

Treball final de màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: Efecte del disseny de les crepines en la pèrdua de càrrega de filtres de sorra per reg amb degoters.

Document: Memòria i annexos

Alumne: Pau Herrera i Bosque

Tutor: Toni Pujol Sagaró

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica de Fluids

Convocatòria (mes/any): Juny 2023

ÍNDIX

Índex	i
Índex de figures	ii
Índex de taules.....	iv
1 Introducció	1
1.1 Antecedents	1
1.2 Objecte	2
1.3 Abast i especificacions.....	3
2 Metodologia	5
2.1 Introducció.....	5
2.2 Dades crepines	5
2.3 Dades medis filtrants.....	7
2.4 Equacions medi porós.....	7
2.5 Tractament de dades amb CFD.....	9
2.6 Geometria.....	12
3 Efectes de la configuració del model	15
3.1 Introducció.....	15
3.2 Tipus de malla	15
4 Resultats per a diferents geometries	17
4.1 Introducció.....	17
4.2 Crepina A.....	18
4.3 Crepina B.....	19
4.4 Crepina C	20
4.5 Crepina D	22
4.6 Comparativa de crepines	22
4.7 Discussió	24
5 Resum del pressupost.....	27
6 Conclusions	29
7 Relació de documents.....	31

8 Bibliografia	33
Annex A: Geometria del model.....	35
Disseny dels elements del filtre	35
Cos del filtre.....	35
Crepines	38
Assemblatge del conjunt del filtre	40
Annex B: Discretització del domini	43
Annex C: Configuració del model.....	49
Annex D: Resultats de les simulacions	53
Annex E: Cost d'elaboració del projecte	55

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1: Muntatge experimental del filtre a escala de l'estudi realitzat el 2015 (Bové et al. 2015).....	1
Figura 2: Detall amb la vista explosionada de la crepina comercial (dimensions en mm) ..	2
Figura 3: Dimensions del filtre a escala i disposició dels manòmetres (dimensions en mm)	5
Figura 4 : Mides generals dels 4 dissenys de crepina estudiats	6
Figura 5 : Pressió a l'entrada del filtre respecte el nombre d'iteracions del cas B SS2 H317 i velocitat 60m/h.....	11
Figura 6: Filtre amb forma simètrica respecte l'eix longitudinal.....	12
Figura 7: Vista ampliada de l'interior del filtre i la crepina D.....	13
Figura 8: Caiguda de pressió en el filtre per cada tipus de malla.....	16
Figura 9: Exemple de mallat amb capes prismàtiques	16
Figura 10: Esquema de funcionament del filtre	17
Figura 11: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina A	18
Figura 12: Flux de velocitats del filtre amb la crepina A	19
Figura 13: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina B	20
Figura 14: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina C	21
Figura 15: Pressió al filtre en el cas C-SS1-317-60.....	21
Figura 16: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina D	22
Figura 17: Caiguda de pressió dels diferents filtres per al cas 317-ss2-30	23
Figura 18: Caiguda de pressió de les sorres SS1 i SS2.....	24

Figura 19: Detall de la crepina A (Graciano-Uribe et al. 2021).....	25
Figura 20: Flux de velocitat a l'interior de la crepina A	25
Figura 21: Caiguda de pressió del tram esclertes-sortida per al cas 317-ss2-30	26
Figura 22: Croquis del cos del filtre	35
Figura 23: Operació <i>extruir</i> per generar el cilindre massís del filtre	36
Figura 24: Operació <i>dar espesor</i> per definir el gruix de paret del cilindre i obtenir un tub	36
Figura 25: Tub del filtre	37
Figura 26: Tapa del filtre	37
Figura 27: Suport de crepina	38
Figura 28: Generació de la crepina per un cos de revolució	38
Figura 29: Operació <i>vaciado</i> per crear les esclertes.....	39
Figura 30: Operació <i>patrón</i>	39
Figura 31: Relacions geomètriques de la crepina B dins el conjunt del filtre	40
Figura 32: Exemple de filtre amb una crepina cilíndrica	41
Figura 33: Interfície del projecte a l'ANSYS-Fluent	43
Figura 34: Definició de les regions i els <i>body of influence</i> del filtre	43
Figura 35: Exemple de named selection per la crepina D	44
Figura 36: Detall de les capes prismàtiques a la sortida de la crepina	44
Figura 37: Obliquïtat dels elements de la malla	46
Figura 38: Ràtio d'aspecte dels elements de la malla	46
Figura 39: Qualitat ortogonal dels elements de la malla.....	47
Figura 40: Exemple de mallat del filtre amb la crepina C	48
Figura 41: Set UP: Models de turbulència	49
Figura 42: Propietats del medi filtrant.....	50
Figura 43: Definició de la rugositat de les parets del filtre	50
Figura 44: Exemple de mètodes de càlcul	51
Figura 45: Reports	52

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Crepines estudiades	6
Taula 2: Tipus de medi filtrant	7
Taula 3: Mida dels grans del medi filtrant	7
Taula 4: Altura del medi filtrant.....	7
Taula 5: Arxius generats per l'ANSYS Fluent per a cada cas	10
Taula 6: Exemple de valors generats pel Fluent en el cas B SS2 H317 i velocitat 60m/h	10
Taula 7: Resultats de les simulacions amb diferents tipus de malles	16
Taula 8: Resistència a la viscositat ($1/\alpha$) , resistència inercial (C_2) i porositat (ϵ) dels medis filtrants (Graciano-Urbe et al. 2021)	17
Taula 9: Dimensions dels <i>Face Sizing</i> de cada malla	45
Taula 10: Dimensions dels <i>Body size</i> de cada malla.....	45
Taula 11: Dimensions dels <i>Body of influence</i> de cada malla	46
Taula 12: Mètriques de les malles estudiades	47
Taula 13: Valors estadístics de les malles	47
Taula 14: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina A.....	53
Taula 15: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina B.....	53
Taula 16: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina C.....	53
Taula 17: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina D.....	54

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els filtres de sorra s'utilitzen en sistemes de reg gota a gota per retenir les partícules que puguin obturar els degoters. El consum d'energia elèctrica del sistema de bombeig és funció de la pèrdua de càrrega al pas del filtre. Una millora hidràulica de les crepines, que són els elements que retenen la sorra i permeten el pas de l'aigua, reduiria la caiguda de pressió al pas del filtre i en milloraria l'eficiència energètica del sistema.

Hi ha molts dissenys de crepines comercials que s'utilitzen en diferents tipus de filtres. Per determinar l'efecte del disseny de les crepines cal estudiar-les en un mateix filtre però fer-ho experimentalment és un procés molt laboriós.

Els antecedents d'aquest estudi són diversos estudis i experiments de l'any 2015 pel departament d'Enginyeria Mecànica i De la Construcció Industrial conjuntament amb el departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona.

D'aquests experiments aprofitem el disseny del filtre del muntatge experimental de l'estudi realitzat el 2015 (Bové et al. 2015).

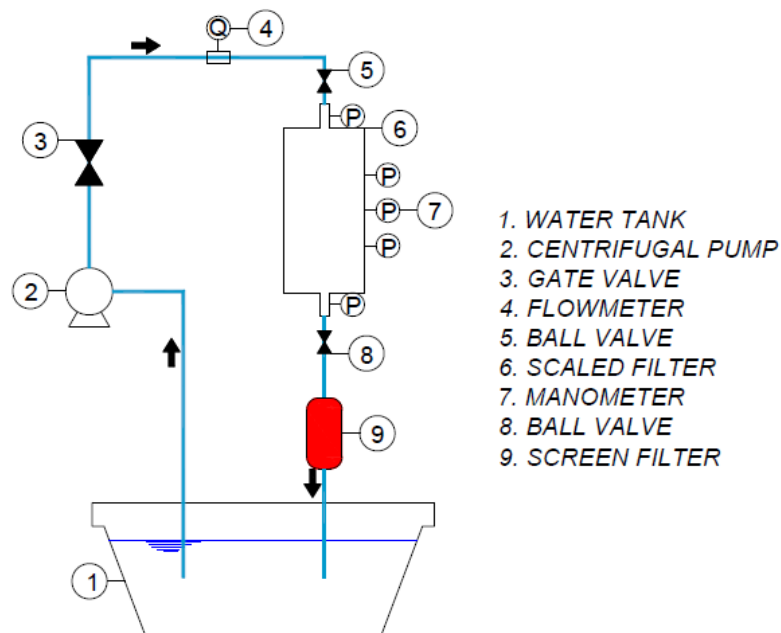


Figura 1: Muntatge experimental del filtre a escala de l'estudi realitzat el 2015 (Bové et al. 2015).

A la Figura 2, es mostra el funcionament del filtre de sorra en mode filtració.

El procés és el següent: entra l'aigua bruta, circula a través de la sorra i surt l'aigua neta. La crepina és un element dissenyat per drenar i es situa sota el medi filtrant per impedir el pas de la sorra. Les esclertes són més estretes que un gra de sorra i això permet que només passi l'aigua neta.

En el cas del nostre estudi, analitzem diverses crepines (Sala 2015) i (Pujol et al. 2016).

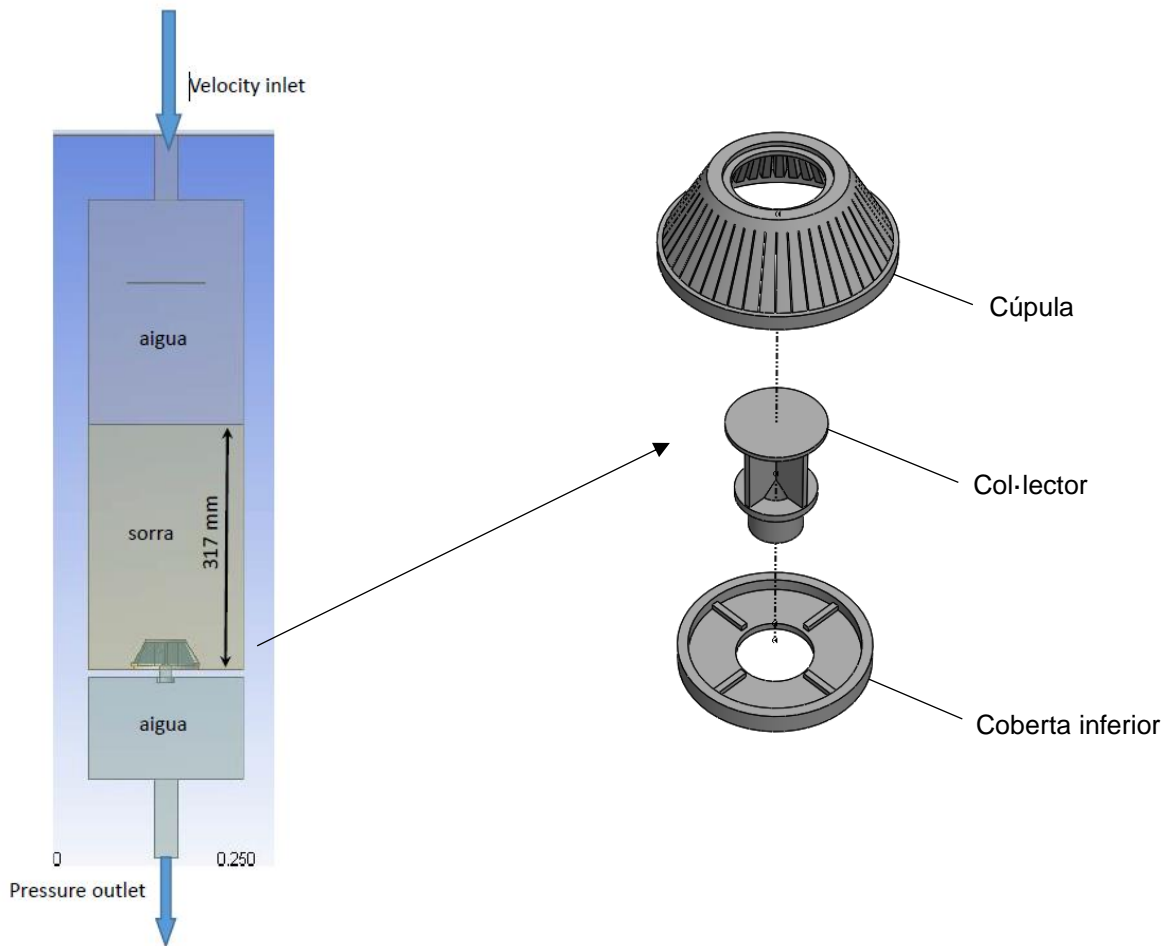


Figura 2: Detall amb la vista explosionada de la crepina comercial (dimensions en mm)

1.2 Objecte

L'objecte del present projecte és determinar com afecta el disseny de les crepines a la pèrdua de càrrega de filtres de sorra pressuritzats a través de la simulació d'un filtre de laboratori mitjançant el programa ANSYS-Fluent.

1.3 Abast i especificacions

Es farà el disseny dels models d'ANSYS-Fluent estudiar diferents crepines i determinar-ne el seu efecte en la pèrdua de càrrega del filtre.

Tot i estar previst realitzar assajos de laboratori amb les diferents crepines, finalment ha resultat impossible dur-los a terme per una qüestió de problemes tècnics amb el muntatge experimental que encara no s'havien resolt en el moment d'entregar el present projecte.

2 METODOLOGIA

2.1 Introducció

A la Figura 3 s'observen les dimensions del filtre a escala, format per un cos de diàmetre interior de 200 mm i una llargada total de 750 mm. També s'indica la posició dels manòmetres: 1 i 5 a l'entrada i sortida, i els 2,3 i 4 col·locats a 100 mm l'un de l'altre per tal de poder mesurar pressions en diferents trams del filtre i a diferents altures del medi filtrant.

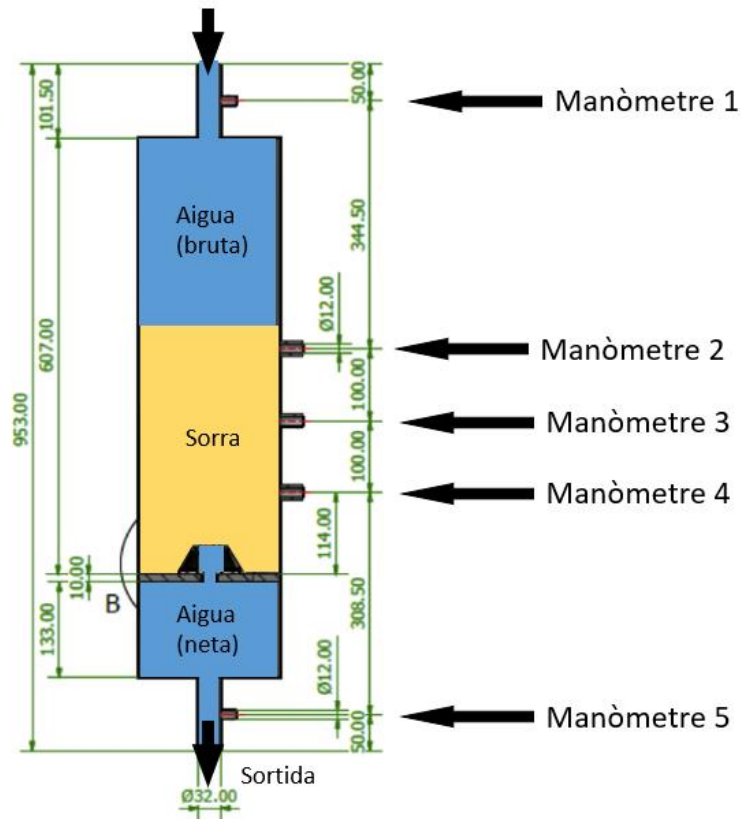


Figura 3: Dimensions del filtre a escala i disposició dels manòmetres (dimensions en mm)

2.2 Dades crepines

L'estudi de Pujol va proposar 3 noves crepines amb geometries cilíndriques alternatives a la crepina comercial amb forma troncocònica (a partir d'ara anomenada crepina A) de l'estudi de Bové.

Les crepines B, C i D, estan formades per una tapa inferior, una tapa superior, una xapa lateral i un tub roscat amb un diàmetre interior de 15mm. El diàmetre del cilindre és de 94 mm, el gruix de les tapes és de 1,5mm i el gruix de la xapa lateral és d'1 mm.

Cal destacar que les esclatxes de totes les crepines tenen una obertura de 0,45 mm i 30 mm de llargada. Les crepines A, B i C tenen 45 esclatxes i la D en té 63, un 40% més que la resta.

A la següent taula s'observen les característiques de les crepines analitzades en aquest estudi.

Taula 1: Crepines estudiades

Crepina	Material	Forma	Àrea de pas	Disposició
A	PVC	Troncocònica	607,5 mm ²	Lateral
B	Acer INOX 304	Cilíndrica	607,5 mm ²	Lateral
C	Acer INOX 304	Cilíndrica	607,5 mm ²	Lateral i superior
D	Acer INOX 304	Cilíndrica	850,5 mm ²	Lateral

A continuació es mostren els 4 models anomenats anteriorment amb les mides principals i les seccions de les vistes trigonomètriques.

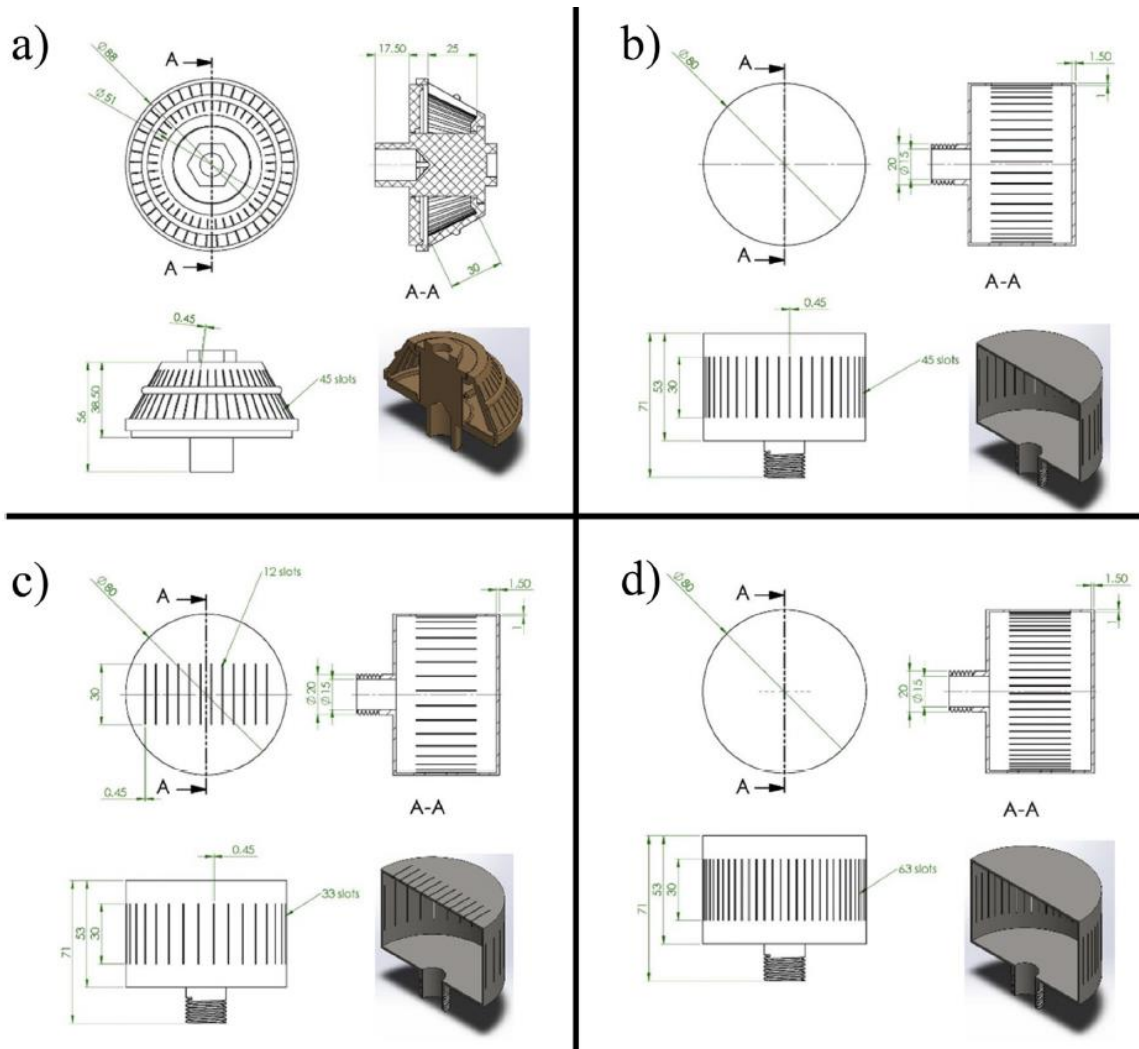


Figura 4 : Mides generals dels 4 dissenys de crepina estudiats. Font: (Pujol et al. 2016)

2.3 Dades medis filtrants

Durant les simulacions s'utilitzen 2 tipus de medis filtrants: sorra silícica 1 i sorra silícica 2.

Les Taula 2, Taula 3 i Taula 4 mostren les denominacions que classifiquen els assajos segons, el tipus de medi, la mida dels grans i l'altura del medi filtrant.

Taula 2: Tipus de medi filtrant

Medi	Denominació
Sorra silícica 1	SS1
Sorra silícica 2	SS2

Taula 3: Mida dels grans del medi filtrant

Medi	Rang de diàmetre de les partícules del medi filtrant (mm)
SS1	0.63 - 0.75
SS2	0.75 - 0.85

Taula 4: Altura del medi filtrant

Altura medi filtrant (mm)	Denominació
317	H317
217	H217
117	H117

2.4 Equacions medi porós

Es coneixen diferents mètodes per calcular el diferencial de pressió per unitat de longitud al medi filtrant ($\Delta p/\Delta L$), en aquest cas, la sorra. Els més habituals són:

Equació d'Ergun

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = 150 \frac{\mu v_s}{D_{eq}^2 \psi^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + 1.75 \frac{\rho v_s^2}{D_{eq} \psi} \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \quad (1)$$

On: ε és la porositat del medi (representa el volum de buits entre partícules dividit pel volum total que ocupa, el màxim és 1 i el mínim és 0), μ és la viscositat de l'aigua, ρ és la densitat

de l'aigua, ψ és el coeficient d'esfericitat de les partícules (1 si són totalment esfèriques, < 1 si no ho són), v_s és la velocitat superficial (igual al cabal dividit per la secció total del filtre) i D_{eq} correspon al diàmetre equivalent de la partícula.

La v_s no és igual a la velocitat real de les partícules a dins del medi, ja que l'aigua disposa d'una àrea més reduïda per on passar.

Equació de Darcy amb pèrdues inercials

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{\mu}{\alpha} v_s + \frac{C_2}{2} \rho v_s^2 \quad (2)$$

On: C_2 és el factor de resistència inercial i α és la permeabilitat del medi (valors que es troben empíricament)

L'equació de Darcy i la d'Ergun són equivalents si es compleix:

$$\frac{1}{\alpha} = 150 \frac{1}{D_{eq}^2 \psi^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \quad i \quad C_2 = 3.5 \frac{1}{D_{eq} \psi} \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3}$$

Equació de Kozeny-Carman

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = 150 \frac{\mu v_s}{D_{eq}^2 \psi^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \quad (3)$$

És la component lineal de l'equació d'Ergun.

Equació de tipus potencial

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = C_0 v_s^{C_1} \quad (4)$$

On: C_0 i C_1 són coeficients empírics a determinar amb assajos de laboratori.

La variable de les equacions anteriors és la velocitat superficial v_s . Els altres termes són constants que es determinen amb ajustos experimentals.

L'ANSYS-Fluent permet representar els efectes del medi porós configurant la simulació amb els valors d' α i C_2 o de C_0 i de C_1 .

Els valors d' α i C_2 de l'equació (2) es poden igualar als termes de l'Equació d'Ergun (1) com es diu en el punt 2.4.2 o de l'Equació Kozeny-Carman (3) amb $C_2 = 0$.

En el cas d'aquest estudi, per la simulació dels casos, simulem el medi porós (Annex C: Configuració del model) fent ús de l'equació d'Ergun (Graciano-Urbe et al. 2021) ja que és el mètode recomanat per estudiar el comportament de filtres de sorra mitjançant ANSYS-Fluent (Herrera 2020).

2.5 Tractament de dades amb CFD

Els software amb el que tractem les dades és l'ANSYS-Fluent. Les simulacions dels casos parteixen d'unes condicions inicials determinades. El Fluent itera i modifica els anteriors valors d'acord amb les equacions de la dinàmica de fluids fins a trobar el resultat final. Entenem per resultat final un estat estacionari, és a dir, aquell estat en què la velocitat i pressió no canvien d'una iteració a una altra.

Per saber que s'ha arribat a aquest estat estacionari s'utilitza el concepte de residual, valor que té en compte la diferència de la variable que estem estudiant entre la iteració actual i l'anterior. Considerem que ens apropem a l'estat estacionari quan el residual és proper a zero.

Existeixen tants residuals com variables tingui el problema o, equivalentment, equacions de conservació. Per això, tenim els residuals de:

- X-velocitat, y-velocitat, z-velocitat (associats a les equacions de conservació de la quantitat de moviment en x, y i z)

- K i ω (associats a les equacions de turbulència per a l'energia cinètica k i a la taxa de dissipació de la turbulència ω).

- Continuïtat (associat a l'equació de conservació de la massa)

Diversos factors, com el truncament de les xifres decimals dels valors numèrics, que fa que els residuals mai arribin a ser zero. Això sí, quan s'estabilitzen, considerem que segurament s'ha arribat a una solució estacionària.

Alternativament als residuals, disposem d'altres eines per establir una solució estacionària. Els valors dels residuals poden variar molt si la suposició del flux inicial (és a dir, les condicions inicials) són molt diferents del resultat estacionari, ja que normalment s'escalen en funció dels valors inicials. Per això estudiem la tendència de les variables objectiu. En el filtre, les variables objectiu són la pressió i el cabal a l'entrada i a la sortida del filtre.

Per a cada cas simulat amb el Fluent, es guarda l'historial de pressions i cabals màssics a l'entrada i a la sortida i també les pressions al cim de la sorra i a l'entrada de les esclatxes de la crepina en arxius indicats a la Taula 10.

Taula 5: Arxius generats per l'ANSYS Fluent per a cada cas

massflow_exit =>	Arxiu de dades de cabal (màssic) a la sortida (kg/s)
massflow_inlet =>	Arxiu de dades de cabal (màssic) a l'entrada (kg/s)
pressure_exit =>	Arxiu de dades de pressió a la sortida (Pa)
pressure_inlet =>	Arxiu de dades de pressió a l'entrada (Pa)
pressio_sorra_top =>	Arxiu de dades de pressió al cim de la sorra (Pa)
Pressio_esclatxes =>	Arxiu de dades de pressió a les esclatxes de la crepina (Pa)

Un cop executades les simulacions s'importen els arxius generats pel Fluent a un full de càlcul. A la Taula 6 tenim un exemple de la pèrdua de càrrega al filtre en un procés iteratiu. En aquest cas es tracta del cas de la crepina B amb una alçada de 317 mm de medi filtrant SS1 i una velocitat a l'interior del filtre de 60 m/h.

Taula 6: Exemple de valors generats pel Fluent en el cas B SS2 H317 i velocitat 60m/h

Iteration	massflow_exit	Iteration	massflow_inlet	Iteration	pressure_exit	Iteration	pressure_inlet	Iteration	pressio_sorra_top	Iteration	pressio_esclatxes
4976	-0,2588	4976	0,2598	4976	0	4976	20167,58	4976	20129,04	4976	6478,702
4977	-0,2596	4977	0,2598	4977	0	4977	20167,62	4977	20129,04	4977	6478,81
4978	-0,2589	4978	0,2598	4978	0	4978	20168,07	4978	20129,52	4978	6479,361
4979	-0,2597	4979	0,2598	4979	0	4979	20168,35	4979	20129,79	4979	6479,717
4980	-0,2598	4980	0,2598	4980	0	4980	20169,43	4980	20130,88	4980	6480,722
4981	-0,2600	4981	0,2598	4981	0	4981	20169,63	4981	20131,07	4981	6481,058
4982	-0,2605	4982	0,2598	4982	0	4982	20169,78	4982	20131,27	4982	6481,169
4983	-0,2601	4983	0,2598	4983	0	4983	20169,36	4983	20130,79	4983	6480,671
4984	-0,2608	4984	0,2598	4984	0	4984	20168,96	4984	20130,4	4984	6480,37
4985	-0,2606	4985	0,2598	4985	0	4985	20168,34	4985	20129,77	4985	6479,885
4986	-0,2607	4986	0,2598	4986	0	4986	20169,3	4986	20130,77	4986	6481,195
4987	-0,2605	4987	0,2598	4987	0	4987	20168,7	4987	20130,15	4987	6481,017
4988	-0,2601	4988	0,2598	4988	0	4988	20168,57	4988	20130,03	4988	6481,359
4989	-0,2597	4989	0,2598	4989	0	4989	20175,55	4989	20137,18	4989	6488,82
4990	-0,2588	4990	0,2598	4990	0	4990	20176,32	4990	20137,81	4990	6489,712
4991	-0,2584	4991	0,2598	4991	0	4991	20177,34	4991	20138,81	4991	6490,964

Efecte del disseny de les crepines en la pèrdua de càrrega de filtres de sorra

4992	-0,2587	4992	0,2598	4992	0	4992	20178,86	4992	20140,33	4992	6492,819
4993	-0,2584	4993	0,2598	4993	0	4993	20180,02	4993	20141,48	4993	6494,059
4994	-0,2562	4994	0,2598	4994	0	4994	20182,38	4994	20143,9	4994	6496,551
4995	-0,2546	4995	0,2598	4995	0	4995	20187,81	4995	20149,45	4995	6502,405
4996	-0,2541	4996	0,2598	4996	0	4996	20193,57	4996	20155,19	4996	6508,395
4997	-0,2533	4997	0,2598	4997	0	4997	20198,38	4997	20159,95	4997	6513,178
4998	-0,2562	4998	0,2598	4998	0	4998	20209,18	4998	20170,73	4998	6524,408
4999	-0,2528	4999	0,2598	4999	0	4999	20217,99	4999	20179,56	4999	6533,685
5000	-0,2533	5000	0,2598	5000	0	5000	20223,67	5000	20185,21	5000	6539,629

A la Figura 5, es mostra una representació gràfica de la pressió a l'entrada del filtre envers el nombre d'iteracions que calcula el software Fluent.

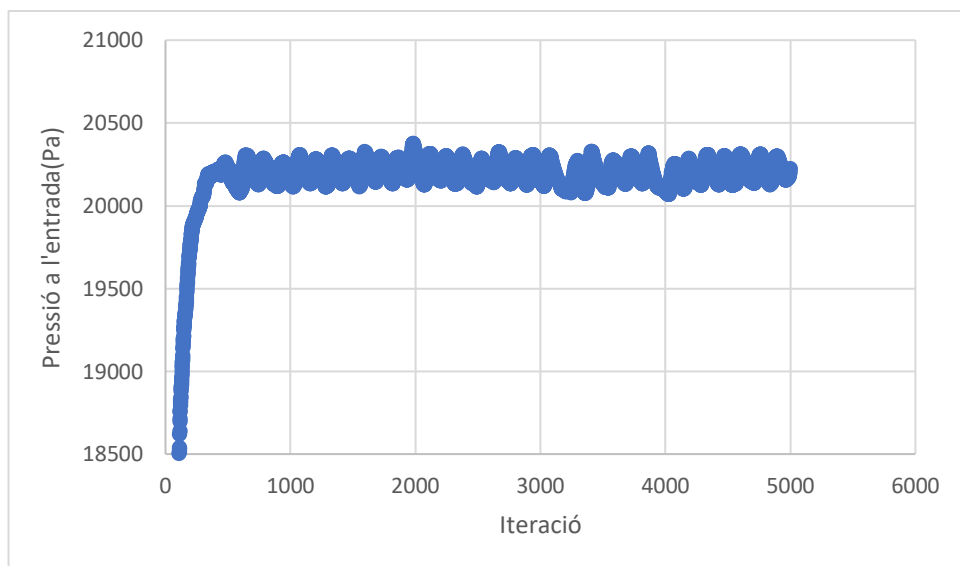


Figura 5 : Pressió a l'entrada del filtre respecte el nombre d'iteracions del cas B SS2 H317 i velocitat 60m/h

Un cop importades les dades a un full de càlcul, es calculen els estadístics de mitjana, desviació estàndard, mitjana, mínim, màxim i rang per a cada un dels 6 conjunts de valors.

S'analitzen els estadístics en les últimes 150 iteracions ja que es considera un nombre suficient d'iteracions que ens dona més precisió.

Els valors més interessants són la pèrdua de càrrega simulada per a tot el filtre, la diferència entre la pressió a l'entrada, p_{in} , i la pressió a la sortida, p_{out} , i la diferència entre la pressió a sobre del medi filtrant, p_{sorra} , i just a l'entrada de les esclertes de la crepina, $p_{esclertes}$.

Les simulacions requerides en aquest estudi amb el software ANSYS Fluent, s'han dut a terme en un dispositiu Workstation ubicat al despatx D-101, que és propietat de la Universitat

de Girona, que consta d'un processador Intel XEON W-2155 10 cores (x2) amb 128 GB de memòria RAM.

Els models s'han simulat fent us de 5 CPUs i uns 25GB de memòria RAM cadascun d'ells.

2.6 Geometria

El cos del filtre i les crepines s'han dissenyat com cossos de revolució respecte l'eix longitudinal. Aquest fet implica que hi hagi un únic pla de simetria pel conjunt del filtre. D'aquesta manera, reduïrem el temps de càlcul en les simulacions de l'ANSYS-Fluent ja que només es simula el comportament de la meitat del filtre.



Figura 6: Filtre amb forma simètrica respecte l'eix longitudinal

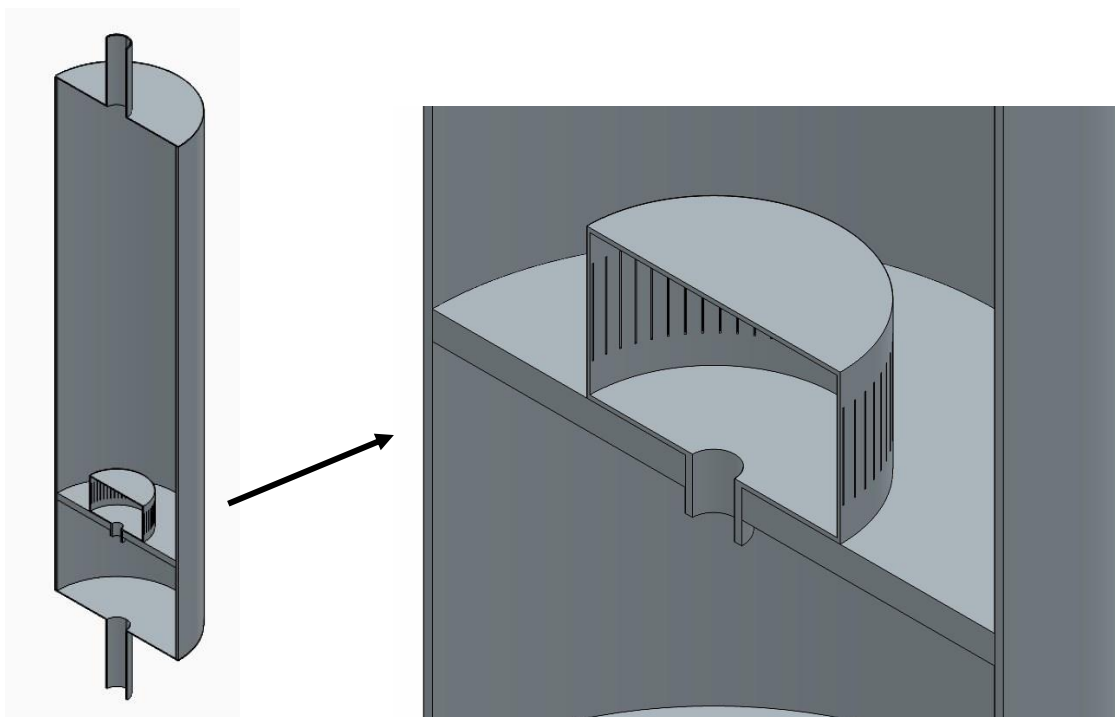


Figura 7: Vista ampliada de l'interior del filtre i la crepina D

3 EFECTES DE LA CONFIGURACIÓ DEL MODEL

3.1 Introducció

En aquest apartat del projecte s'estudien els efectes de la configuració del model en ANSYS Fluent sobre els resultats de les simulacions obtinguts. Més concretament, s'estudia el bloc *Set Up* del Fluent. Partint del cas inicial, que més endavant anomenarem E2T, es modifiquen les opcions que ofereix el programa.

Es comparen els resultats de les diverses configuracions respecte el cas inicial.

Els casos estudiats per a determinar l'efecte de la configuració del model, parteixen del cas de simulació amb la crepina B, una alçada de medi filtrant de 317 mm i una velocitat de 0,3273m/s.

3.2 Tipus de malla

La malla es configura amb l'aplicació Mesh de l'ANSYS. El programa permet el mètode de mallatge avançat per capes prismàtiques "*inflation*" (Annex B) i així millorar la qualitat respecte a la malla automàtica que genera el propi programa (Pujol 2020).

En aquesta apartat definim la següent nomenclatura per diferenciar les malles amb les que s'ha discretitzat la geometria del filtre:

E2T → E = Ergun, 2 = 2n oder, T = tetraedre

E2P → E = Ergun, 2 = 2n oder, P = poliedre

E2TSR5 → E = Ergun, 2 = 2n oder, T = tetraedre, SR = superfície reduïda, 10 = 10 capes de prismes

E2TSR10 → E = Ergun, 2 = 2n oder, T = tetraedre, SR = superfície reduïda, 20 = 20 capes de prismes

Les modificacions a la malla que s'han estudiat son: reduir la mida dels triangles de les superfícies (casos E2TSR, E2TSR5 i E2TSR10), afegir les capes prismàtiques per refinar la malla en les zones crítiques on es preveu que el flux no sigui uniforme (casos E2TSR5 i E2TSR10) i també definir els elements de la malla amb formes polièdriques (cas E2P).

D'aquest últim tipus de malla es tenia intenció de comprar-la amb altres malles polièdriques diferents que incloguessin capes prismàtiques, però no ha resultat possible dur a terme aquestes simulacions.

A continuació es mostren la taula i la figura dels resultats de les diferents malles estudiades per el cas B-SS1-317-30:

Taula 7: Resultats de les simulacions amb diferents tipus de malles

Cas	p in - p out (Pa)	nº elements
E2P	7.630	2.661.958
E2T	8.291	2.661.958
E2TSR5	8.094	16.125.648
E2TSR10	8.076	40.138.098

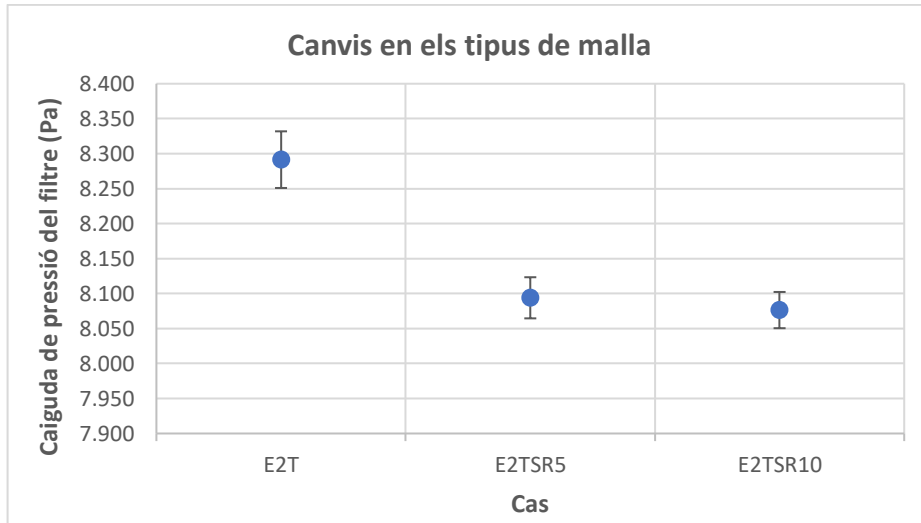


Figura 8: Caiguda de pressió en el filtre per cada tipus de malla

Com era previsible, el cas E2TSR10 és una malla molt més refinada i presenta un nombre d'elements molt més elevat que els altres casos. La malla consta de més de 40 milions d'elements, més del doble que la malla de 5 capes prismàtiques. Però aquesta diferència en la densitat de la malla, només representa una diferència del 0,22% en la caiguda de pressió.

Considerem que el cas més eficient és l'E2TSR5, ja que presenta un equilibri entre resolució i temps de càlcul de la malla.

A la Figura 9, s'observa un exemple de malla amb capes prismàtiques que augmenta la densitat de les zones crítiques.

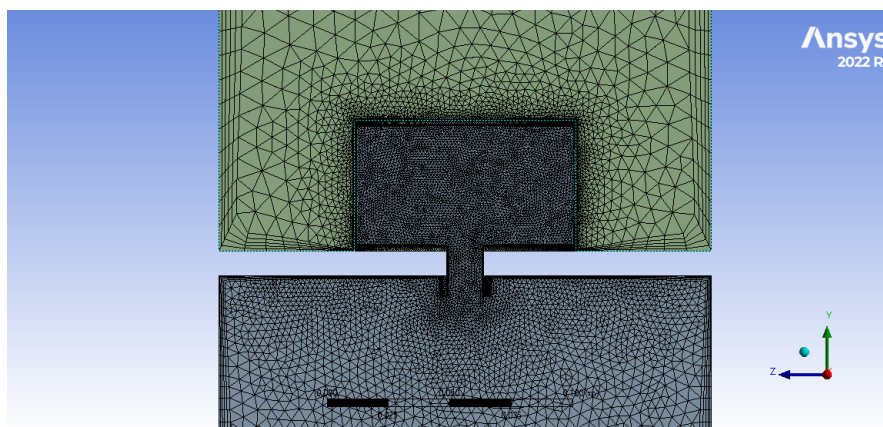


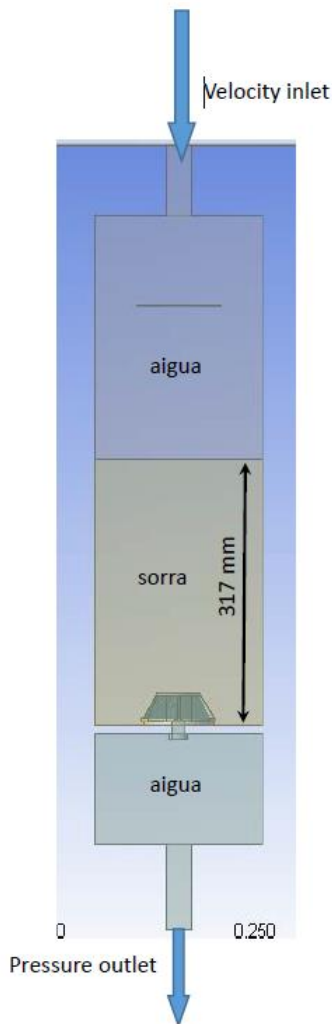
Figura 9: Exemple de mallat amb capes prismàtiques

4 RESULTATS PER A DIFERENTS GEOMETRIES

4.1 Introducció

En aquest punt de l'estudi s'exposen els resultats obtinguts en les simulacions per a diferents medis filtrants, amb diferents crepines i també a diferents velocitats.

Com bé s'ha dit anteriorment, l'equació que s'inclou a l'ANSYS-Fluent per determinar la caiguda de pressió a la sorra és l'equació d'Ergun.



A la Figura 10 s'indica de manera esquemàtica el funcionament del filtre. En aquest estudi es para atenció a la pèrdua de càrrega en els 3 trams que es distingeixen a la figura. El primer tram cobreix des de l'entrada del filtre fins a l'inici de la sorra. El segon tram cobreix des de l'inici de la sorra fins a l'entrada de les esclatxes a la crepina. I el tercer tram fa referència des de l'entrada a la crepina fins a la sortida del filtre.

A la següent taula es mostren els valors de resistència a la viscositat ($\frac{1}{\alpha}$) i de resistència inercial (C_2) de cada medi filtrant, que s'han obtingut després de comparar simulacions de la crepina comercial A amb dades de laboratori (Graciano-Uribe et al. 2021).

Amb aquests paràmetres i configurant les condicions dels models al Fluent, es simulen els casos del filtre amb les diferents crepines.

Figura 10: Esquema de funcionament del filtre

Taula 8: Resistència a la viscositat ($1/\alpha$), resistència inercial (C_2) i porositat (ϵ) dels medis filtrants (Graciano-Uribe et al. 2021)

Medi filtrant	Equació d'Ergun		Porositat $\epsilon(-)$
	$1/\alpha (m^{-2})$	$C_2(m^{-1})$	
SS1	1.681.927.527	43.057,8	0,42
SS2	1.253.060.184	39.987	0,40

4.2 Crepina A

Les dades numèriques d'aquest cas i també dels altres casos amb les crepines B, C i D es troben tabulades a l'Annex D: Resultats de les simulacions.

A la Figura 11 observem els resultats del model simulat amb la crepina comercial A. Es mostren les pèrdues de càrrega dels intervals entrada-sorra, sorra-esclotxes i esclotxes sortida per als diferents casos.

Com es veu més endavant, el sistema amb la crepina A és la que presenta una caiguda més gran de pressió a través del filtre. En concret, és el cas A-SS1-300-60, amb una pèrdua de 25.217 Pa.

Observant el repartiment de la pèrdua de càrrega a través del filtre, s'aprecia que a la majoria de casos simulats el tram amb més pèrdua de càrrega és el tram des de l'inici de la sorra fins a l'entrada de les esclotxes de la crepina. Cal destacar que el tram entre l'entrada del filtre i la part de dalt de la sorra té una caiguda de pressió tan petita en comparació als altres trams, que resulta inapreciable quan grafiquem els valors.

Es comprova que el pes de la pèrdua en el tram sorra-esclotxes és més significatiu en els casos on tenim una velocitat superficial de 30m/s.

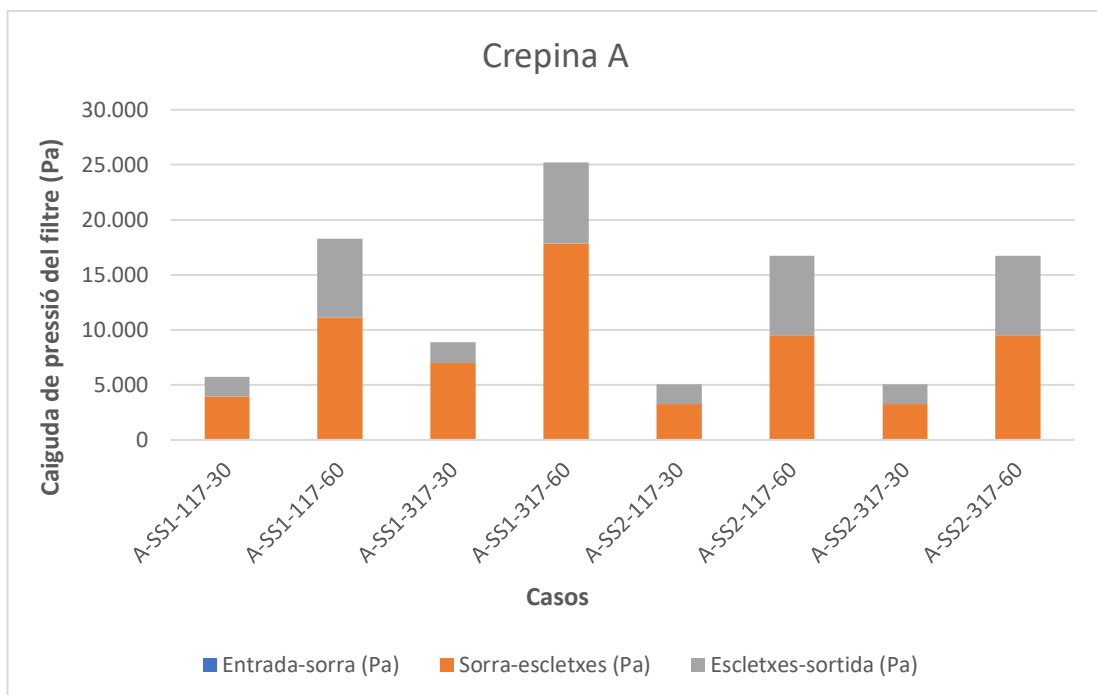


Figura 11: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina A

A continuació es mostra el comportament de les velocitats a l'interior del filtre amb la crepina A. Apreciem línies de flux regular a través del tram de sorra i un augment de la velocitat a la sortida de la crepina.

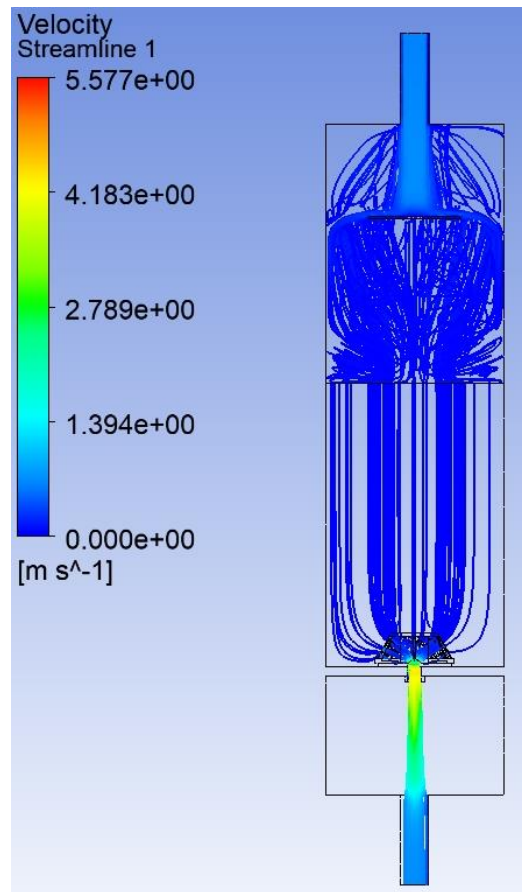


Figura 12: Flux de velocitats del filtre amb la crepina A

4.3 Crepina B

A la Figura 13 observem els resultats dels casos simulats amb la crepina B. Es comprova que el cas amb una major pèrdua de càrrega també és el cas amb la sorra SS1 i una alçada de medi filtrant de 317 mm i una velocitat superficial de 60m/s. La pèrdua de 22.328 Pa és un 51% major respecte el cas equivalent amb la sorra SS2.

Pel que fa al repartiment de la pèrdua de càrrega a través del filtre, s'observa que a la majoria de casos simulats el tram amb més pèrdua de càrrega també és el tram des de l'inici del medi filtrant fins a l'entrada de les esclatxes de la crepina.

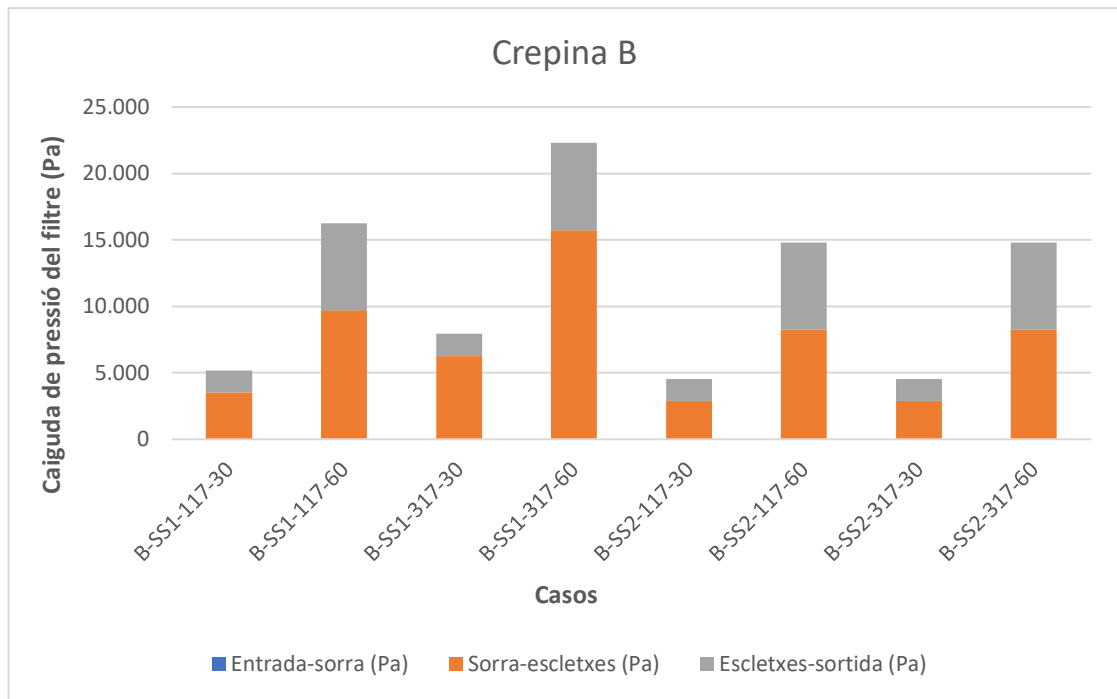


Figura 13: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina B

4.4 Crepina C

A continuació observem els resultats del model simulat amb la crepina C. En aquest cas, trobem uns resultats molt semblants als de la crepina B, però en destaquem la millora en la pèrdua de càrrega total pels casos del medi SS1 amb alçada de sorra de 117 mm.

A la Figura 14 s'observa, com en la resta de models amb diferents crepines, que el cas amb la sorra SS2 i a per a una mateixa velocitat, independentment de l'alçada del medi filtrant, presenten els mateixos resultats.

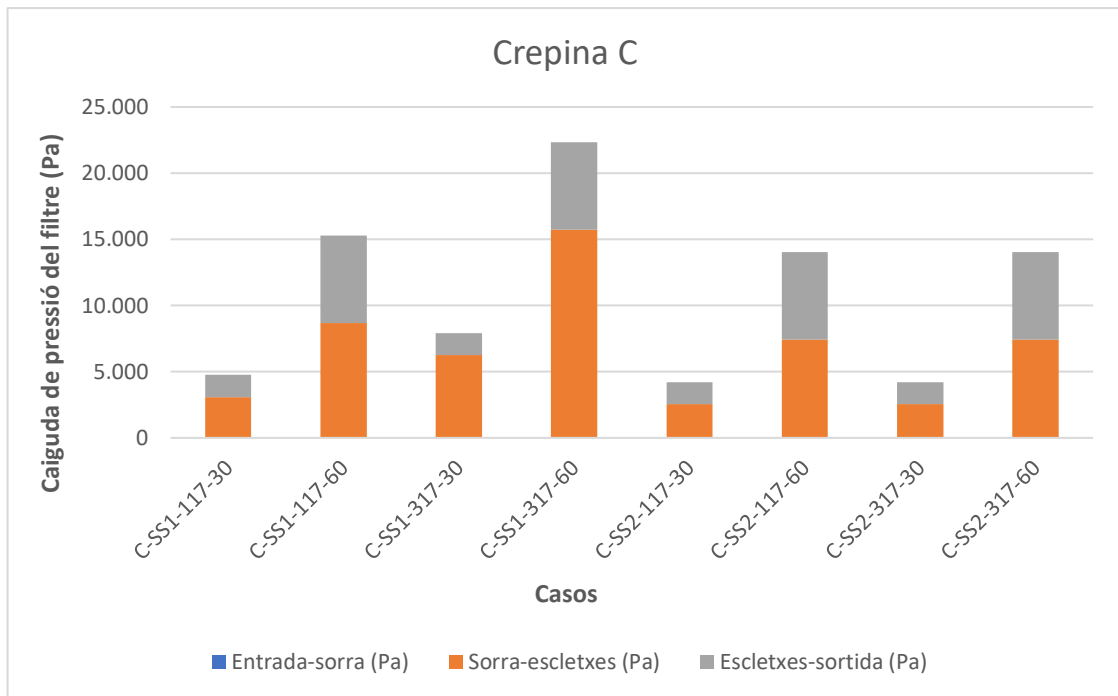


Figura 14: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina C

A la següent figura es presenta la caiguda de pressió al llarg del filtre per el cas de la crepina C amb una alçada de 317 mm a una velocitat de 60 m/h.

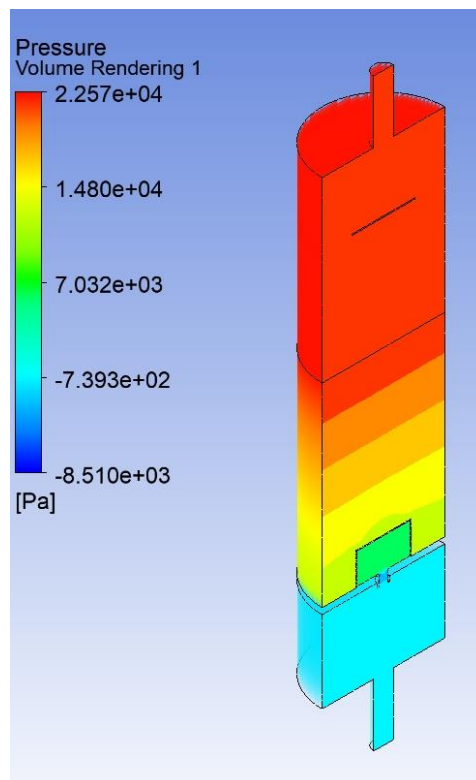


Figura 15: Pressió al filtre en el cas C-SS1-317-60

4.5 Crepina D

A la Figura 16 observem els resultats del model simulat amb la crepina D, que és la crepina que té un nombre més elevat d'esclotxes. En total en té 63, i per tant, té un 40% més d'àrea de pas.

Com era d'esperar, aquesta crepina és la que presenta unes pèrdues de càrrega més petites en comparació als models esmentats anteriorment.

El cas que té una pèrdua de càrrega més gran segueix sent el cas de la sorra SS1 amb una alçada de 317 mm i una velocitat de 60m/s. Aquesta vegada la pèrdua és de 20.873 Pa i representa un 17,2% menys que la del cas equivalent simulat amb la crepina A.

Segons es mostra a la següent figura, i com ja s'ha vist en els altres models, el tram des de l'inici del medi filtrant fins a l'entrada de les esclotxes de la crepina és el més significatiu, sobretot en els casos amb una velocitat superficial de 30m/s.

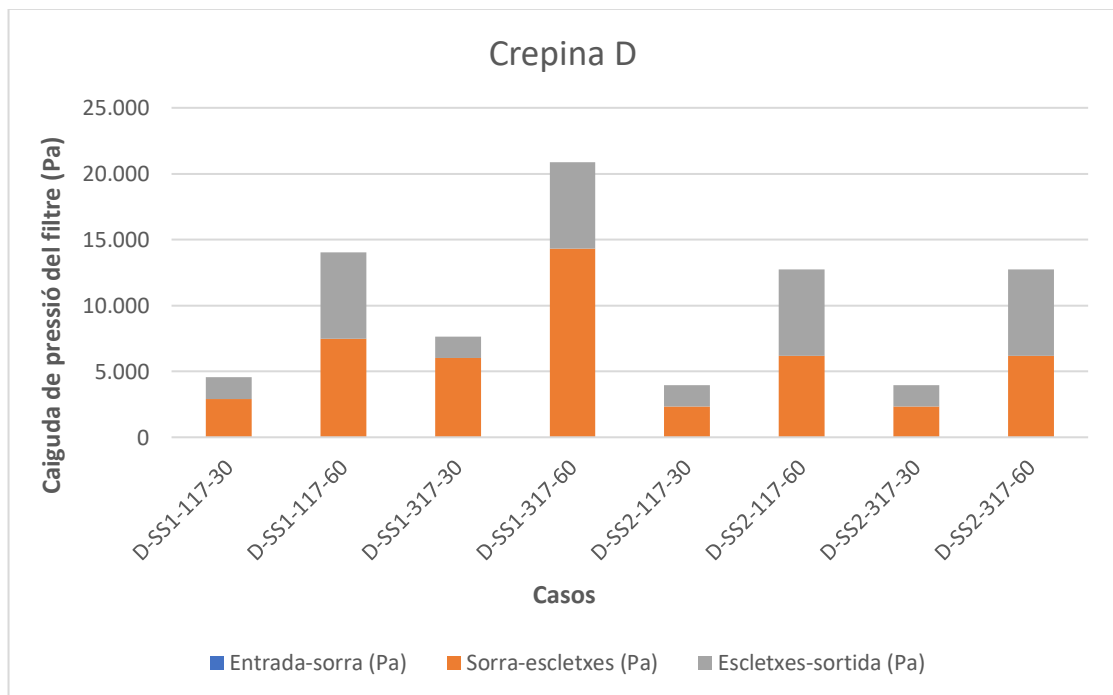


Figura 16: Resultats de la caiguda de pressió en la crepina D

4.6 Comparativa de crepines

Es comparen els comportaments de les crepines per als diferents casos respecte la crepina comercial i es troba que la diferència de la caiguda de la pressió més gran entre els diferents models, és per a un rang de velocitats més baixes.

A la Figura 17, s'observa un exemple del comentat anteriorment i és que per al cas 317-SS2-30 la crepina C presenta una caiguda de pressió un 10,9% inferior a la crepina comercial A.

També s'observa el comportament de la crepina D, que com era d'esperar, respon amb una pèrdua de càrrega inferior a la resta, ja que és el model amb una major àrea de pas.

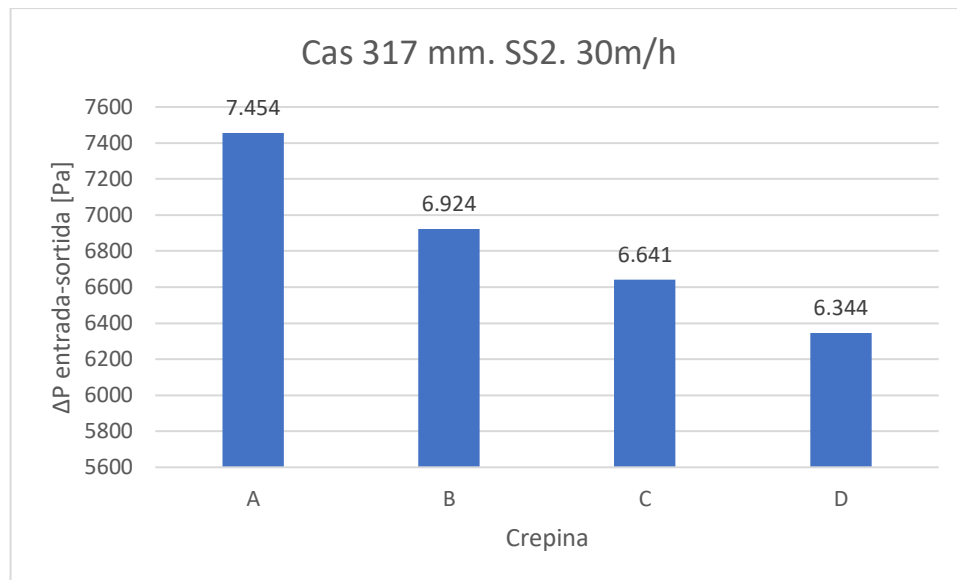


Figura 17: Caiguda de pressió dels diferents filtres per al cas 317-ss2-30

D'altra banda, estudiant el comportament dels diferents medis filtrants i les diferents configuracions de crepina, es comprova la relació entre el diàmetre de les partícules del medi filtrant que afecta directament a la porositat i per tant a la caiguda de pressió.

La sorra SS1 té una mida de gra més reduïda que la de la sorra SS2 (veure Taula 3) i presenta una caiguda de pressió aproximadament un 19% en els diferents casos.

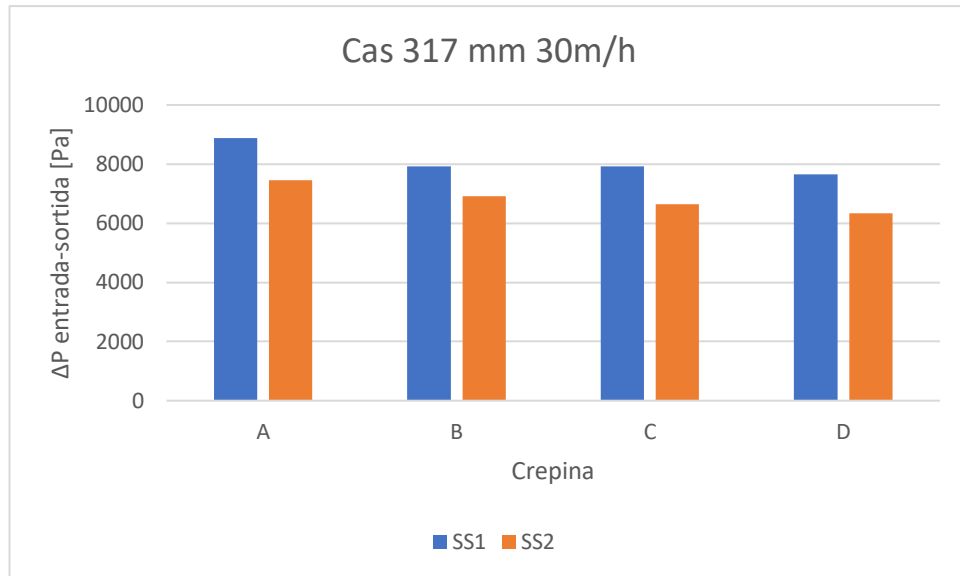


Figura 18: Caiguda de pressió de les sorres SS1 i SS2

4.7 Discussió

En la discussió d'aquest estudi, s'analitzen els resultats per determinar com afecta el disseny de les crepines a la pèrdua de càrrega de filtres de sorra pressuritzats.

Un aspecte interessant a destacar és que les pèrdues de càrrega dels trams del filtre on només hi ha aigua (entrada-sorra i esclertes-sortida) són gairebé idèntiques per a tots els casos per a una velocitat fixada, ja sigui amb una alçada de medi filtrant de 117 mm o 317 mm i també independentment de si el medi filtrant és la sorra SS1 o la SS2.

A part d'això, també s'observa que la caiguda de pressió en el tram esclertes-sortida de les crepines B, C i D és gairebé idèntica. Aquest fet és degut a que les tres crepines tenen una geometria interior molt semblant. Gràcies al disseny 3D dels models, coneixem que el volum de pas és d'uns 308.300 mm³ i una secció de sortida de 176,7 mm² per als tres casos.

A diferència de les altres crepines, la crepina A que té una geometria interior més complexa. El seu volum interior és tres vegades inferior, uns 103.610 mm³ i la secció de sortida és de 201 mm².

A la Figura 19 s'observa l'interior de la crepina A, que consta d'un col·lector i una base amb una geometria que provoca una caiguda de pressió superior a la resta de crepines.

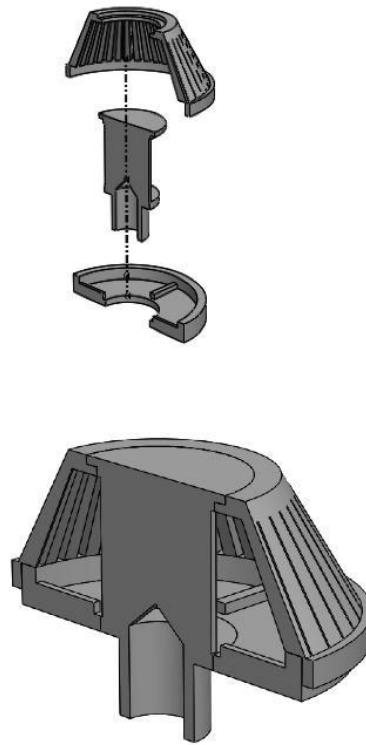


Figura 19: Detall de la crepina A (Graciano-Urbe et al. 2021)

A la següent figura es mostra el flux de velocitat a l'interior de la crepina A i es pot apreciar la irregularitat d'aquest degut a la geometria interna.

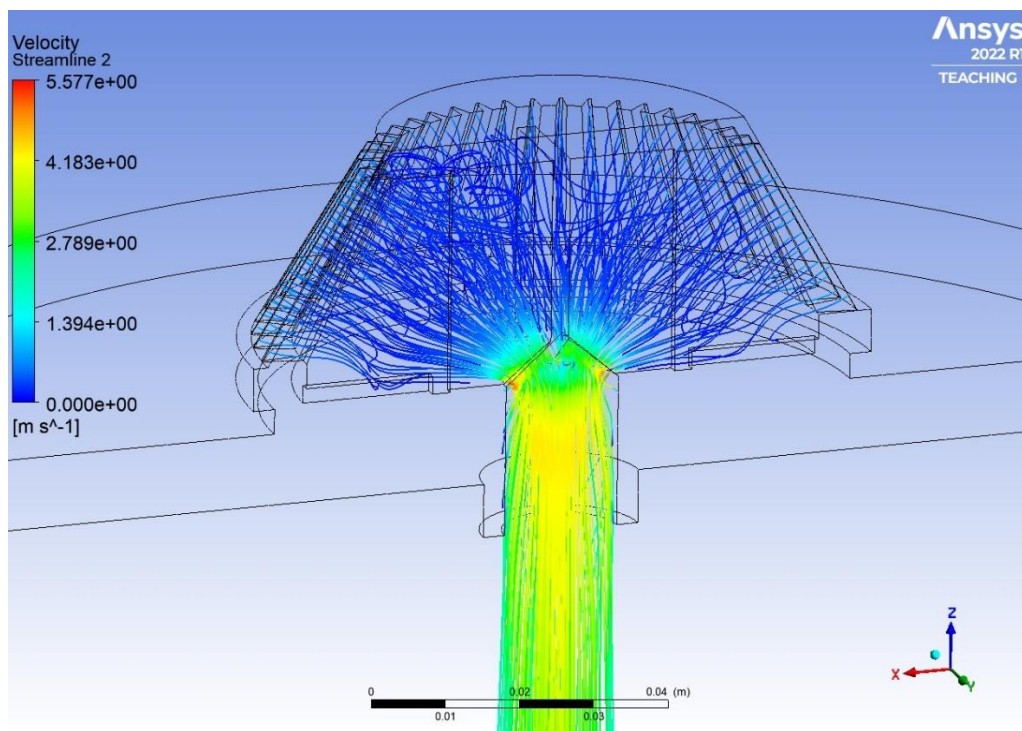


Figura 20: Flux de velocitat a l'interior de la crepina A

Seguint amb el cas d'exemple de la Figura 17, a continuació es representa la pèrdua de càrrega a la sortida del filtre, concretament l'últim tram que té en compte des de les esclertes de la crepina fins la sortida del filtre.

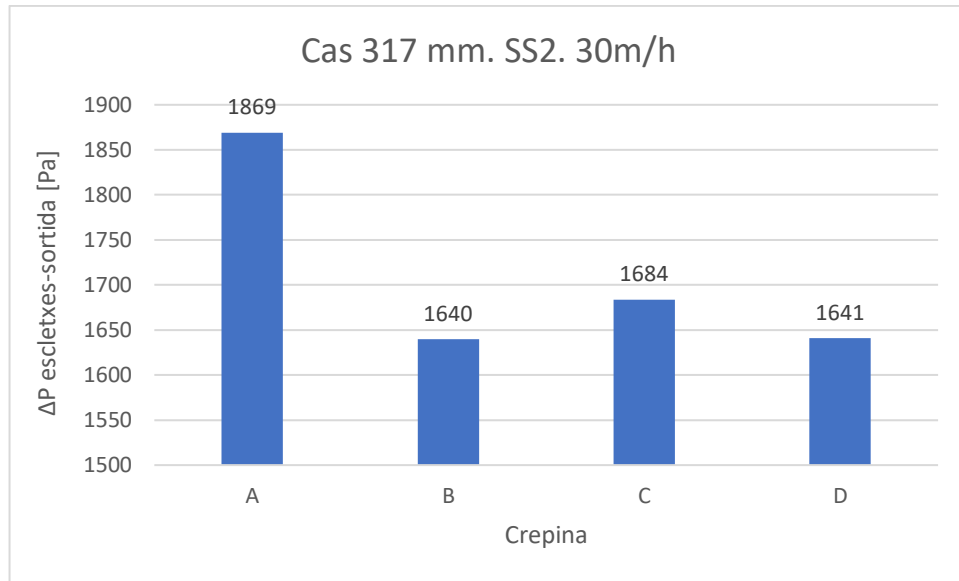


Figura 21: Caiguda de pressió del tram esclertes-sortida per al cas 317-ss2-30

Es comprova que la crepina A presenta una pèrdua de pressió d'entre un 11-14% superior respecte les altres.

5 RESUM DEL PRESSUPOST

El resum del pressupost del present projecte tenint en compte les despeses associades a la recerca i el desenvolupament, els costos d'amortització i els costos de redactat incloent l'impost de valor afegit I.V.A. és de vuit mil tres-cents cinquanta-dos euros amb trenta-tres cèntims d'euro.....8.352,33€

6 CONCLUSIONS

Un cop estudiades les diferents crepines i el seu efecte en la pèrdua de càrrega, concloem en els següents punts:

- Una malla més refinada millora la precisió i fiabilitat dels resultats fins a cert punt però es comprova que a partir de més de 5 capes prismàtiques, ens queda una malla excessivament densa i no millora gaire respecte la malla de 5 capes prismàtiques.
- De les quatre crepines estudiades, la que presenta unes pèrdues de càrrega més altes és la crepina A. És un model comercial de forma troncocònica i amb una geometria interior que incorpora un col·lector. Aquesta geometria més complexa implica una major pèrdua de càrrega.
- A velocitats baixes, com per exemple a 30m/h, el disseny de la crepina té molta més influència en la pèrdua de càrrega que no pas en els casos amb velocitats més elevades.
- En els casos on es té una alçada de 117 mm de medi filtrant, es comprova que un disseny de crepina amb una distribució d'esclatxes més repartides, millorar els resultats. La crepina C presenta una pèrdua de càrrega inferior la crepina B tot i tenir la mateixa àrea de pas.
- Es comprova que la crepina D presenta millors pèrdues de càrrega ja que té una secció de pas un 40% superior a la resta de crepines, sobretot amb alçades de sorra de 117 mm. De totes maneres, la caiguda de pressió no és directament proporcional a l'àrea de pas.
- La pèrdua de pressió en el tram sorra-esclatxes és clarament més significativa en totes les configuracions a velocitat de 30m/h.
- Una geometria interna més simplificada com la de les crepines B, C i D redueix fins a un 14% de pèrdua de càrrega a l'interior de la crepina.

7 RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present Projecte consta dels següents Documents:

Document 1. Memòria i annexos.

Annex A. Geometria del model

Annex B. Discretització del domini

Annex C. Configuració del model

Annex D. Resultats de les simulacions

Annex E. Cost d'elaboració del projecte

8 BIBLIOGRAFIA

- Bové, Josep, Gerard Arbat, Miquel Duran-Ros, Toni Pujol, Joaquim Velayos, Francisco Ramírez de Cartagena, and Jaume Puig-Bargués. 2015. "Pressure Drop across Sand and Recycled Glass Media Used in Micro Irrigation Filters." *Biosystems Engineering* 137:55–63. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.07.009.
- Graciano-Uribe, Jonathan, Toni Pujol, Jaume Puig-Bargués, Miquel Duran-Ros, Gerard Arbat, and Francisco Ramírez de Cartagena. 2021. "Assessment of Different Pressure Drop-Flow Rate Equations in a Pressurized Porous Media Filter for Irrigation Systems." *Water (Switzerland)* 13(16). doi: 10.3390/w13162179.
- Herrera, Pau. 2020. *Estudi Comparatiu de Diferents Metodologies Utilitzades En Dinàmica de Fluids Computacional per Calcular La Pèrdua de Càrrega de Medis Porosos En Filtres Pressuritzats*. Treball final de grau. Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials. Universitat de Girona.
- Pujol, Toni. 2020. *Fluid Structure Interaction*. Vol. 30.
- Pujol, Toni, Gerard Arbat, Josep Bové, Jaume Puig-Bargués, Miquel Duran-Ros, Joaquim Velayos, and Francisco Ramírez de Cartagena. 2016. "Effects of the Underdrain Design on the Pressure Drop in Sand Filters." *Biosystems Engineering* 150:1–9. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.07.005.
- Sala, Pau. 2015. *Disseny, Fabricació i Assaig de Noves Crepines per a Filtres de Sorra*. Treball final de grau. Grau en Enginyeria Mecànica. Universitat de Girona.

ANNEX A: GEOMETRIA DEL MODEL

El filtre i les crepines B, C i D s'han dissenyat amb el SolidEdge, un software de CAD per modelatge 2D i 3D. La crepina A, no s'ha dissenyat ja que es tracta d'un model comercial del qual el fabricant ens ha proporcionat l'arxiu STEP.

Tot seguit es detallen els passos i exemples de com s'ha arribat al disseny final del filtre i les crepines d'aquet estudi:

- Definir els elements del filtre: el cos i les crepines.
- Dibuixar les tapes i cossos cilíndrics del filtre i de les crepines.
- Assemblatge dels conjunts de filtre amb crepina.

Disseny dels elements del filtre

Cos del filtre

El primer que es dibuixa és una circumferència de 206 mm de diàmetre que donarà peu a la forma cilíndrica del filtre.

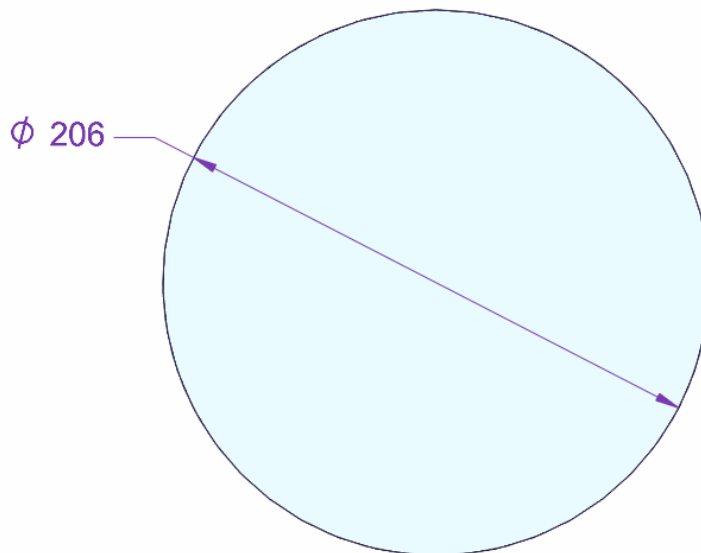


Figura 22: Croquis del cos del filtre

Un cop tenim l'esbós del cos del filtre, es generen els cos cilíndric gràcies a les les operacions *extruir* (Figura 23) i *dar espesor* (Figura 24). L'operació *extruir* genera un cilindre massís i *dar espessor* ens permet definir el gruix de la paret.

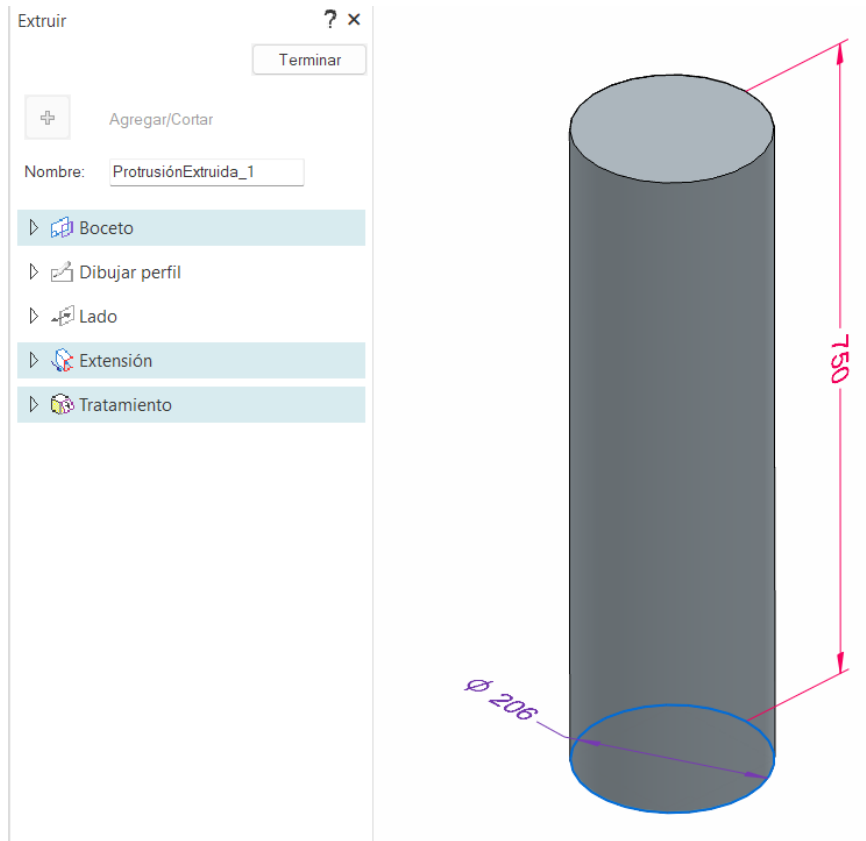


Figura 23: Operació *extruir* per generar el cilindre massís del filtre

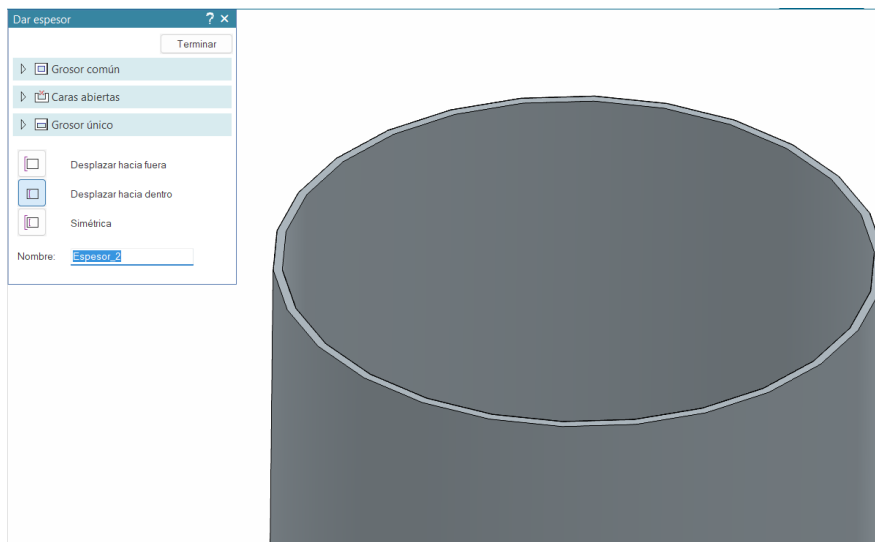


Figura 24: Operació *dar espesor* per definir el gruix de paret del cilindre i obtenir un tub



Figura 25: Tub del filtre

Un cop obtingut el cos del filtre, es dibuixa la tapa que serveix per superior i inferior, seguint les operacions anteriorment descrites. S'obtenen peces com la que es mostra tot seguit.

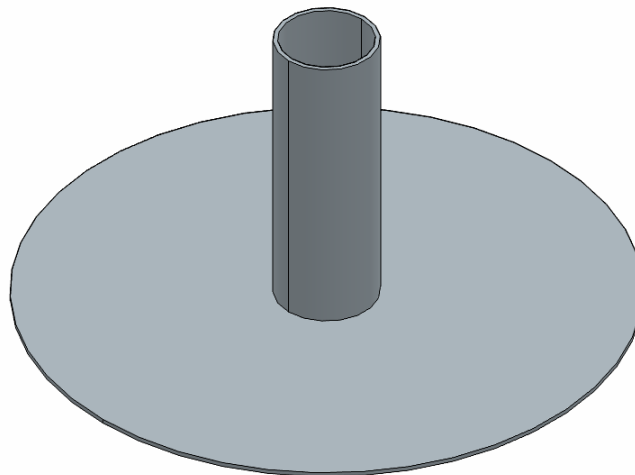


Figura 26: Tapa del filtre

Un altre element del filtre és el suport central, allà on hi va muntada la crepina. Aquest suport és una xapa de gruix de 10 mm amb un forat al centre.

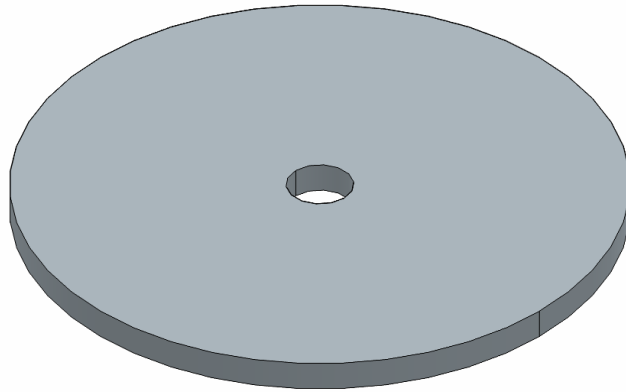


Figura 27: Suport de crepina

Crepines

A continuació, es detalla el disseny de les crepines B, C i D. Totes tres es dissenyen partint de la mateixa base: es conformen unint un cos cilíndric a dues tapes. La tapa superior i la tapa inferior que té un tub roscat soldat, per on surt l'aigua.

A l'hora de dissenyar les crepines, i per fer-ho més senzill, es generen amb l'operació *protrusió por eje de revolució* (veure Figura 28).

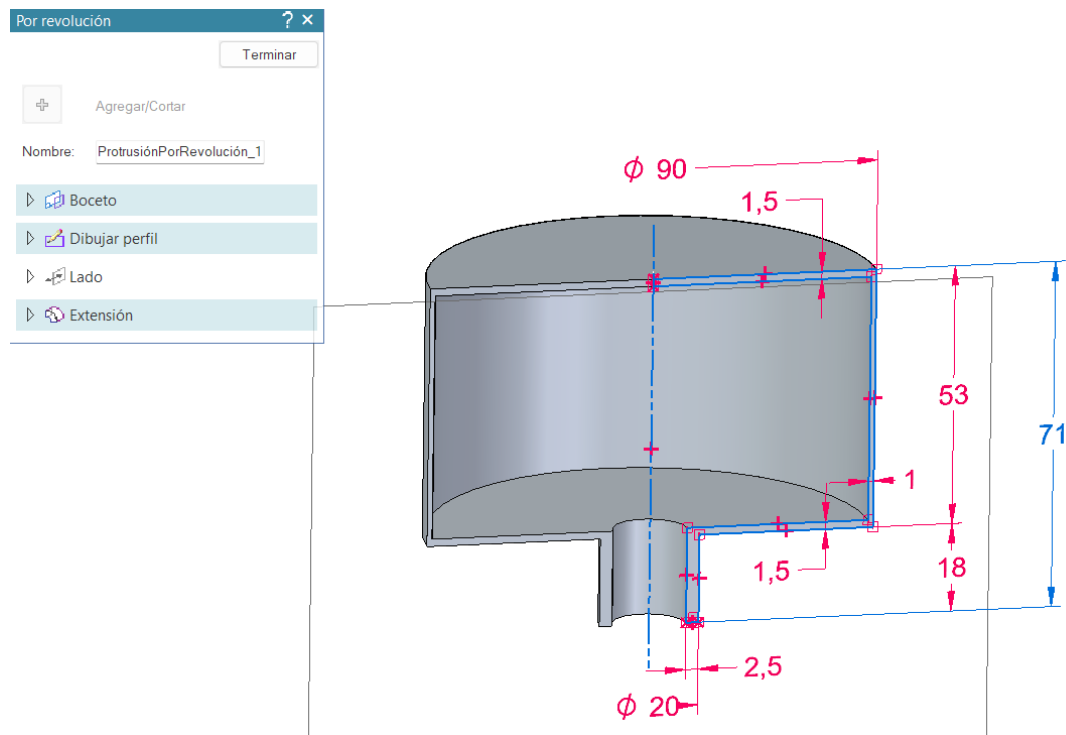


Figura 28: Generació de la crepina per un cos de revolució

Efecte del disseny de les crepines en la pèrdua de càrrega de filtres de sorra

Un cop definit el cos de les crepines, es realitza la primera esclletxa fent ús de l'operació *vaciado* (Figura 29). Aquesta operació permet fer un esbós i dibuixar el perímetre rectangular de l'esclletxa de 0,45x30 mm.

En el cas de la crepina B, aquesta té 45 esclletxes repartides equitativament per la paret lateral. La crepina C en té 33 per el lateral i 12 a la tapa superior i la crepina D té un total de 63 esclletxes per la paret lateral.

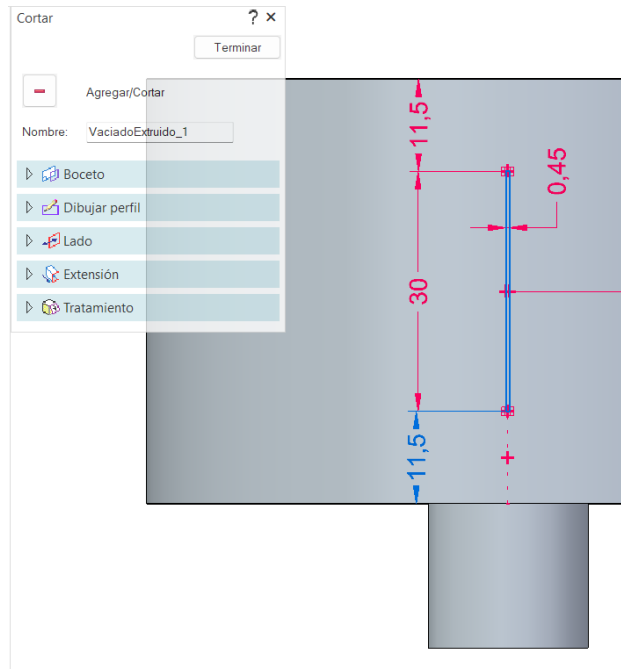


Figura 29: Operació *vaciado* per crear les esclletxes

Definida la primera esclletxa, s'utilitza l'operació *patrón* (Figura 30) que permet replicar el forat de l'esclletxa al llarg d'una corba i una trajectòria en un nombre de còpies i amb un espaiat proporcionat.

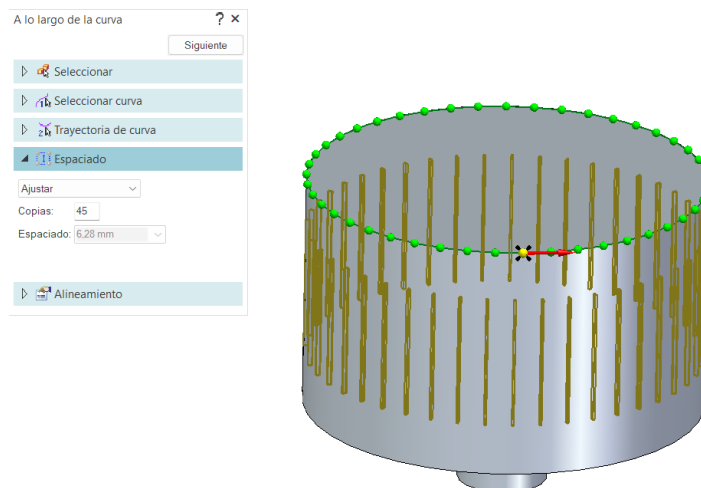


Figura 30: Operació *patrón*

Assemblatge del conjunt del filtre

Dibuixats tots els elements anteriorment descrits, es procedeix a l'assemblatge dels 4 tipus de filtres. Tots tenen en comú el cos del filtre i intercanvien la crepina interior.

El SolidEdge permet crear assemblatges a través de les relacions geomètriques, com per exemple, tangència, relació axial, coincidència superficial, angle, paral·lelisme, etc.

A continuació s'exposa l'exemple de l'assemblatge del filtre amb la crepina B, on s'observa que la crepina està relacionada amb una superfície de la tapa inferior coincident a la superfície del suport i també té una relació axial entre el tub de la sortida i el forat del suport.

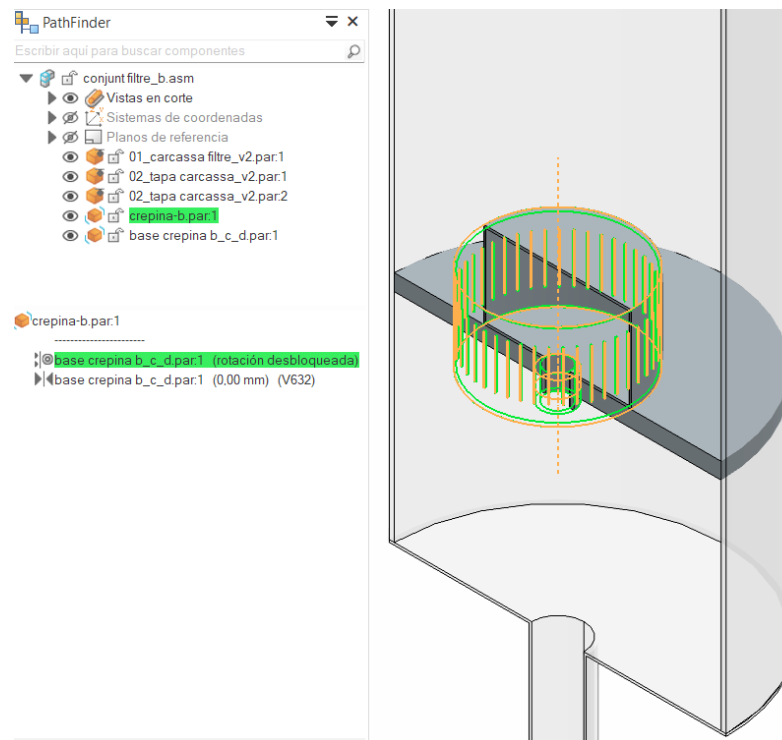


Figura 31: Relacions geomètriques de la crepina B dins el conjunt del filtre

Un cop relacionades totes les peces del cos del filtre i la crepina, obtenim un conjunt com el que es mostra a la següent figura.

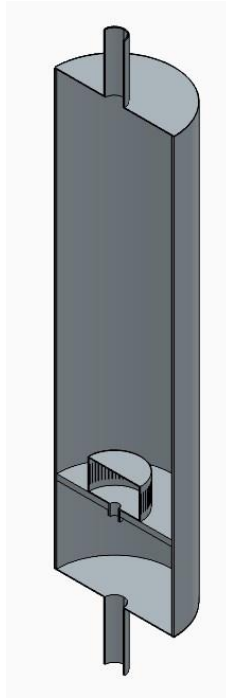


Figura 32: Exemple de filtre amb una crepina cilíndrica

Abans d'importar la geometria al programari ANSYS, és necessari obtenir el negatiu dels diferents models de filtre. S'entén per negatiu el volum interior de cada part del filtre, que serà ocupat pels diferents medis filtrants i l'aigua.

Per aconseguir aquests volums negatius (tram superior, sorra, interior crepina, sortida) és necessari generar cossos de revolució macissos, sobreposar-los amb la geometria coneguda i executar l'operació *sustraer*. Aquesta operació permet eliminar el volum que interfereix entre els dos cossos, quedant un únic volum que representa l'interior del filtre.

ANNEX B: DISCRETITZACIÓ DEL DOMINI

Pel que fa a la discretització del domini, en aquest apartat s'utilitza el programa ANSYS-Fluent. Aquest consta d'una interfície de treball que divideix l'esquema del projecte en blocs.

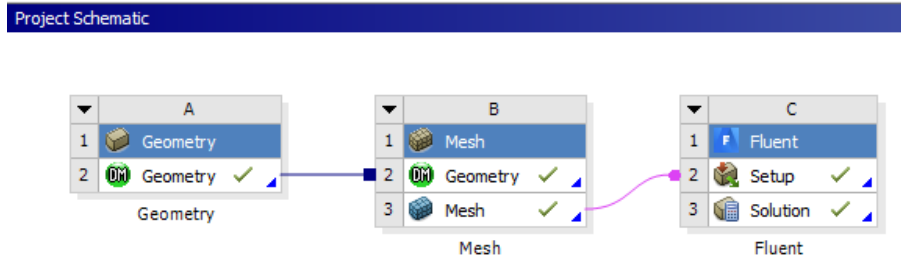


Figura 33: Interfície del projecte a l'ANSYS-Fluent

En primer lloc, s'importa la geometria del volum interior amb el bloc de *geometry*. S'edita la geometria amb l'aplicació *Design Modeler* que ens permet definir les regions crítiques i delimitar les que es de tracten amb especial atenció. També ens permet seccionar el model per la meitat ja que és simètric i això ens facilita el temps de càlcul.

En aquest apartat s'estableixen els cossos, la part superior, la sorra i la part inferior del filtre. També s'hi defineixen els *Body of influence* que són els cossos als que més endavant s'aplica un mallat més dens que el mallat predefinit del Mesh.

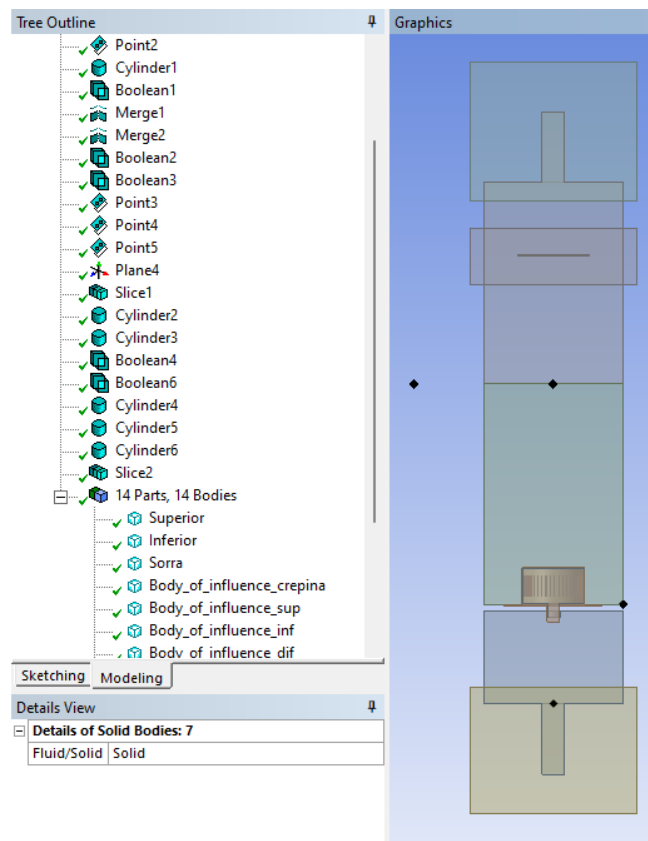


Figura 34: Definició de les regions i els *body of influence* del filtre

A continuació, s'utilitza el bloc del *Mesh* que és amb el que es configuren els mallats per a cada un dels models que s'estudien. El primer que es fa és definir les *named selections* que són les cares o grups de cares que més endavant utilitzem per definir el comportament de la malla. A la següent figura s'observa un exemple.

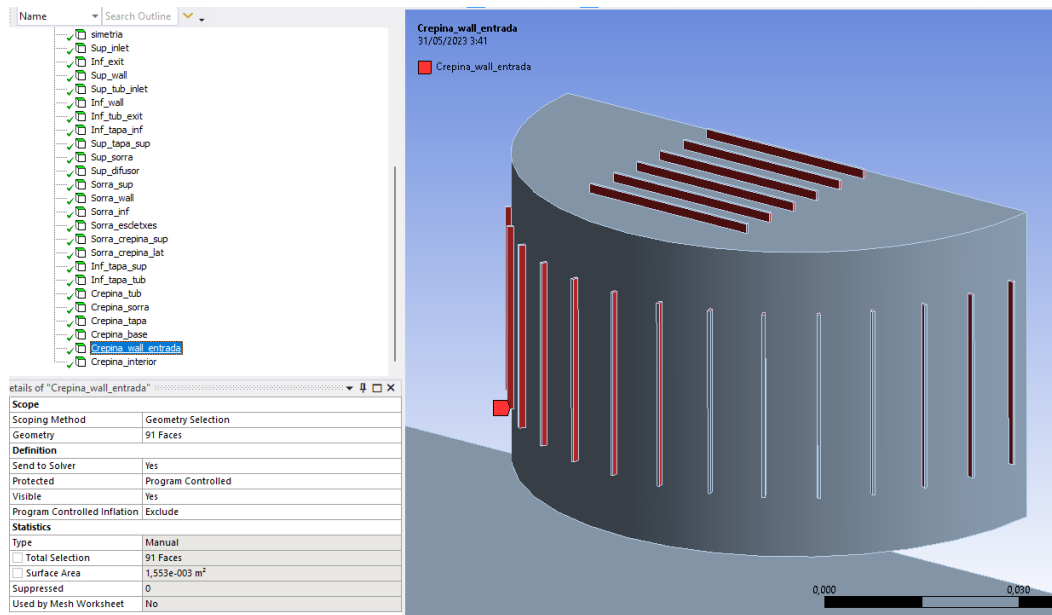


Figura 35: Exemple de named selection per la crepina D

Amb totes les *named selection* definides, es procedeix a mallar el model. El primer que es creen són els *Face Sizing* amb una mida màxima d'element i després es generen els *Body Sizing* que limiten els anteriorment anomenats *Body of Influence*.

També en aquest punt del modelatge s'especifiquen els *inflation* que són una eina del Mesh que permet afegir capes successives d'elements prismàtics triangulars que parteixen dels triangles utilitzats en el mallat de les parets i així poder fer més densa la malla en aquestes zones. En aquest estudi s'han aplicat 5 i fins a 10 capes prismàtiques per a diferents casos.

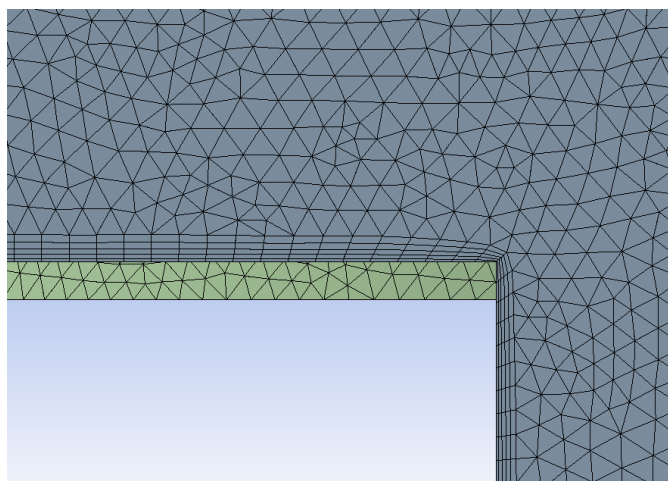


Figura 36: Detall de les capes prismàtiques a la sortida de la crepina

Efecte del disseny de les crepines en la pèrdua de càrrega de filtres de sorra

En aquest punt s'exposen les característiques dels tres tipus de malles que s'han analitzat en aquest estudi. Les malles són la E2T, E2TSR5 i la E2TSR10.

A la següent taula es presenten les dimensions dels elements (triangles) a les superfícies anteriorment etiquetades amb els *named selections*.

Taula 9: Dimensions dels *Face Sizing* de cada malla

Superfície	Malla E2T (mm)	Malla E2TSR5 (mm)	Malla E2TSR10 (mm)
Crepina sobrebase	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Crepina tapa	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Crepina triangular	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Crepina wall entrada	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$
Crepina escltxes	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$
Difusor plats grans	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Difusor sup lateral	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Inlet	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Sorra escltxes	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$
Sorra wall crep	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Sorra wall crep 2	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Sorra wall crep 3	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Exit	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$

A la Taula 10 es mostren les mides màximes dels elements (tetraedres), per a cada malla, a les superfícies dels tres volums en els que s'ha dividit la geometria del filtre:

Taula 10: Dimensions dels *Body size* de cada malla

Volum	Malla E2T (mm)	Malla E2TSR5 (mm)	Malla E2TSR10 (mm)
Inferior	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Sorra	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Superior	$10 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

També s'indiquen les mides dels elements per als cossos d'influència de cada malla:

Taula 11: Dimensions dels *Body of influence* de cada malla

Cos	Malla E2T (mm)	Malla E2TSR5 (mm)	Malla E2TSR10 (mm)
crep	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$
dif	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Inferior	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Superior	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$

És necessari comprovar els valors dels paràmetres de la malla que ens ofereix l'ANSYS. Els paràmetres esmentats són la obliquïtat (*skewness*, Figura 37), la ràtio d'aspecte (*aspect ratio*, Figura 38) i la qualitat ortogonal dels elements (*orthogonal quality*, Figura 39).

Els valors de la obliquïtat oscil·len entre 0 fins a 1, considerant 0 el millor dels casos i 1 el més desfavorable.

En canvi, per a la ràtio de la qualitat ortogonal, serà el 0 un valor inacceptable i l'1 un valor excel·lent. Per a obtenir una malla de bona qualitat cal evitar elements altament inclinats i relacions d'aspecte gaire altes (mantenir per sota de 50).

Skewness

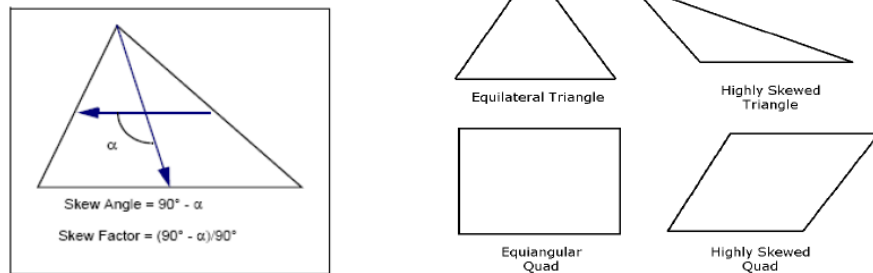


Figura 37: Obliquïtat dels elements de la malla

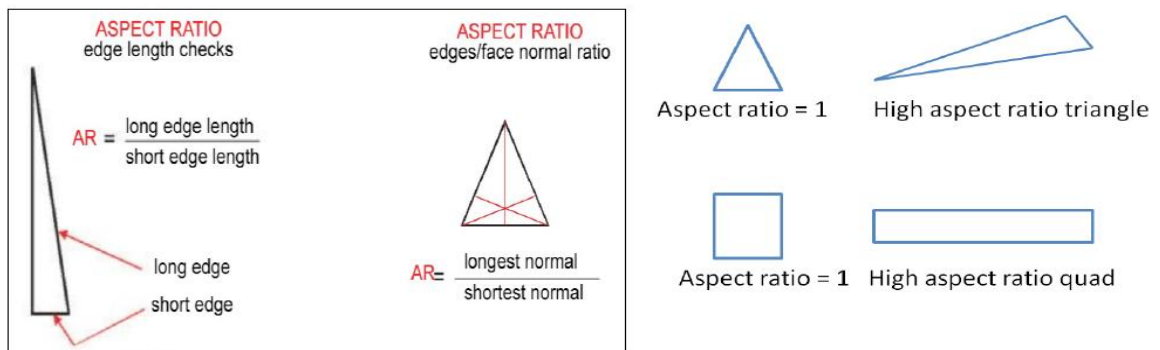


Figura 38: Ràtio d'aspecte dels elements de la malla

Orthogonal quality

$$OQ = \frac{\sum \vec{A}_i \cdot \vec{e}_i}{\sum |\vec{A}_i| |\vec{e}_i|}$$

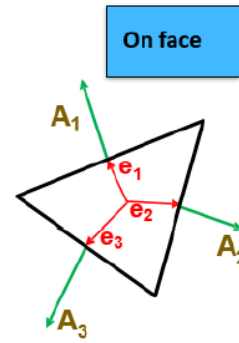


Figura 39: Qualitat ortogonal dels elements de la malla

A la Taula 12 es recullen els resultats dels paràmetres descrits anteriorment.

Taula 12: Mètriques de les malles estudiades

Paràmetre	Malla E2T	Malla E2TSR5	Malla E2TSR10
Max Skewness	0,80	0,88	0,90
Mean Skewness	0,22	0,21	0,20
Max Aspect ratio	11,17	21,66	40,10
Mean Aspect ratio	1,83	2,59	2,51
Min Orthogonal quality	0,20	0,12	0,10
Mean Orthogonal quality	0,78	0,79	0,79

A la Taula 13 , s'indiquen el nombre d'elements totals i el nombre de nodes de cada malla:

Taula 13: Valors estadístics de les malles

Zona	Malla E2T	Malla E2TSR5	Malla E2TSR10
Elements totals	402.4338	1.6125.648	40.138.098
Nodes	5.669.225	25.517.419	68.953.195

A la FFF es mostra un exemple de mallat on s'observen les regions amb diferent densitat d'elements i també les capes prismàtiques del mètode d'inflació.

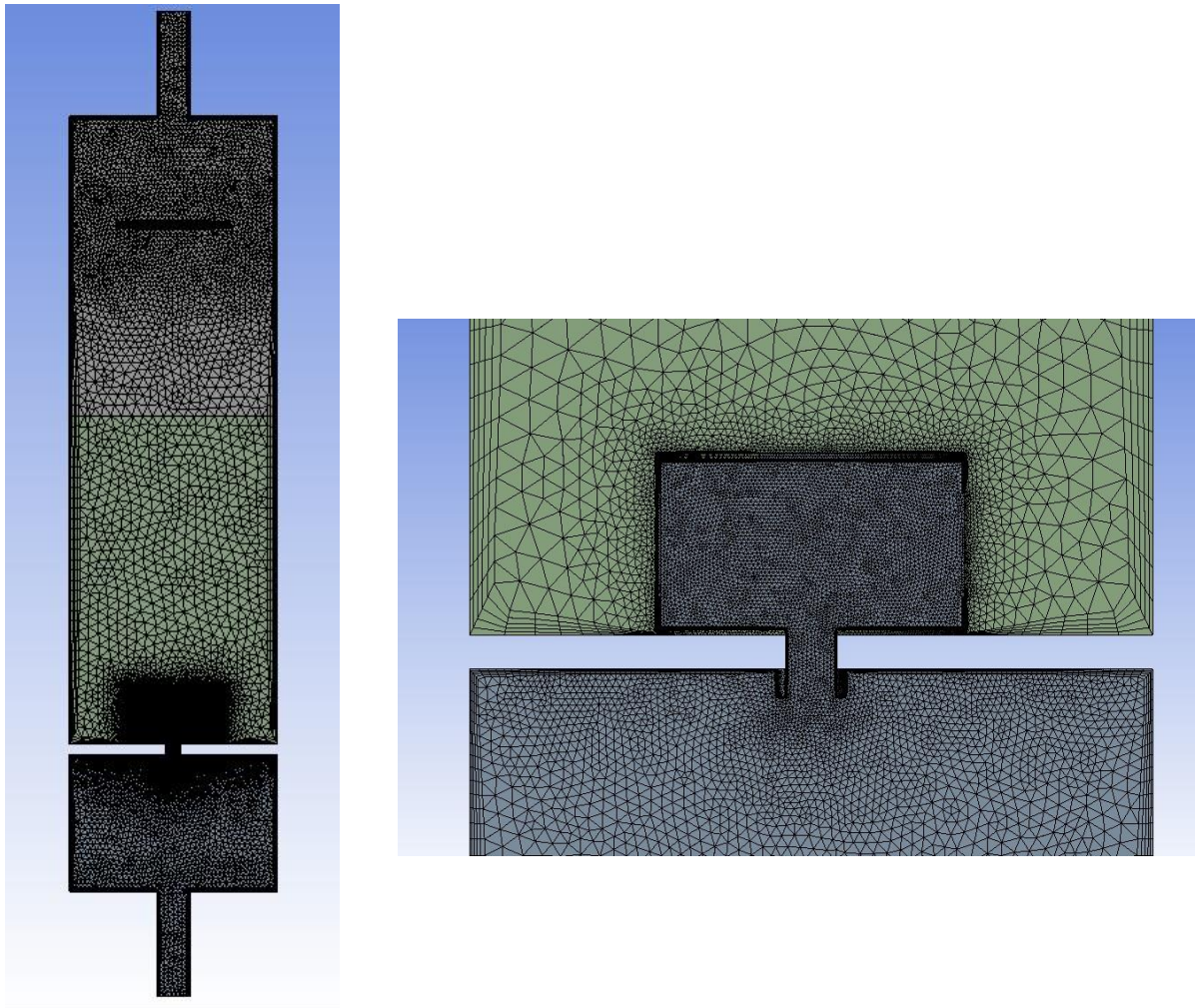


Figura 40: Exemple de mallat del filtre amb la crepina C

ANNEX C: CONFIGURACIÓ DEL MODEL

Per acabar amb la configuració del model, en aquest apartat es tracta el tercer bloc de l'ANSYS-Fluent (veure Figura 33).

El Fluent permet configurar el model amb el bloc *Setup* que trobem en el Project Schematic.

A la Figura 41 podem veure el ventall d'opcions que ens ofereix el programari, en aquest cas s'escull el model de turbulència k-omega.

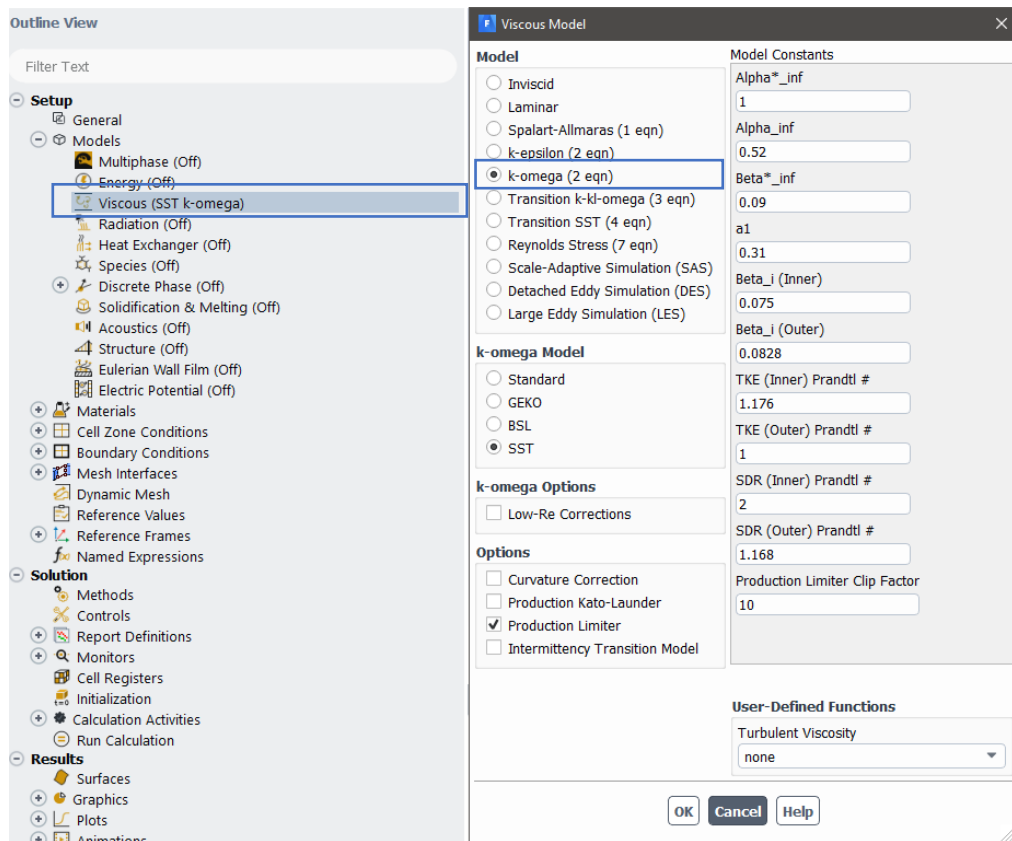


Figura 41: Set UP: Models de turbulència

A continuació, s'introdueixen els paràmetres del medi porós amb l'opció de Cell Zone Conditions. Es poden definir els valors d' $1/\alpha$ (Viscous resistance) i C_2 (Inertial resistance) pels models basats en Darcy o el C_0 i C_1 pels casos en els que utilitzem la llei potencial.

En aquest estudi s'han utilitzat els valors d' $1/\alpha$ i C_2 , i com s'aprecia a la Figura 42, prenen els mateixos valors en les 3 direccions ja que es considera la sorra un medi homogeni.

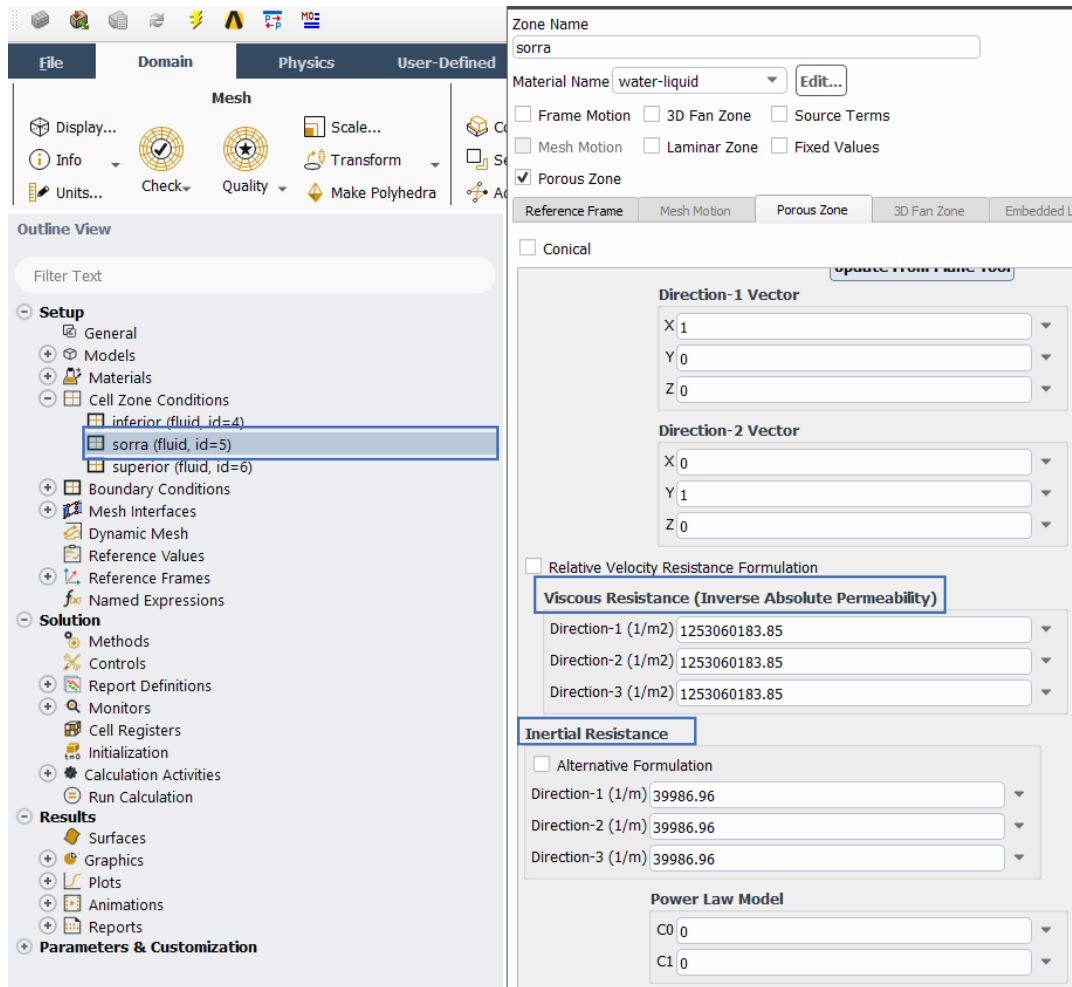


Figura 42: Propietats del medi filtrant

A l'apartat de *boundary conditions* es defineixen les condicions de contorn. Un exemple és la rugositat de les parets del filtre.

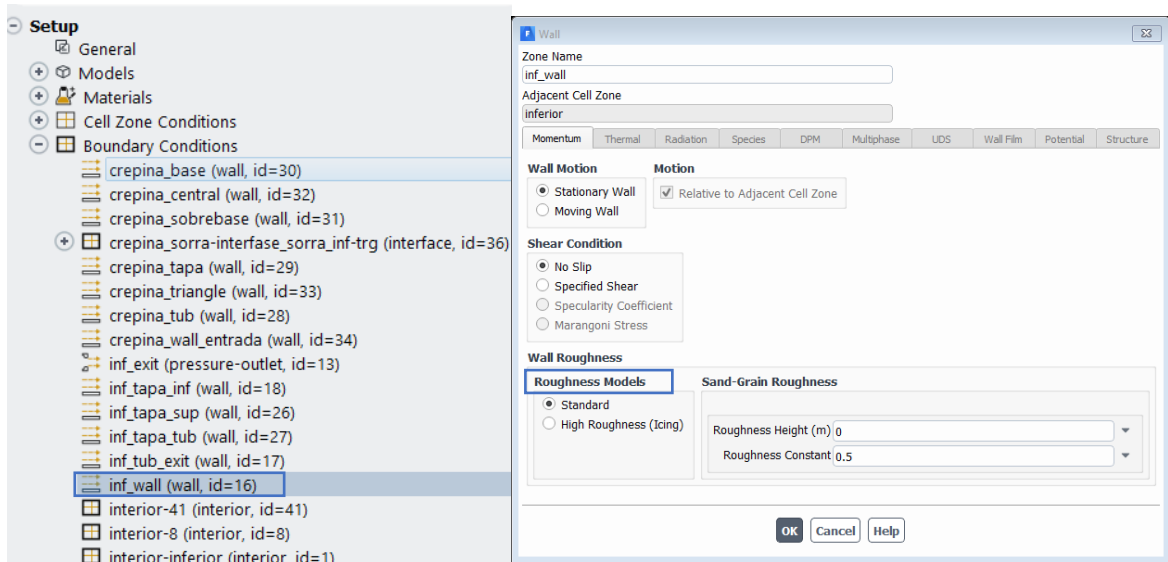


Figura 43: Definició de la rugositat de les parets del filtre

En aquest últim apartat, es configura la *Solution* que ens ofereix el Fluent, fa referència als mètodes numèrics amb els que es treballa: el tipus d'esquema pressió-velocitat i la discretització espacial (Figura 44).

En aquest estudi es treballa amb un esquema acoplat i les discretitzacions de segon ordre, per tal d'obtenir solucions amb més grau de precisió.

The image shows the 'Solution Methods' panel in ANSYS Fluent. It is divided into several sections:

- Pressure-Velocity Coupling:** The 'Scheme' is set to 'Coupled'.
- Spatial Discretization:**
 - Gradient:** 'Least Squares Cell Based'
 - Pressure:** 'Second Order'
 - Momentum:** 'Second Order Upwind'
 - Turbulent Kinetic Energy:** 'Second Order Upwind'
 - Specific Dissipation Rate:** 'Second Order Upwind'
- Transient Formulation:** A dropdown menu is currently empty. Below it, several checkboxes are present:
 - Non-Iterative Time Advancement
 - Frozen Flux Formulation
 - Pseudo Transient
 - Warped-Face Gradient Correction
 - High Order Term RelaxationAn 'Options...' button is located to the right of the 'High Order Term Relaxation' checkbox.

At the bottom of the panel, there is a 'Default' button.

Figura 44: Exemple de mètodes de càlcul

Com a últim pas, es defineixen els reports de sortida de la solució. En aquest estudi es consideren interessants els cabals màssics a l'entrada i la sortida del filtre, i també, els valors de pressió a l'entrada i sortida del sistema, a l'inici del llit de sorra i a l'entrada de les esclatxes de la crepina.

Aquestes lectures s'obtenen gràcies a les variables definides en el *Surface Report Definition* (Figura 45).

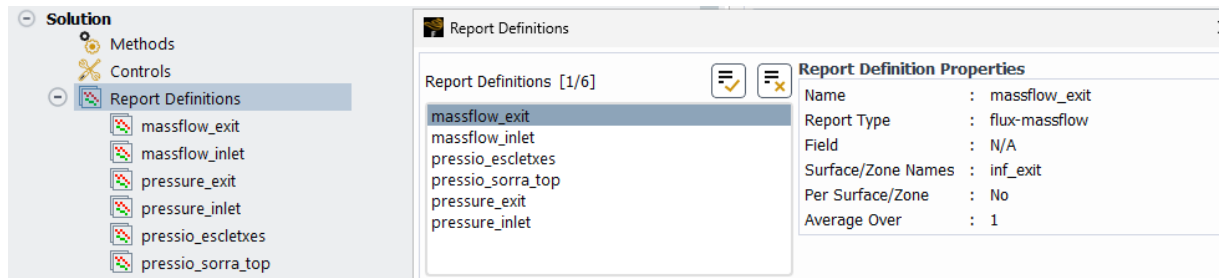


Figura 45: Reports

ANNEX D: RESULTATS DE LES SIMULACIONS

En aquest annex es presenten les taules amb els resums dels resultats de les simulacions.

Taula 14: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina A

Cas crepina A	Entrada-sorra (Pa)	Sorra-esclètxes (Pa)	Esclètxes-sortida (Pa)	Total (Pa)
A-SS1-117-30	11	3.929	1.803	5.744
A-SS1-117-60	38	11.095	7.139	18.272
A-SS1-317-30	12	7.001	1.859	8.872
A-SS1-317-60	40	17.793	7.384	25.217
A-SS2-117-30	11	3.231	1.817	5.060
A-SS2-117-60	38	9.493	7.178	16.709
A-SS2-317-30	11	3.231	1.817	5.060
A-SS2-317-60	38	9.493	7.178	16.709

Taula 15: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina B

Cas crepina B	Entrada-sorra (Pa)	Sorra-esclètxes (Pa)	Esclètxes-sortida (Pa)	Total (Pa)
B-SS1-117-30	11	3.514	1.638	5.162
B-SS1-117-60	38	9.689	6.526	16.253
B-SS1-317-30	12	6.230	1.684	7.926
B-SS1-317-60	39	15.671	6.617	22.328
B-SS2-117-30	11	2.872	1.636	4.519
B-SS2-117-60	37	8.225	6.527	14.789
B-SS2-317-30	11	2.872	1.636	4.519
B-SS2-317-60	37	8.225	6.527	14.789

Taula 16: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina C

Cas crepina C	Entrada-sorra (Pa)	Sorra-esclètxes (Pa)	Esclètxes-sortida (Pa)	Total (Pa)
C-SS1-117-30	11	3.064	1.684	4.759
C-SS1-117-60	39	8.626	6.634	15.299
C-SS1-317-30	12	6.228	1.681	7.921
C-SS1-317-60	39	15.672	6.608	22.319
C-SS2-117-30	11	2.522	1.679	4.211
C-SS2-117-60	38	7.380	6.626	14.044
C-SS2-317-30	11	2.522	1.679	4.212
C-SS2-317-60	38	7.380	6.626	14.044

Taula 17: Resultat de les simulacions dels casos amb la crepina D

Cas crepina D	Entrada-sorra (Pa)	Sorra-esclètxes (Pa)	Esclètxes-sortida (Pa)	Total (Pa)
D-SS1-117-30	11	2.895	1.641	4.547
D-SS1-117-60	37	7.433	6.565	14.036
D-SS1-317-30	11	6.012	1.624	7.647
D-SS1-317-60	37	14.282	6.554	20.873
D-SS2-117-30	11	2.312	1.646	3.968
D-SS2-117-60	37	6.154	6.543	12.734
D-SS2-317-30	11	2.312	1.646	3.968
D-SS2-317-60	37	6.154	6.543	12.734

ANNEX E: COST D'ELABORACIÓ DEL PROJECTE

En aquest apartat del document es fa la valoració econòmica del projecte, tenint en compte els següents costos:

DESCRIPCIÓ	PREU
Costos de desenvolupament i recerca	
<ul style="list-style-type: none">Anàlisi i recerca de la informació necessària per tal de desenvolupar el projecte.	26,5 €/h
<ul style="list-style-type: none">Elaboració dels càlculs i tractament de dades.	36 €/h

Costos d'amortització	
<ul style="list-style-type: none">Amortització dels programes utilitzats pel desenvolupament del projecte: Paquet Microsoft Office, SolidEdge i Ansys.	2,5€/h
<ul style="list-style-type: none">Amortització dels equips utilitzats: ordinador portàtil i estació de treball	0,85 €/h

Costos de redactat i material	
<ul style="list-style-type: none">Redacció del projecte i elaboració dels diferents documents.	32 €/h

Memòria i annexos, Annex E: Cost d'elaboració del projecte

DESCRIPCIÓ	PREU UNITARI	UNITATS	PREU
------------	--------------	---------	------

Desenvolupament i recerca			
Anàlisi i recerca	26,50 €/h	35 h	927,50 €
Programació per l'execució	36,00 €/h	70 h	2.520,00 €

Amortització			
Programes informàtics	2,50 €/h	315 h	787,50 €
Equipament informàtics	0,85 €/h	315 h	267,75 €

Redactat			
Redacció	32,00 €/h	75 h	2.400,00 €

	Subtotal	6.902,75 €
	21% IVA	1449,58 €
	TOTAL	8.352,33 €