utilitzar el model d'Ergun ja que la sorra es troba en suspensió. Per comparar els resultats experimentals amb el model d'Ergun s'han utilitzat ajustos de les dades experimentals mitjançant polinomis de grau 2. Aquest pas és necessari per poder obtenir un rang de valors continu i amb uns intervals de cabal fixats. Tots els paràmetres de les corbes polinòmiques i els seus valors d'ajust s'adjunten a l'Annex D.2. Corbes d'ajust.

La fórmula matemàtica d'Ergun correspon a la següent expressió.

$$\Delta P_s = L_s \left[\frac{150\mu (1 - \varepsilon)^2}{d_{10}^2 \varepsilon^2} \frac{4Q}{\pi D^2} + \frac{1.75\rho (1 - \varepsilon)}{d_{10} \varepsilon^3} \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4} \right]$$

On:

ΔP_s : Pèrdua de carrega (Pa).

L_s : Alçada del sorra (m).

μ : Viscositat de l'aigua (10^{-3} Pa.s)

d_{10} : Diàmetre mitjà de la sorra (0.795 mm).

ε : Porositat de la sorra (41.67%).

Q : Cabal d'aigua que circula (m^3/s).

D : Diàmetre del filtre (0.2 m)

ρ : Densitat de l'aigua (1000 kg/m^3)

Cal tenir present que el model d'Ergun només contempla les pèrdues de càrrega provocades pel llit de sorra. En l'estudi que es mostra a la taula 6 es compara el valor real de la pèrdua del filtre amb el valor obtingut amb el model d'Ergun. Els resultats es mostren com una mitjana de l'error comès per a cada cabal estudiat. L'error s'ha calculat com:

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Experimental} - \text{Ergun}}{\text{Experimental}} 100$$

Experimental correspon als valors obtinguts dels assajos per a cada cabal i Ergun correspon als valors obtinguts utilitzant el model d'Ergun.

Cal tenir present que els errors son molt grans puig per la banda experimental s'avalua la pèrdua total del filtre i per la banda de l'equació d'Ergun únicament s'avalua la pèrdua provocada pel llit de sorra.

Taula 7. Es mostren els errors mitjans pel rang de cabals experimentals que s'han obtingut al comparar els resultats experimentals amb el model d'Ergun, calculats respecte el valor experimental.

Cas	Crepina de geometria cilíndrica a filtració	Alçada de sorra	Error mitjà (%)
1	Igual àrea de pas que la comercial	140 mm	70.8
2	Igual àrea de pas i escletxes a la tapa	140 mm	60.7
3	Àrea de pas 40% més gran	140 mm	57.7
4	Igual àrea de pas que la comercial	340 mm	53.9
5	Igual àrea de pas i escletxes a la tapa	340 mm	38.6
6	Àrea de pas 40% més gran	340 mm	33.7

Els resultats mostrats a la taula 7 són prou interessant de comentar. En l'assaig les úniques variants sobre les que es pot influir directament és el cabal i l'alçada de sorra. Per tant per a una mateixa alçada de sorra i un rang de cabals similars la pèrdua de càrrega segons Ergun no té influència del tipus de crepina. En els resultats es constata el que s'ha vist en apartats anteriors, quan una crepina produeix una pèrdua de càrrega inferior més percentatge de la pèrdua total de càrrega del filtre és produïda pel medi i per tant el medi pren protagonisme i s'ajusta més al model d'Ergun. Això queda palès en els casos 1, 2 i 3 per una part i als 4, 5 i 6 per l'altre.

Per altra part i com també s'ha comentat anteriorment, quan més alçada de sorra hi ha, més percentatge de la pèrdua total del filtre és atribuïda al medi. Per tant a alçades més grans de sorra els valors experimentals s'ajusten lleugerament més al model d'Ergun i l'error és menor. D'això també en queda constància si es comparen entre sí les mateixes crepines per diferents alçades de sorra: comparar el cas 1 amb el cas 4, el 2 amb el 5 i el 3 amb el cas 6.

Per últim d'aquesta taula 6 es pot extreure, observant els errors, i es pot constatar amb apartats anteriors, que tenen un comportament més afí entre elles les crepines amb escletxes a la tapa i la que té una àrea de pas un 40% superior mentre que la crepina d'igual àrea que la comercial però cilíndrica (cas 1 i cas 4) divergeixen bastant dels altres assajos al seu mateix nivell de sorra.

Tal com s'ha vist anteriorment el model d'Ergun no pot avaluar la pèrdua total del filtre. L'equació tampoc es pot utilitzar a contra-reatat, on la sorra es troba en suspensió i el model només serveix quan el llit de sorra és compacte.

Seguidament s'estudien 3 casos interessants per al model d'Ergun. Un per cada crepina que s'ha fabricat i on es vol comparar una pèrdua de càrrega únicament causada per la sorra amb el model analític d'Ergun.

Per a cada una de les 3 crepines assajades hi han 2 nivells de sorra. La diferència de pèrdua de càrrega entre un nivell de sorra i un altre únicament és atribuïble a l'increment d'alçada de pas del fluid a través del medi. Directament si es comprova la diferència de pèrdua de càrrega entre els dos nivells de sorra per a un mateix cabal s'obté la pèrdua de càrrega provocada per aquesta diferència d'alçades; 340 mm menys 140 mm resulta una diferència d'alçada de 200 mm.

Prenent aquests 200 mm de sorra sense tenir en compte el filtre, és possible comparar la pèrdua de càrrega provocada per aquests 200 mm de sorra de manera experimental amb el model d'Ergun. Els resultats es presenten a les figures 26, 27 i 28 corresponents als assajos amb crepina cilíndrica i àrea igual que la comercial; crepina cilíndrica amb àrea de pas igual que la comercial i distribuïda entre la tapa i el cilindre i la crepina amb un 40% més d'àrea de pas, respectivament.

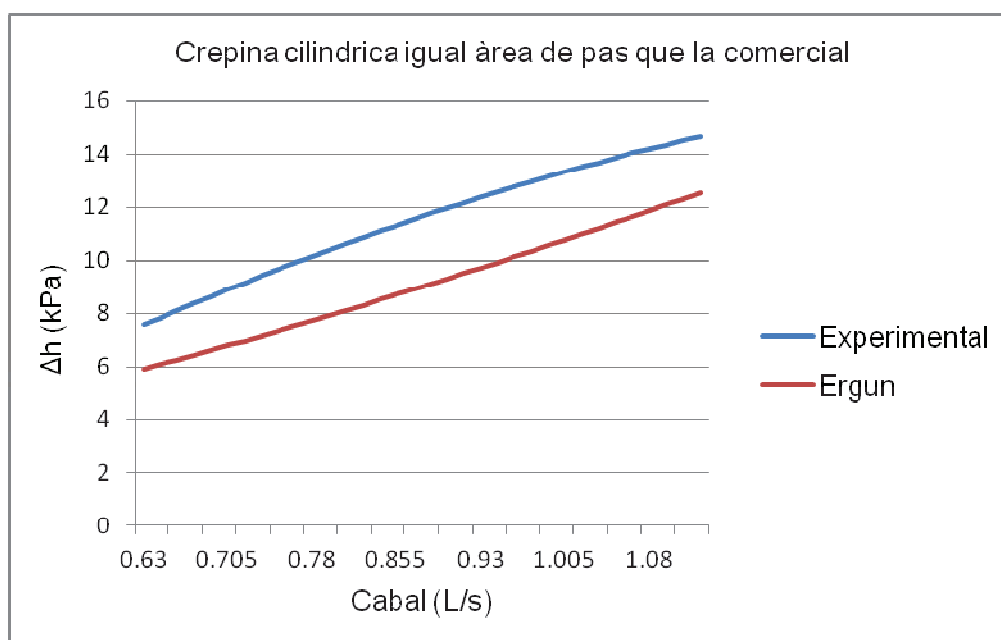


Figura 26. Diferència de pèrdua de càrrega experimental entre el cas amb alçada de llit de sorra de 340 mm i el de llit de sorra de 140 mm ajustada per un polinomi de grau 2 i els valors obtinguts utilitzant l'equació d'Ergun per a una alçada de sorra de 200 mm.

En la figura 26 es mostren les pèrdues de càrrega per a la crepina d'igual àrea de pas que la comercial i de geometria cilíndrica. L'error mitjà que es deriva entre les dues línies és del 21,15%. L'error és gran però s'ha reduït molt respecte casos anteriors. També cal tenir en comte que l'error de les dades experimentals és d'un ordre de 2,3 kPa. S'observa que les dues rectes segueixen gairebé paral·leles entre elles, tenen un comportament molt semblant. Els valors experimentals de pèrdua de càrrega són superiors als valors obtinguts amb l'equació d'Ergun. La diferència entre ambdós resultats pot ser degut a que s'han suposat partícules completament esfèriques en l'equació d'Ergun. Afegint un coeficient d'esfericitat menor que 1 per a la sorra, comportaria un augment en la pèrdua de càrrega que prediu l'equació ja que es suposaria una major tortuositat dels camins per on passa el fluid en l'interior de la sorra. Aquest coeficient d'esfericitat (menor que 1) multiplicaria el diàmetre de la partícula d_{10} a l'equació d'Ergun i podria fer augmentar la pèrdua de càrrega obtinguda mitjançant la formulació analítica.

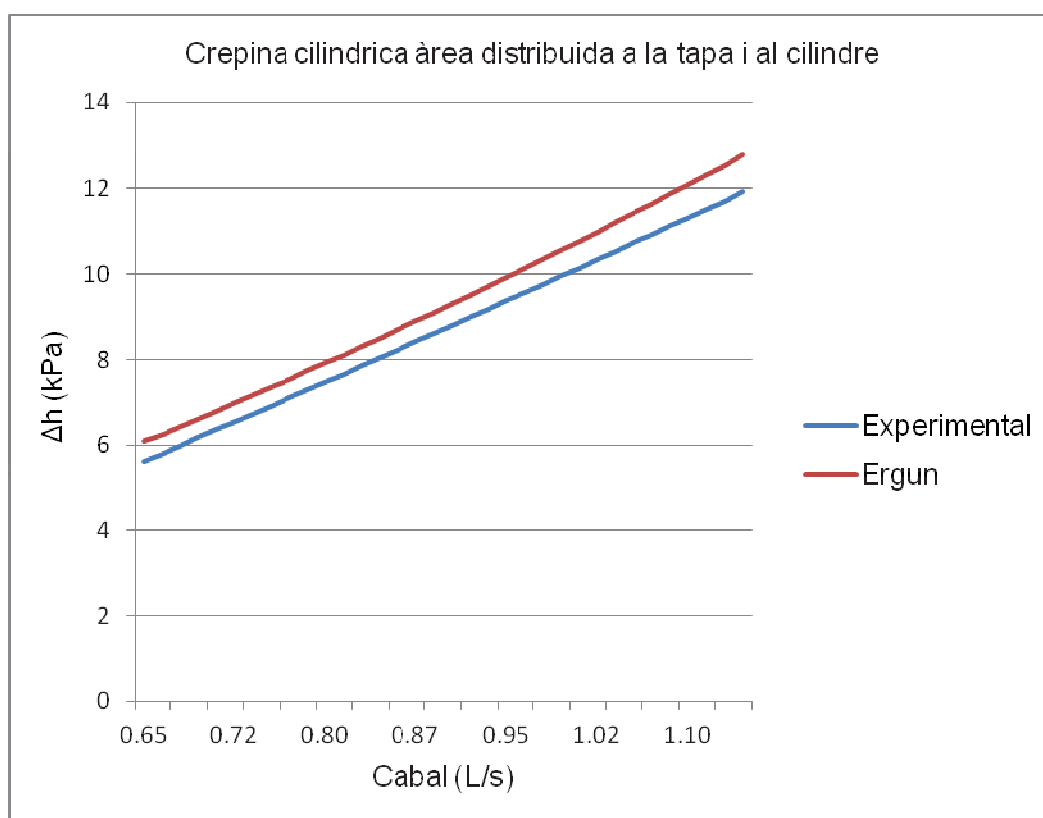


Figura 27. Diferència de pèrdua de càrrega experimental entre el cas amb alçada de llit de sorra de 340 mm i el de llit de sorra de 140 mm ajustada per un polinomi de grau 2 i els valors obtinguts utilitzant l'equació d'Ergun per a una alçada de sorra de 200 mm.

El cas que s'observa a la figura 27 correspon a la pèrdua de càrrega experimental i a la calculada amb l'equació d'Ergun, per a una alçada de sorra de 200 mm, utilitzant la crepina d'igual àrea de pas que la comercial, cilíndrica i amb àrea de pas distribuïda entre el cilindre i la tapa superior. El comportament de les dues rectes és molt semblant, segueixen la mateixa tendència i l'error mitjà entre elles és tan sols de 6,4%. Tot i això les dades experimentals sí que tenen més marge d'error entre elles ja que la desviació estàndard pot ser d'un valor aproximat de 2,7 kPa. En aquest cas però les pèrdues de càrrega obtingues experimentalment són menors que les calculades amb el model d'Ergun. Això pot ser degut a un comportament diferent per a les línies de flux en el llit de sorra en els experiments amb alçades de sorra de 340 mm i de 140 mm. Com aquesta crepina té esclatxes en la part superior i a 140 mm l'alçada del llit de sorra per damunt de la crepina és molt reduïda, la trajectòria del fluid al pas de la sorra en els últims 140 mm de sorra no deu ser idèntica si tenim 340 mm o si només en tenim 140 mm. Això fa que la resta dels resultats de pèrdues dels dos casos experimentals no correspongui únicament a 200 mm de sorra de diferència sinó també a diferents trajectòries de fluid dins del llit per a la zona per sota de 140 mm de sorra.

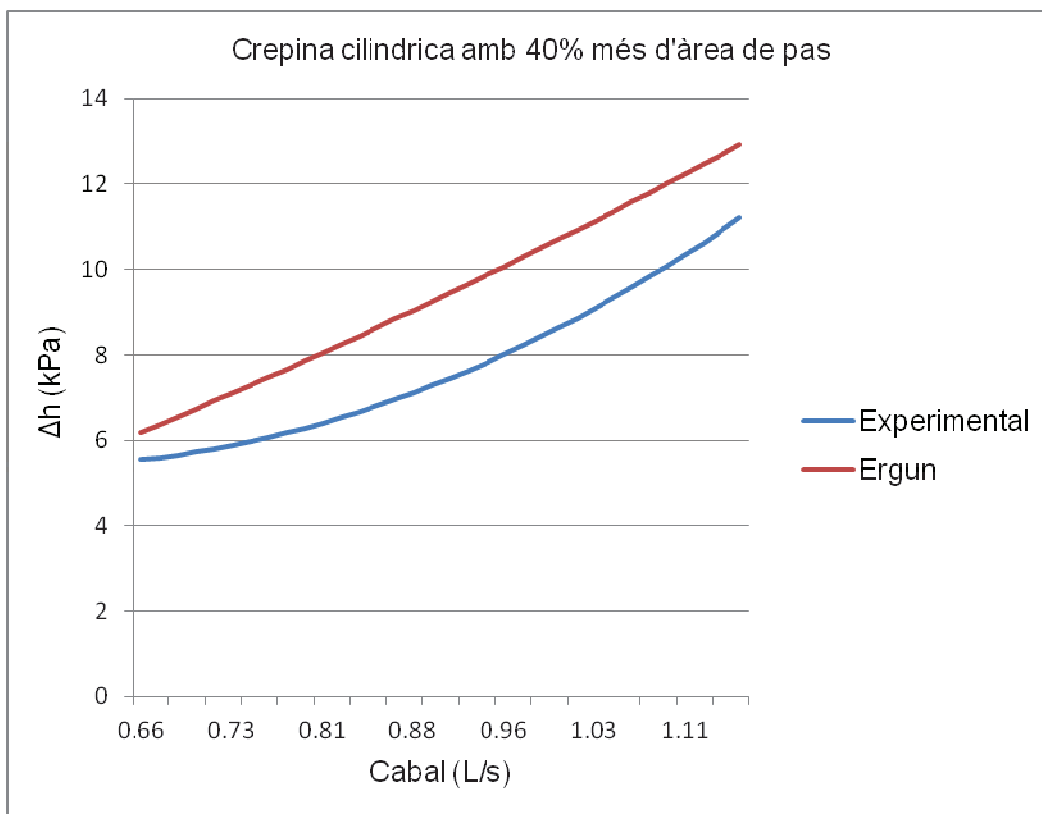


Figura 28. Diferència de pèrdua de càrrega experimental entre el cas amb alçada de llit de sorra de 340 mm i el de llit de sorra de 140 mm ajustada per un polinomi de grau 2 i els valors obtinguts utilitzant l'equació d'Ergun per a una alçada de sorra de 200 mm.

La figura 28 mostra per a un alçada de 200 mm de sorra i la crepina cilíndrica d'àrea de pas un 40% més gran que la comercial els resultats d'aplicació de l'equació d'Ergun comparats amb els resultats experimentals. S'observa en primer punt una diferència important entre ambdues línies, l'error mitjà és del 22,2%. Els resultats experimentals mostren una pèrdua de càrrega inferior al model d'Ergun i un comportament no lineal. Com en el cas anterior, el comportament de les línies de flux al pas de la sorra pot ser diferent a la zona per sota de 140 mm d'alçada de sorra si escollim el filtre amb 340 mm de sorra o si només en té 140 mm. A més, s'ha de tenir en compte l'error associat a les dades experimentals que és de l'ordre de 2,6 kPa, per tant la solució analítica s'apropa a l'experimental dins d'aquest marge d'error.

5. Conclusions.

Amb l'objectiu de trobar una crepina que redueixi les pèrdues de càrrega d'un filtre de sorra, és a dir que sigui més eficient energèticament, s'han fabricat 3 crepines diferents i s'han estudiat juntament amb una crepina comercial. Per a un mateix tipus de sorra, s'ha estudiat el comportament de les crepines per a 2 nivells de sorra diferents, també a filtració i a contra-rentat. Paral·lelament també s'ha comparat amb el model analític d'Ergun.

En general s'ha constatat que:

- El cabal que circula pel filtre té una relació quadràtica proporcional a la relació de la pèrdua de càrrega.
- En un filtre, quan més gran és el nivell de sorra, més grans són les pèrdues de càrrega d'aquest per un mateix cabal.
- Les pèrdues de càrrega a contra-rentat són superiors a les de filtració.
- Quan la velocitat de filtració o contra-rentat és més baixa, és a dir quan passa menys cabal, les pèrdues de càrrega són menors.

Pel que s'ha vist quan s'ha aplicat el model analític d'Ergun:

- El model matemàtic d'Ergun és un bon sistema de càlcul de les pèrdues de càrrega en un llit de sorra únicament.
- El model d'Ergun té un error molt gran quan s'utilitza per calcular les pèrdues de càrrega del filtre enter.

Del comportament que s'ha observat entre les diferents crepines estudiades se'n pot deduir que:

- S'ha demostrat que a contra-rentat no hi ha diferències importants entre les diferents crepines estudiades.
- No es poden afirmar diferències de pèrdua de càrrega pel fet de ser una crepina de geometria cilíndrica o troncocònica per a nivells de sorra alts.

- Un no augment de l'àrea de pas de la crepina, però sí una distribució correcte d'aquesta entre el cilindre i la tapa pot reduir les pèrdues de càrrega.
- Una crepina amb una àrea de pas més gran redueix les pèrdues de càrrega.

En el filtre del laboratori, s'ha assolit una reducció de les pèrdues de càrrega destacable, mantenint la mateixa àrea de pas de la crepina comercial però distribuint-la no només en els laterals sinó també a la part superior de la crepina. Per tant, dels resultats anteriors es conclou que un disseny substancialment més eficient que el comercial consisteix en disposar d'esclatxes a la part superior de la crepina.

6. RELACIÓ DE DOCUMENTS.

El projecte present està format pels següent documents:

- Memòria
- Annex A. Despeses
- Annex B. Càlculs
- Annex C. Plànols de fabricació
- Annex D Dades

7. BIBLIOGRAFIA

Burt, C.M. Hydraulics of Commercial Sand Media Filter Tanks Used for Agricultural Drip Irrigation. ITRC Report No. R 10001. Irrigation Training and Research Center, San Luis Obispo, California. 2010.

G. Arbat, T. Pujol, J. Puig-Bargués, M. Duran-Ros, L. Montoro, J. Barragán, F. Ramírez de Cartagena. An experimental and analytical study to analyze hydraulic behavior of nozzle-type underdrains in porous media filters. *Agricultural Water Management* 126, 64-74. 2013

G. Arbat, T. Pujol, J. Puig-Bargués, M. Duran-Ros, J. Barragán, L. Montoro, F. Ramírez de Cartagena. using Computational Fluid Dynamics To Predict Head Losses In The Auxiliary Elements Of A Microirrigation Sand Filter. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* ISSN 2151-0032. Vol. 54(4) 1367-1376. 2011.

Megyesy, Eugene F. Manual de recipientes a presión: diseño y cálculo / Eugene F. Megyesy; prefacio de Paul Buthod; versión Española: Rafael García Díaz; Revisión: Rubén Ávila Espinoza. Mexico: Noriega: Limusa. 1989.

Trooien, T.P., Hills, D.J. Application of biological effluent. In: Lamm, F.R., Ayars. J.E., Nakayama, F.S. (Eds.) *Microirrigation for Crop Production (Design, Operation and Management)*. Elsevier, Amsterdam, pp 329-356. 2007.

ANNEX A. DESPESES.

El projecte present ha generat unes despeses. Aquestes, corresponen a la fabricació de les crepines, concretament pel treball realitzat per Oxiterri, S.L. corresponent al material d'acer inoxidable 304, el seu tall perimetral i de les escletxes. El desglossament de les despeses es mostra a la taula 8.

La part de fabricació corresponent al plegat i soldat per formar les crepines s'ha realitzat al taller de l'EPS i no s'ha comptabilitzat com a despesa així com tampoc els tres talls de tub roscat que s'han soldat a la crepina que procedien de restes sobrants d'altres assajos.

Taula 8. Desglossament del cost de les peces fabricades per Oxiterri, S.L. l'IVA no es troba incorporat amb el preu unitari.

Nº Plànol	Unitats	Descripció	Preu(U) €	Preu €
1	2	Tapa Ø94 x 1,5 mm	9,70	19,40
2	1	Tapa Ø 94 x 1,5 mm amb escletxes	9,70	9,70
3	3	Tapa Ø 94 x 1,5 mm forat Ø15 mm	9,90	29,70
4	1	Peça 284 x 50 x 1 mm, 45 escletxes	24,60	24,60
5	1	Peça 284 x 50 x 1 mm, 33 escletxes	24,60	24,60
6	1	Peça 284 x 50 x 1 mm, 63 escletxes	24,60	24,60

El cost de fabricació és de 132,6 €

Cal aplicar IVA 21% de 27,84 €

El cost total, IVA inclòs, de fabricació de les crepines és de 160,44 Euros.

ANNEX B. CÀLCULS.

B.1. Càlcul del gruix de paret del cilindre de la crepina.

S'ha utilitzat el mètode descrit en Manual de Recipientes a Pressión. Diseño y cálculo d'Eugene F. Megyesy (1989).

S'ha considerat que la zona amb esclatxes del cilindre no té capacitat per aguantar pressió, per tant la pressió total del cilindre l'ha d'aguantar la part superior i inferior d'aquest on no hi ha esclatxes. A la figura 29 es pot observar la les zones del cilindre que poden aguantar pressió, per tant, les dues zones B de 10 mm cada una han de tenir capacitat per aguantar tota la pressió a la que està sotmès el cilindre en la seva alçada completa (A) de 50mm.

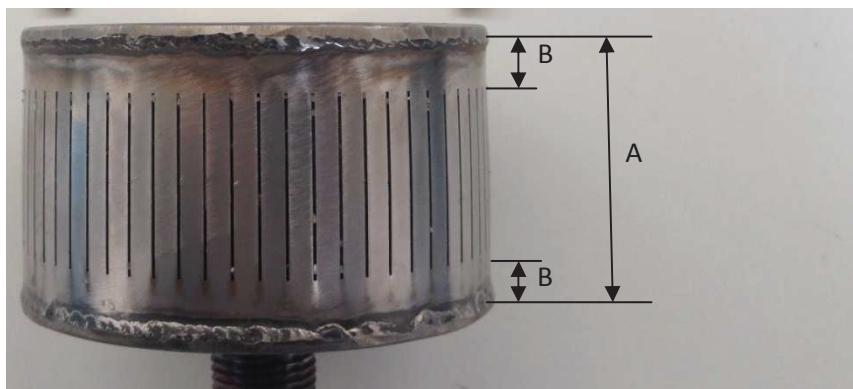


Figura 29. Imatge lateral la crepina on s'observen les esclatxes i les zones B, de 10 mm cada una que han de ser capaces de suportar la pressió que es genera en tot el cilindre corresponent a l'alçada A, de 50 mm.

Per tant, si $A=50$ mm i $B=10$ mm, la on hi ha les esclatxes fa 30 mm. Els dos trams B han de poder suportar una pressió de $P' = P \times \frac{A}{2B}$ i per tant $P'=2,5P$, on P és la pressió màxima de disseny.

La pressió màxima de disseny és 4 bar tot i que en l'assaig mai es superen els 3,7 bar. Per tant $P'=10$ bar.

El diàmetre del cilindre és de 88 mm i mitjançant càlculs es comprova si per un gruix de paret de 1 mm el sistema és resistent.

La fórmula de càlcul és la següent:

$$P_{max} = \frac{4 \times \text{Factor B}}{3 \times (\text{Diàmetre} / \text{Gruix})}$$

El factor B es calcula a partir del factor A.

A la figura 30 es mostra com s'obté el factor A. Tenien en compte que $L=2B=20$ mm i $D=88$ mm per a l'eix vertical i que D_0 és 88 per escollir la corba adient (entre 80 i 100).

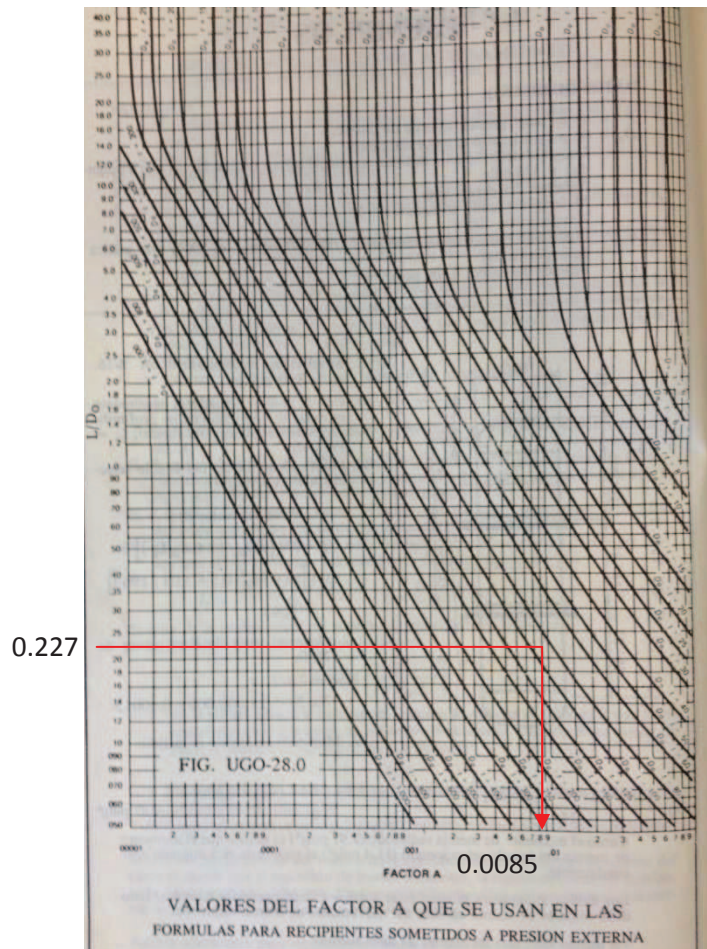


Figura 30. Mostra com s'obté el factor A per al càlcul del factor B.

De la figura 2 s'extreu que el valor del factor A és de 0.0085. Amb aquest valor es pot entrar a la figura 31 i extreure el valor del factor B, escollint la gràfica adient al material (acer 304) i una temperatura de treball freda 100 °F (37.7°C).

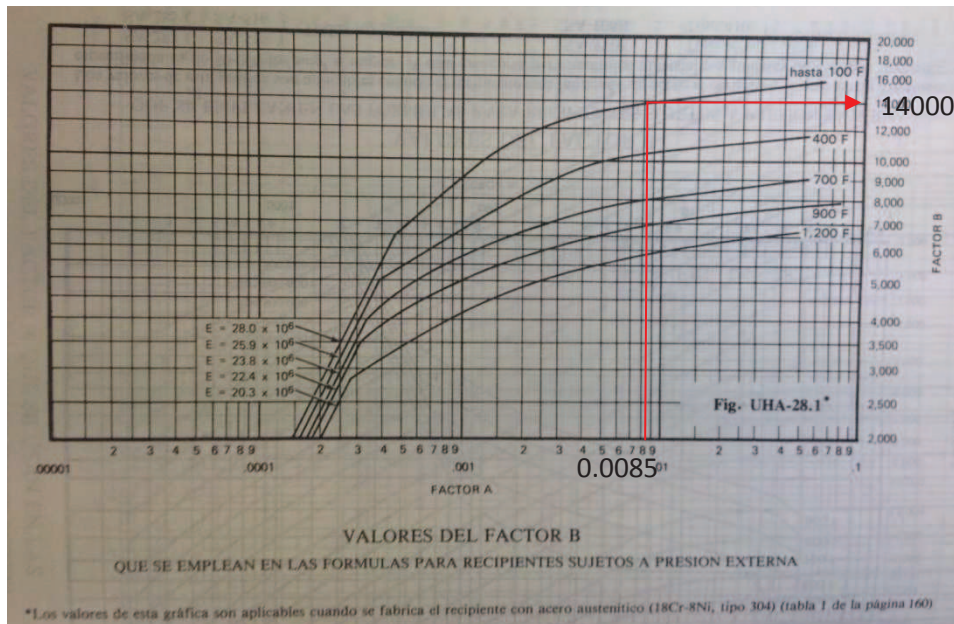


Figura 31. Mostra el càlcul del factor B a partir del factor A.

Amb el factor B calculat es pot tornar a la fórmula de mètode i substituir.

$$P_{max} = \frac{4 \times 14000}{3 \times \left(\frac{88}{1}\right)} = 212.12 \text{ lb/in}^2$$

El resultat de l'expressió és en lliures per polzada quadrada, cal fer el canvi d'unitats i passar-ho a bar. El resultat és que la màxima pressió que pot aguantar el cilindre de la crepina tenint en compte que la zona on hi ha esclatxes no és resistent, és de 14.6 bar.

Anteriorment s'ha vist que la màxima pressió a la que estaran sotmesos el cilindre és de 10 bar, per tant el cilindre és resistent i es fabrica amb acer 304 i un gruix de 1 mm.

B.2. Càlcul de comprovació que la zona central del cilindre del aguanta la pressió.

A l'aparat A.1. s'ha calculat la pressió que envolta el cilindre de la crepina, s'ha pres com a hipòtesi que la zona on hi ha esclertes no té capacitat per aguantar pressió com un cilindre. Aquesta zona central però sí que es veu afectada per la pressió. L'efecte que ha de respondre és aguantar la pressió que es genera en els espais entre esclertes. Es pren el model d'una biga birrecolzada amb càrrega repartida uniformement, de la llargada de les esclertes. L'amplada correspon a l'espai entre esclertes i el gruix és d'un mil·límetre. Aquesta biga és afectada per un moment flector com a força més perjudicial. A la figura 32 es mostra esquemàticament com s'ha tractat el problema.

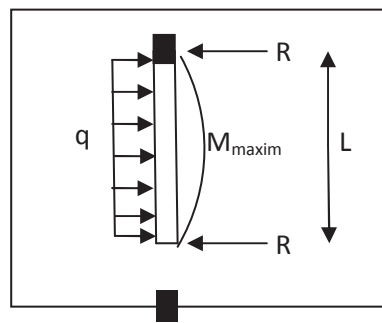


Figura 32. Mostra esquematitzat com s'ha tractat el problema.

El moment màxim d'una càrrega repartida es calcula com $M_{max} = \frac{q \times L^2}{8}$.

On q és la càrrega repartida provocada per la pressió i L correspon a la longitud de l'esclerta.

La tensió màxima es calcula com $\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times 6}{b \times h^2}$ on b és l'amplada de la biga calculada i h el gruix (h=t).

Si es combinen les dues expressions el resultat és $\sigma_{max} = \frac{q \times L^2 \times 6}{8 \times b \times t^2}$

Dels tres casos de distància entre crepines s'ha estudiat el cas on la distància entre esclertes és més gran, corresponent a la crepina amb esclertes a la tapa, on la

separació d'aquestes en el cilindre és de 7,5 mm. S'ha comprovat per als altres casos i el resultat és el mateix.

En el cas que s'estudia:

$$b = 7,5 \text{ mm}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

$$L = 30 \text{ mm}$$

$$q = 4 \text{ bar} = 3000 \text{ N/m}$$

Es substitueix a l'equació i el resultat és $\sigma_{\max} = 270 \text{ N/mm}^2$

Un acer inoxidable 304 té una resistència última mínima de 540 N/mm^2 una resistència al límit elàstic de 340 N/mm^2 .

Com que la resistència al límit elàstic és de 340 N/mm^2 i el cas estudiat no supera els 270 N/mm^2 la peça suporta bé els esforços.

B.3. Càlcul de comprovació que la tapa superior aguanta la pressió.

Per calcular la resistència de la tapes existeixen mètodes molt complets. El cas és però que es tracta d'un cas especial. La tapa de la crepina que té escletxes és la menys favorable i no hi ha mètode per calcular directament.

El cas s'ha estudiat com si fos una biga biencastada, a la part central de la tapa on és més llarga, d'amplada igual a l'espai entre escletxes i el gruix corresponent al de la tapa.

El mètode de càlcul és més desfavorable que la realitat on les escletxes no tenen tota la llargada de la tapa. Es considera biencastada perquè els extrems estan soldats fortament a la paret del cilindre.

Es pren el model d'una biga biencastada amb carrega repartida uniformement, de la llargada igual al diàmetre del cilindre que és el punt de recolzament ja que la tapa vola per fora d'aquest. L'amplada correspon a l'espai entre escletxes i el gruix és d'un 1,5

mm. Aquesta biga és afectada per un moment flector al centre i un a cada extrem de l'encastament. A la figura 33 es mostra esquemàticament com s'ha tractat el problema.

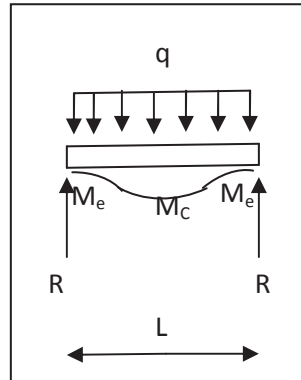


Figura 33. Mostra esquematitzat com s'ha tractat el problema.

El moment màxim d'una càrrega repartida en una biga biencastada es troba al extrems (M_e) i es calcula com $M_{max} = \frac{q \times L^2}{12}$.

On q és la càrrega repartida provocada per la pressió i L correspon al diàmetre de la tapa.

La tensió màxima es calcula com $\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times 6}{b \times h^2}$ on b és l'amplada de la biga calculada i h el gruix ($h=t$).

Si es combinen les dues expressions el resultat és $\sigma_{max} = \frac{q \times L^2 \times 6}{8 \times b \times t^2}$

En el cas que s'estudia:

$$b = 5,1 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$L = 88 \text{ mm}$$

$$q = 4 \text{ bar} = 1360 \text{ N/m}$$

Es substitueix a l'equació i el resultat és $\sigma_{max} = 688,35 \text{ N/mm}^2$

Un acer inoxidable 304 té una resistència última entre 540 i 740 N/mm² una resistència al límit elàstic de 340 N/mm².

Els resultats són poc favorables però tenint en compte que el cas real és menys perjudicial perquè l'esclatxa només té 30 mm de llargada i no 88 mm com s'ha suposat i que les zones contigües, amb una llargada ràpidament disminuïda també aporten resistència s'ha fabricat amb aquest gruix. A la figura 34 es mostra el que s'ha calculat i el que realment és. Marcat de color vermell la biga biencastada que s'ha simulat per al càlcul. S'observa que la tapa realment pot ser molt més resistent.



Figura 34. Mostra la tapa de la crepina calculada. En color vermell és la geometria calculada i es pot veure que és una aproximació a la realitat però molt desafavorida.

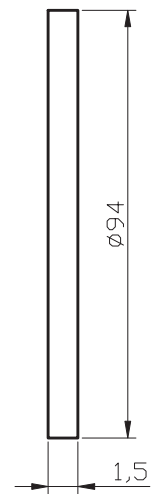
Després de l'assaig s'ha comprovat que en cap cas s'ha assumit el límit elàstic perquè no s'ha deformat cap part de la crepina.

ANNEX C. PLÀNOLS DE FABRICACIÓ.

C.1. Llistat de plànols de fabricació.

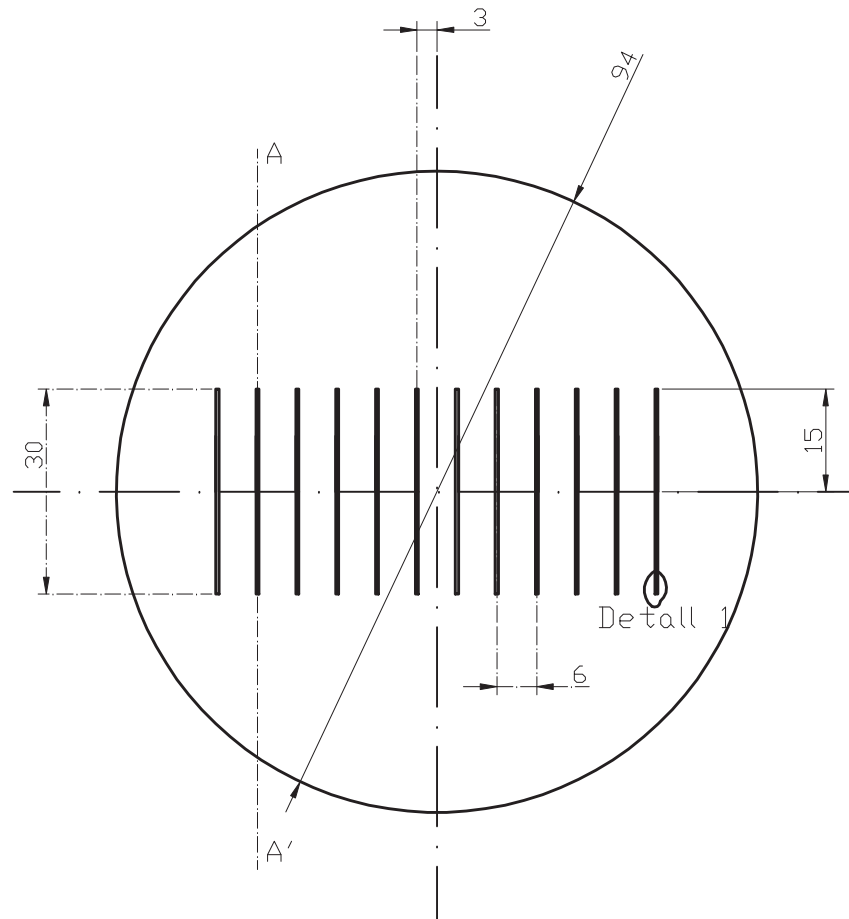
A continuació es presenten com es troben ordenats els diversos plànols de fabricació que s'han realitzat. Els dibuixos estan ordenats als annexos de la següent manera:

- C.2. Tapa Superior
- C.3. Tapa superior 12 escletxes
- C.4. Tapa inferior
- C.5. Cilindre cas A, 45 escletxes
- C.6. Cilindre cas B, 33 escletxes
- C.7. Cilindre cas C, 63 escletxes
- C.8. Muntatge crepina A
- C.9. Muntatge crepina B
- C.10. Muntatge crepina C

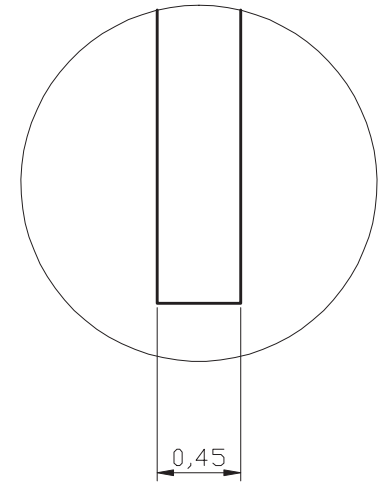


				PFG UdG
Dibuixat	Pau Sala Gispert			
Comprovat				
Escala	Tapa superior			Plànol 1

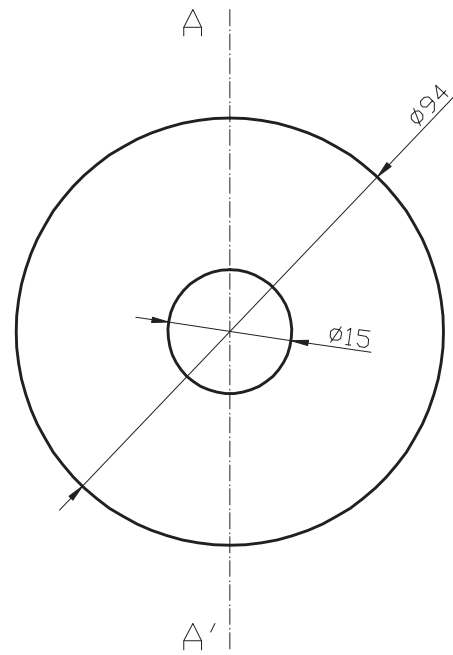
Tall AA'



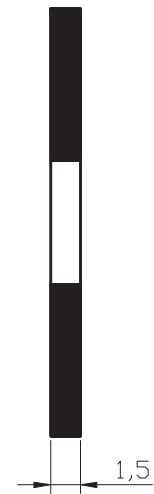
Detall 1



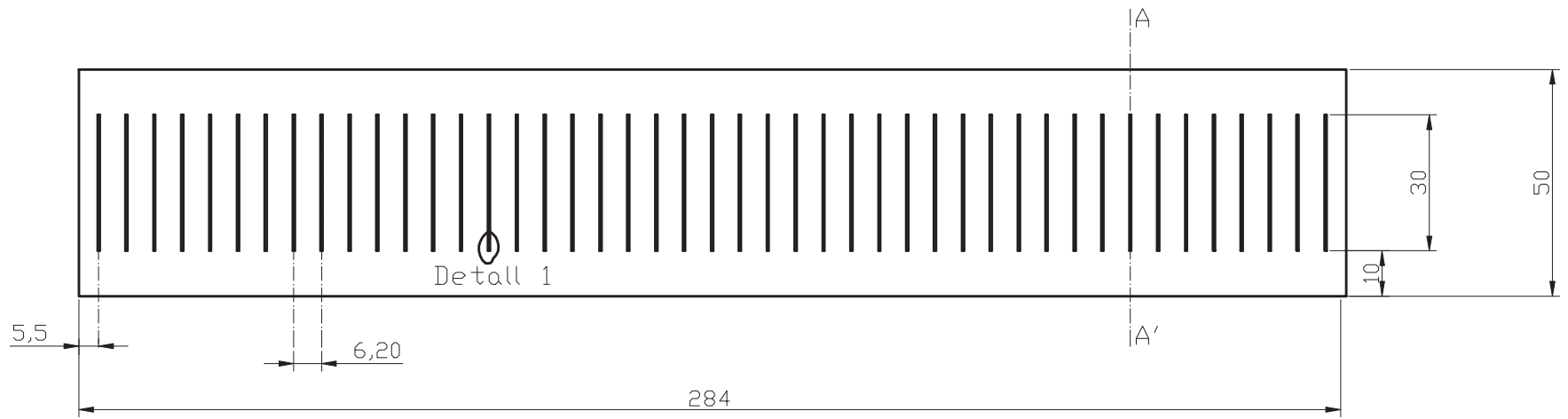
				PFG UdG
Dibuixat	Pau Sala Gispert			
Comprovat				
Escala	Tapa superior 12 esclatxes			Plànol 2



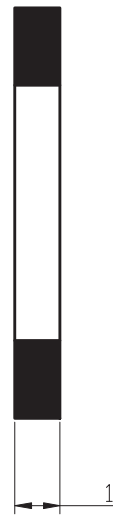
Tall AA'



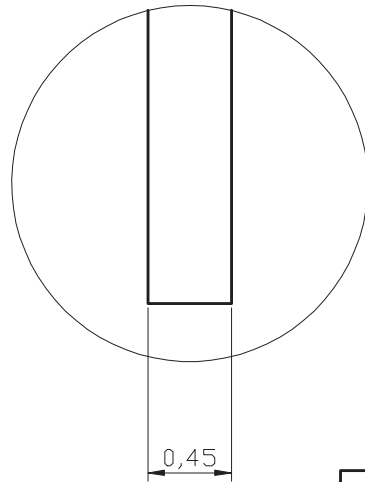
				PFG UdG
Dibuixat	Pau Sala Gispert			
Comprovat				
Escala	Tapa inferior			Plànol 3



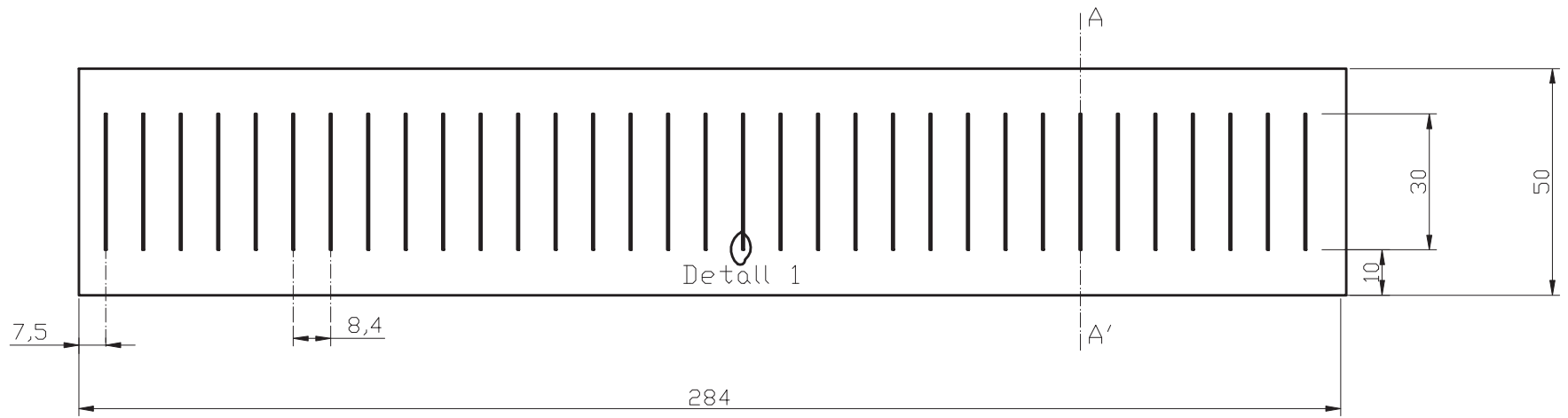
Tall AA'



Detall 1

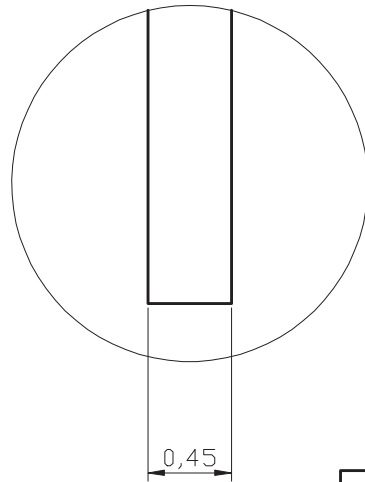
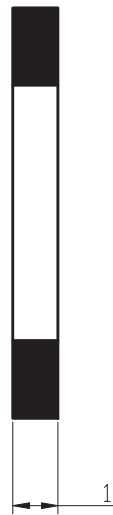


Dibuixat	Pau Sala Gispert		PFG UdG
Comprovat			
Escala	Cilindre cas A. 45 escletxes	Plànol 4	



Tall AA'

Detall 1

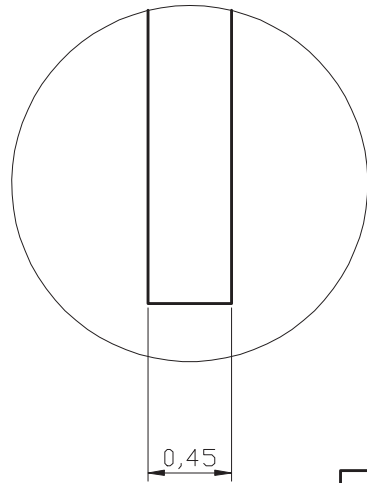
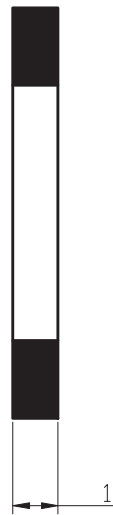


				PFG UdG
Dibuixat	Pau Sala Gispert			
Comprovat				
Escala	Cilindre cas B. 33 escletxes			Plànol 5

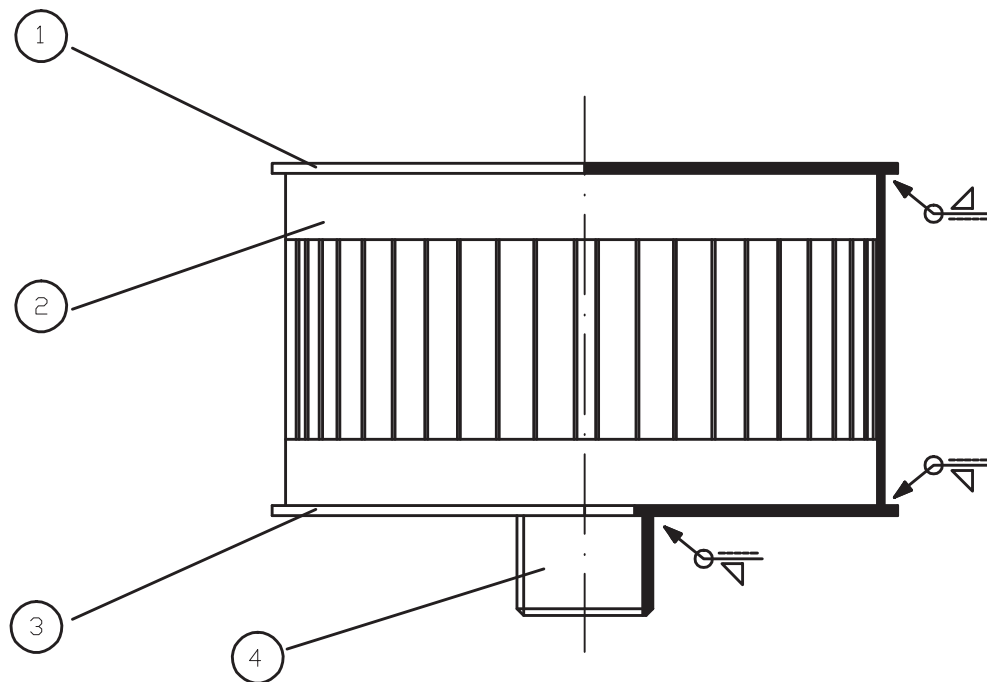


Tall AA'

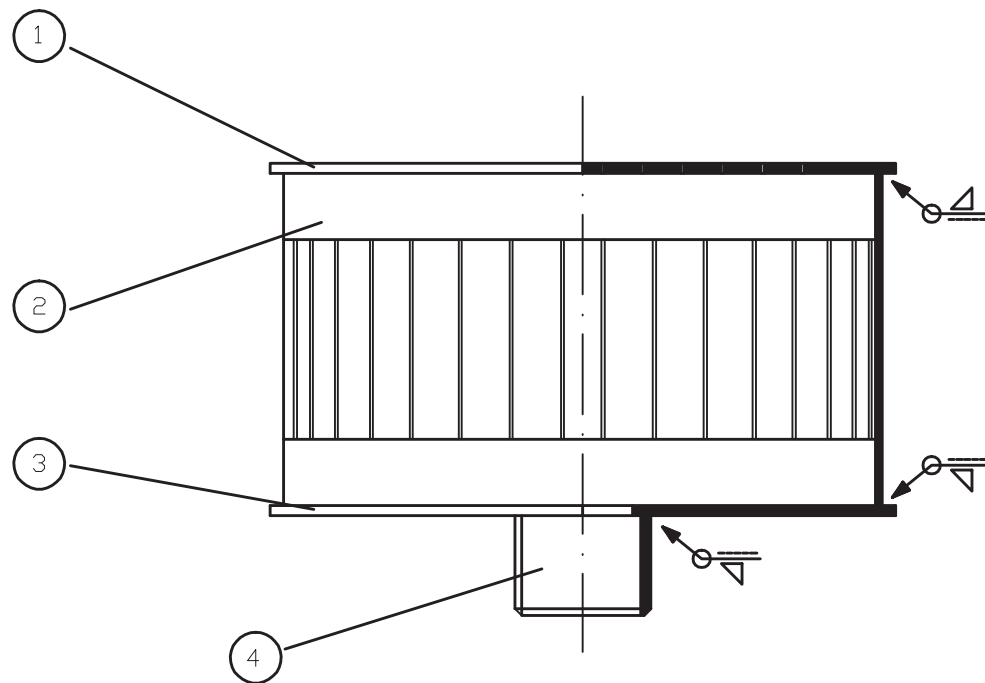
Detall 1



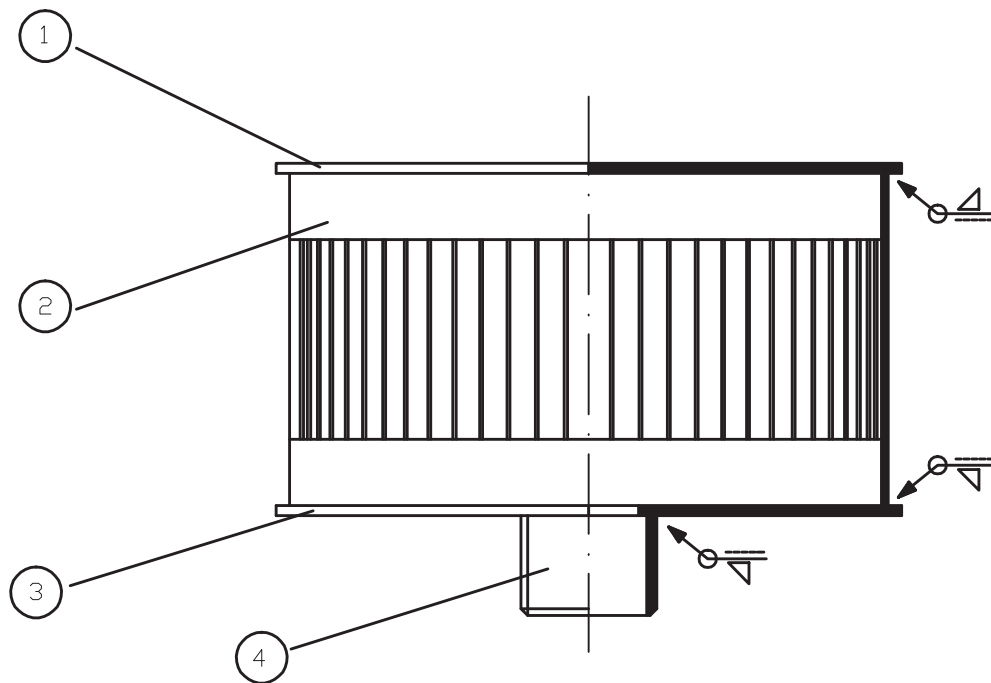
				PFG UdG
Dibuixat	Pau Sala Gispert			
Comprovat				
Escala	Cilindre cas C. 63 escletxes			Plànol 6



4	1	Tub roscat, M20 x 25
3	1	Tapa inferior
2	1	Cilindre del cas A, 45 escletxes
1	1	Tapa superior
Marca	Quantitat	Descripció
Dibuixat	Pau Sala Gispert	PFG UdG
Comprovat		
Escala	Muntatge crepina A	Plànol 7



4	1	Tub roscat, M20 x 25
3	1	Tapa inferior
2	1	Cilindre del cas B, 33 escletxes
1	1	Tapa superior, 12 escletxes
Marca	Quantitat	Descripció
Dibuixat	Pau Sala Gispert	PFG UdG
Comprovat		
Escala	Muntatge crepina B	Plànol 8



4	1	Tub roscat, M20 x 25
3	1	Tapa inferior
2	1	Cilindre del cas C, 63 escletxes
1	1	Tapa superior
Marca	Quantitat	Descripció
Dibuixat	Pau Sala Gispert	PFG UdG
Comprovat		
Escala	Muntatge crepina C	Plànol 9

ANNEX D. DADES.

Aquest annex es divideix en dues parts. La primera on s'adjunten les dades experimentals dels assajos i la segona part on s'adjunten les corbes d'ajust dels assajos.

D.1. Dades experimentals

En aquest annex es mostren les dades experimentals a partir de les quals s'han fet els gràfics de resultats. Les dades corresponen a la diferència de pressió entre l'entrada i la sortida del filtre a filtració i a contra-rentat. També es mostren les desviacions estàndard de cada punt. El cas 7 i 8 no tenen desviació estàndard perquè les dades no van ser obtingudes en el present projecte sinó que pertanyen a un assaig anterior.

En les taules, els valors remarcats amb color groc corresponen a la desviació estàndard mínima mentre que el color verd marca la desviació estàndard màxima per a cada assaig.

En cada taula de valors es mostren les tres repeticions realitzades a cada assaig amb els valors ordenats per cabal descendent. A la taula 9 es fa referència de com estan ordenades les dades en les altres taules.

Taula 9. Mostra informació sobre les taules que presenten dades. Crepina 1: cilíndrica d'igual àrea de pas que la comercial; crepina 2: cilíndrica, igual àrea de pas que la comercial i àrea distribuïda entre el cilindre i la tapa; crepina 3: crepina cilíndrica d'àrea de pas 40% més gran que la comercial; crepina 4: crepina comercial.

Nº Taula	Nº Cas	Nivell sorra (mm)	Filtració / contra-rentat	Crepina 1, 2, 3 o 4
10	1	140	Filtració	1
11	2	140	Filtració	2
12	3	140	Filtració	3
13	4	340	Filtració	1
14	5	340	Filtració	2
15	6	340	Filtració	3
16	7	140	Filtració	4
17	8	340	Filtració	4
18	1	140	Contra-rentat	1
19	2	140	Contra-rentat	2
20	3	140	Contra-rentat	3
21	4	340	Contra-rentat	1
22	5	340	Contra-rentat	2
23	6	340	Contra-rentat	3
24	7	140	Contra-rentat	4
25	8	340	Contra-rentat	4

Taula 10. Dades del cas 1 a filtració.

Cas 1		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est. (Pa)
1,083	43592	335
1,080	39466	455
1,050	35839	499
1,000	32125	562
0,950	28587	657
0,908	24635	1288
0,858	21506	1195
0,808	18544	1236
0,741	14213	673
0,675	11110	1994
0,600	7508	721
1,125	41849	344
1,092	38513	565
1,042	34758	713
0,992	31403	721
0,950	27130	1084
0,900	24422	1831
0,850	20887	2497
0,800	17655	1865
0,742	14447	1619
0,691	11423	1475
0,625	8199	1193
1,125	40098	576
1,080	36690	1025
1,042	33518	1064
0,992	30487	1510
0,950	27009	1771
0,900	24315	2596
0,850	20840	2696
0,800	18138	2112
0,750	14688	1401
0,692	11663	1405
0,608	8282	1366

Taula 11. Dades del cas 2 a filtració.

Cas 2		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,142	38400,0	619,0
1,100	33870	582
1,041	29951	698
1,000	26717	725
0,950	23061	989
0,908	20365	937
0,858	17453	1039
0,808	14483	744
0,750	11506	824
0,692	8720	710
0,625	5987	823
1,125	34774	466
1,092	31463	675
1,050	28585	768
1,000	25419	1035
0,958	22111	1596
0,900	18703	2373
0,850	15799	2349
0,808	13563	1640
0,750	10886	1567
0,683	7984	1482
0,625	5170	1478
1,142	33171	611
1,083	30031	1037
1,047	27327	1254
1,008	24266	1539
0,967	20943	1912
0,916	18983	2708
0,866	16681	2537
0,816	13361	1781
0,750	10767	1963
0,692	7769	1643
0,625	5252	1650

Taula 12. Dades del cas 3 a filtració.

Cas 3		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,150	37675	622
1,116	33414	748
1,066	29503	1252
1,016	25674	1111
0,966	22470	731
0,916	19395	874
0,866	16588	916
0,800	13244	728
0,750	10719	851
0,700	8302	1503
0,633	5570	1143
1,158	33448	382
1,100	30065	493
1,058	27049	632
1,016	23968	959
0,966	21476	873
0,916	18370	1461
0,875	16077	1443
0,808	12866	1393
0,742	9208	1362
0,683	7379	1951
0,633	4691	1453
1,150	31890	510
1,108	28644	892
1,008	25966	1023
0,991	23568	1588
0,966	20774	1684
0,916	17897	2838
0,866	15154	2241
0,808	12526	1822
0,748	9735	1887
0,692	7300	1778
0,625	4431	1250

Taula 13. Dades del cas 4 a filtració.

Cas 4		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,125	58358	609
1,075	53740	734
1,033	48846	714
0,983	44168	931
0,933	39725	938
0,892	36126	1380
0,838	32309	1340
0,800	28318	1381
0,742	24051	1551
0,685	20010	1654
0,619	15641	1250
1,120	55167	555
1,075	51045	989
1,025	47027	1229
0,983	43170	1508
0,933	39080	1798
0,892	35555	2578
0,841	31586	2192
0,792	27520	1794
0,742	24094	1993
0,683	19630	2289
0,616	15876	1208
1,125	55610	562
1,075	51582	940
1,033	47470	1261
0,992	43712	1517
0,946	39528	1758
0,900	35915	2524
0,858	31790	2539
0,808	28445	1853
0,750	23951	1790
0,692	19930	1458
0,616	15633	1206

Taula 14. Dades del cas 5 a filtració.

Cas 5		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,142	50087	861
1,092	44546	722
1,042	40065	894
1,000	35614	1034
0,950	31272	879
0,900	27543	1263
0,858	24526	1250
0,800	21033	1595
0,750	17355	1366
0,683	13637	1219
0,625	10728	1188
1,125	44594	741
1,083	41068	918
1,033	37737	1228
0,983	34066	1515
0,942	30782	1846
0,900	27484	2601
0,850	24150	2390
0,800	20873	1971
0,742	17542	1569
0,683	14013	1545
0,625	10960	1568
1,122	44707	741
1,075	41098	1107
1,033	37416	1314
0,983	34002	1519
0,942	30723	1929
0,900	27973	2568
0,850	24431	2479
0,800	20970	1725
0,733	17167	1615
0,683	13910	1665
0,612	10551	1669

Taula 15. Dades del cas 6 a filtració

Cas 6		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,150	50392	1000
1,108	43618	831
1,058	38556	710
1,017	33905	640
0,966	30382	891
0,908	26206	1435
0,858	22977	1147
0,808	19941	983
0,750	16767	1273
0,692	13555	949
0,625	10278	1019
1,142	42667	485
1,083	38397	800
1,042	35064	1136
1,000	31612	1471
0,950	28498	2004
0,900	25145	2546
0,858	22267	2138
0,808	19462	1808
0,750	16132	1947
0,700	13406	1522
0,619	9478	1363
1,142	42315	485
1,092	38521	947
1,050	35035	1297
1,000	31972	1454
0,950	28573	1932
0,908	25648	2850
0,850	22254	2105
0,808	19522	2098
0,750	16067	1672
0,693	13165	1619
0,625	9659	1493

Taula 16. Dades del cas 7 a filtració.

Cas 7	
Cabal (L/s)	Δh (Pa)
1,058	46049
1,042	41832
1,033	42766
1,033	43740
1,025	40581
1,008	39789
1,000	37361
0,992	39726
0,992	37383
0,950	35116
0,942	36211
0,942	33526
0,933	33620
0,925	30992
0,908	33258
0,867	29155
0,867	27930
0,858	29473
0,833	25588
0,825	24882
0,792	22830
0,792	21925
0,783	23308
0,742	18175
0,717	19073
0,717	17693
0,667	13930
0,650	13982
0,617	11374
0,600	11448

Taula 17. Dades del cas 8 a filtració.

Cas 8	
Cabal (L/s)	Δh (Pa)
1,017	49495
1,017	48974
1,008	47668
0,983	46250
0,975	44743
0,950	42782
0,942	42347
0,933	40926
0,875	35983
0,875	36358
0,867	35707
0,825	31476
0,817	30931
0,800	29815
0,775	26471
0,758	26054
0,733	25549
0,717	22676
0,700	21905
0,692	22150
0,667	19459
0,633	18082
0,608	15391
0,608	15300
0,592	15273
0,558	12041
0,542	11121
0,508	10083
0,475	7057
0,467	6724

Taula 18. Dades cas 1, contra-rentat.

Cas 1		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,166	57489,0	618,0
1,108	53887,0	912,0
1,066	50622,0	1074,0
1,016	46979,0	1441,0
0,968	43714,0	1802,0
0,916	40316,0	1657,0
0,872	37360,0	1597,0
0,825	34066,0	1743,0
0,766	31253,0	2163,0
0,700	27868,0	1547,0
0,633	24576,0	1905,0
1,142	57783,0	927,0
1,092	53600,0	968,0
1,050	50719,0	1365,0
1,000	47219,0	1569,0
0,958	43852,0	1563,0
0,908	40586,0	2512,0
0,866	37514,0	1869,0
0,816	34244,0	1886,0
0,758	30483,0	1927,0
0,708	27973,0	1597,0
0,650	25142,0	1285,0
1,125	57393,0	622,0
1,083	53820,0	1026,0
1,041	50385,0	1336,0
0,992	46813,0	1558,0
0,950	43409,0	1917,0
0,900	40264,0	1861,0
0,858	37095,0	1611,0
0,808	33935,0	1728,0
0,758	31113,0	1726,0
0,700	28037,0	1614,0
0,642	24647,0	1166,0

Taula 19. Dades cas 2, contra-rentat.

Cas 2		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,150	56078,0	697,0
1,100	52631,0	960,0
1,050	49239,0	1430,0
1,000	45967,0	1694,0
0,950	42676,0	1704,0
0,908	39439,0	1730,0
0,858	36531,0	1945,0
0,808	33580,0	1860,0
0,750	30104,0	1739,0
0,708	27804,0	1612,0
0,650	24850,0	1141,0
1,133	55406,0	613,0
1,092	52307,0	946,0
1,050	48619,0	1362,0
1,008	45682,0	1611,0
0,958	42371,0	1606,0
0,908	39573,0	1642,0
0,866	36630,0	1794,0
0,808	33439,0	1599,0
0,762	30803,0	1629,0
0,708	27862,0	1515,0
0,642	24717,0	1193,0
1,158	56034,0	612,0
1,108	52798,0	731,0
1,075	49158,0	959,0
1,016	46046,0	1162,0
0,966	42830,0	1303,0
0,925	39918,0	1281,0
0,866	36567,0	1564,0
0,816	33460,0	1487,0
0,766	30422,0	1502,0
0,716	27991,0	1905,0
0,641	24594,0	1575,0

Taula 20. Dades cas 3, contra-rentat.

Cas 3		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,142	54043,0	593,0
1,107	50442,0	873,0
1,058	47180,0	1343,0
1,008	46211,0	1485,0
0,966	40889,0	1667,0
0,925	38084,0	1625,0
0,875	35315,0	1620,0
0,825	32160,0	1617,0
0,758	29239,0	1513,0
0,713	26702,0	1740,0
0,650	24032,0	1210,0
1,141	53835,0	593,0
1,092	50574,0	965,0
1,058	47352,0	1447,0
1,016	44084,0	1573,0
0,966	40936,0	1729,0
0,918	38266,0	1559,0
0,866	35099,0	1675,0
0,816	32399,0	1667,0
0,758	29047,0	1634,0
0,708	26573,0	1309,0
0,658	24087,0	1188,0
1,150	53828,0	675,0
1,100	50499,0	1023,0
1,058	47201,0	1268,0
1,016	44022,0	1543,0
0,966	41057,0	1723,0
0,925	38563,0	1673,0
0,869	35081,0	1605,0
0,825	32202,0	1707,0
0,764	29324,0	1556,0
0,708	26473,0	1417,0
0,641	23620,0	1516,0

Taula 21. Dades cas 4, contra-rentat.

Cas 4		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,150	58659,0	698,0
1,126	55416,0	999,0
1,066	52087,0	1294,0
1,016	48473,0	1609,0
0,975	42735,0	2006,0
0,925	41486,0	1926,0
0,875	38455,0	1644,0
0,825	35146,0	2055,0
0,766	32128,0	1910,0
0,716	29349,0	1799,0
0,658	26397,0	1654,0
1,142	60190,0	579,0
1,108	54137,0	974,0
1,061	50791,0	1173,0
1,015	47334,0	1432,0
0,975	44020,0	1772,0
0,916	41474,0	2305,0
0,875	38439,0	1912,0
0,825	35231,0	1918,0
0,775	32490,0	1614,0
0,711	29439,0	1660,0
0,650	26263,0	1541,0
1,142	57201,0	576,0
1,100	54097,0	1001,0
1,058	50959,0	1367,0
1,008	47265,0	1595,0
0,966	44691,0	1853,0
0,925	41279,0	2065,0
0,866	37854,0	1806,0
0,816	35043,0	1887,0
0,766	32121,0	1759,0
0,708	29351,0	1789,0
0,658	26561,0	1264,0

Taula 22. Dades cas 5, contra-rentat.

Cas 5		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,158	58877,0	616,0
1,116	55828,0	702,0
1,066	52418,0	1088,0
1,016	48958,0	1247,0
0,975	45680,0	1566,0
0,916	42156,0	1563,0
0,866	38803,0	1470,0
0,816	35982,0	1691,0
0,766	32946,0	1748,0
0,712	30278,0	1765,0
0,642	26704,0	1282,0
1,142	57998,0	606,0
1,100	55003,0	960,0
1,050	51844,0	1353,0
1,008	48365,0	1700,0
0,966	45172,0	1470,0
0,916	42110,0	1576,0
0,866	38809,0	1877,0
0,816	35828,0	1538,0
0,766	32906,0	1500,0
0,708	29902,0	1877,0
0,650	27091,0	1511,0
1,137	58067,0	547,0
1,100	55010,0	961,0
1,058	51788,0	1421,0
1,008	48394,0	1404,0
0,966	45150,0	1660,0
0,916	42137,0	1732,0
0,866	39204,0	1675,0
0,817	36115,0	1720,0
0,758	32884,0	1754,0
0,708	29914,0	1609,0
0,642	26680,0	1288,0

Taula 23. Dades cas 6, contra-rentat.

Cas 6		
Cabal (L/s)	Δh (Pa)	Des.Est.
1,150	55641,0	667,0
1,100	52353,0	798,0
1,058	48951,0	1184,0
1,008	45628,0	1464,0
0,967	42988,0	1504,0
0,916	39873,0	1900,0
0,866	36991,0	1578,0
0,825	34076,0	1619,0
0,766	31087,0	1471,0
0,708	28267,0	1577,0
0,650	25429,0	1379,0
1,140	55566,0	647,0
1,100	52400,0	984,0
1,058	49155,0	1413,0
1,017	46060,0	1454,0
0,966	42873,0	1719,0
0,917	40075,0	1684,0
0,866	37063,0	1760,0
0,825	34222,0	1582,0
0,766	31242,0	1630,0
0,708	28323,0	1665,0
0,650	25478,0	1241,0
1,142	55597,0	706,0
1,100	52253,0	900,0
1,058	49006,0	1365,0
1,017	46023,0	1502,0
0,966	43054,0	1682,0
0,917	39914,0	1895,0
0,867	36842,0	1547,0
0,817	33899,0	1660,0
0,758	30718,0	1629,0
0,708	28215,0	2083,0
0,650	25585,0	1268,0

Taula 24. Dades cas 7, contra-rentat.

Cas 7	
Cabal (L/s)	Δh (Pa)
1,000	54552,8
1,000	53598,8
0,992	61804,5
0,967	50641,0
0,950	59136,5
0,942	50184,1
0,900	45676,4
0,883	56053,7
0,883	46065,8
0,850	41965,7
0,842	52123,8
0,842	42947,4
0,808	48088,9
0,800	39274,6
0,800	38222,7
0,758	33834,1
0,750	44008,5
0,733	33796,9
0,692	30980,7
0,675	38909,7
0,675	31236,4
0,625	28296,2
0,608	26729,0
0,608	34329,6
0,558	24210,4
0,533	22941,3
0,525	28896,5
0,458	24483,8
0,458	19782,7
0,450	19419,8

Taula 25. Dades cas 8, contra-rentat.

Cas 8	
Cabal (L/s)	Δh (Pa)
1,050	52274,5
1,017	49775,4
1,008	49333,5
0,983	47402,5
0,950	44795,4
0,950	45175,0
0,925	43381,1
0,908	42217,3
0,900	42000,3
0,883	40946,0
0,867	39263,4
0,858	38631,6
0,842	38063,2
0,800	35621,7
0,800	35874,8
0,775	34327,8
0,758	33418,0
0,725	31229,0
0,708	30544,9
0,692	29544,2
0,658	27872,5
0,650	27755,9
0,633	26856,2
0,600	25049,9
0,583	24644,2
0,542	22967,8
0,533	22438,0
0,458	19533,9
0,450	19449,8
0,442	19226,6

D.2. Corbes d'ajust.

Totes les dades mostrades a l'annex D.1. s'han ajustat a corbes polinòmiques de grau 2. En els casos de filtració s'han utilitzat per poder comparar amb el model d'Ergun, en els casos de contra-rentat no s'han utilitzat però també s'han calculat.

L'equació de les rectes de segon grau té els següents termes: $y = aX^2 + bX + c$, també s'ha calculat el coeficient d'ajust R^2 .

A la taula 26 mostra les especificacions de cada cas. La taula 27 presenta per a cada cas els valors d'ajust dels termes de l'equació i el coeficient d'ajust R^2 .

Taula 26. Mostra per a cada cas estudiat, les especificacions. Crepina 1: cilíndrica d'igual àrea de pas que la comercial; crepina 2: cilíndrica, igual àrea de pas que la comercial i àrea distribuïda entre el cilindre i la tapa; crepina 3: crepina cilíndrica d'àrea de pas 40% més gran que la comercial; crepina 4: crepina comercial.

Nº Cas	Nivell sorra (mm)	Filtració / contra-rentat	Crepina 1, 2, 3 o 4
1	140	Filtració	1
2	140	Filtració	2
3	140	Filtració	3
4	340	Filtració	1
5	340	Filtració	2
6	340	Filtració	3
7	140	Filtració	4
8	340	Filtració	4
1	140	Contra-rentat	1
2	140	Contra-rentat	2
3	140	Contra-rentat	3
4	340	Contra-rentat	1
5	340	Contra-rentat	2
6	340	Contra-rentat	3
7	140	Contra-rentat	4
8	340	Contra-rentat	4

Taula 27. Mostra per a cada cas estudiat els valors dels termes a, b i c corresponents a l'equació de segon grau $y = aX^2 + bX + c$ i el valor d'ajust R^2 .

Nº Cas	Filtració / contra-rentat	a	b	c	R^2
1	Filtració	44444	-10649	-2147	0,989
2	Filtració	41977	-15840	-880,4	0,987
3	Filtració	33037	-2724	6444	0,985
4	Filtració	35784	18931	-9793	0,997
5	Filtració	42744	-4509	-2895	0,996
6	Filtració	49561	-21101	4045	0,987
7	Filtració	41050	5438	-7147	0,988
8	Filtració	37608	20715	-10893	0,998
1	Contra-rentat	28522	14570	3537	0,996
2	Contra-rentat	26320	14880	4104	0,998
3	Contra-rentat	34601	-1393	10183	0,997
4	Contra-rentat	43086	-13566	17071	0,995
5	Contra-rentat	28758	11590	7353	0,999
6	Contra-rentat	31644	3975	9563	0,999
7	Contra-rentat	30785	21408	4995	0,884
8	Contra-rentat	34377	3225	10991	0,998