



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL: DISSENY D'UN SISTEMA DE FILTRACIÓ CICLÒNICA PER ASPIRADORS MANUALS

AUTORS: ROCA ENRIQUE, GERARD

DATA DE PRESENTACIÓ: Juliol 2023

COGNOMS: Roca Enrique

NOM: Gerard

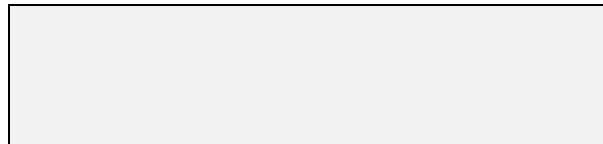
TITULACIÓ: Enginyeria de Disseny Industrial i Desenvolupament de Producte

PLA: 2009

DIRECTOR: Aliau Pons, Joan Josep

DEPARTAMENT: DEGD - Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

QUALIFICACIÓ DEL TFG



<u>TRIBUNAL</u>		
PRESIDENT ESPIN AGUERA, DANIEL	SECRETARI TREJO OMEÑACA, ALEJANDRO	VOCAL SIMO MEZQUITA, ESTER
DATA DE LECTURA: 13 de Juliol		

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

RESUM

Aquest document presenta una síntesi del desenvolupament d'un sistema de filtració ciclònica per aspiradors manuals en el marc d'un projecte de final de grau en enginyeria de disseny industrial i desenvolupament de producte. L'objectiu fonamental consisteix en el desenvolupament d'un sistema de filtració ciclònica que pugui ser integrat en futurs models d'aspiradors manuals. La finalitat és reduir la pèrdua de succió ocasionada per la saturació dels filtres comunament utilitzats, d'aquesta manera, es busca incrementar el rendiment dels aspiradors. En el disseny final, s'espera obtenir valors d'acceleració centrípeta propers als assolits pels sistemes Dyson. A més, s'ha dedicat una atenció especial a la usabilitat del producte, amb l'objectiu de millorar el procés de neteja d'interiors de vehicles i d'espais de difícil accés.

Durant el procés de desenvolupament, s'ha aplicat el mètode de disseny iteratiu, ja que permet provar diferents dissenys, avaluar-los i implementar millores ràpidament basades en els resultats obtinguts. S'han dut a terme anàlisis de fluids per observar el flux d'aire i aconseguir valors numèrics de paràmetres rellevants. A més, s'han emprat tecnologies d'impressió 3D per fabricar prototips funcionals, els quals han estat usats en proves experimentals. En aquestes proves, s'ha analitzat visualment el comportament del flux d'aire mitjançant l'ús de materials translúcids. Els resultats assolits en aquestes proves s'han comparat amb els resultats de les simulacions per extreure conclusions i proposar millores a implementar en les següents iteracions.

Els primers resultats significatius s'han obtingut en la segona iteració de disseny. Les proves experimentals amb el prototip han assolit una retenció de partícules de cafè superior al 90%. Amb aquesta informació com a base, s'ha perfeccionat i definit la geometria interna del disseny final desenvolupat en aquest projecte. Aquest disseny incorpora els components i els encaixos definitius, els quals han estat validats mitjançant un prototip funcional fabricat amb tecnologies d'impressió 3D d'alta precisió.

En conclusió, el sistema de filtració ciclònica dissenyat és capaç de separar i capturar eficaçment les partícules aspirades sense fer ús d'un filtre. El producte dissenyat és versàtil, ja que és capaç d'oferir resultats excel·lents treballant en un ampli rang de potències, facilitant així la seva implementació en diferents aspiradors. Gràcies a la interacció amb el prototip funcional del disseny final també s'ha pogut validar la seqüència d'ús i de muntatge i desmuntatge del sistema. Així doncs, aquest projecte ha proporcionat un punt de partida sòlid, fiable i interessant per a futurs desenvolupaments en el camp de la filtració ciclònica.

Paraules clau:

Aspirador	Filtració	Ciclònic	Impressió 3D
Iteratiu	HEPA	SLS	SLA
CFD			

ABSTRACT

This document presents a summary of the development of a cyclonic filtration system for handheld vacuum cleaners within the framework of a final thesis in industrial design and product development engineering. The main objective is to develop a cyclonic filtration system that can be integrated into future models of handheld vacuum cleaners. The aim is to reduce suction loss caused by the saturation of the filters, thereby increasing the performance of the vacuum cleaners. In the final design, it is expected to achieve centripetal acceleration values close to those achieved by Dyson systems. Additionally, special attention has been given to the usability of the product, with the goal of improving the cleaning process of vehicle interiors and hard-to-reach spaces.

During the development process, an iterative design method has been applied, as it allows for testing different designs, evaluating them, and implementing improvements quickly based on the results. Fluid analysis has been conducted to observe the airflow and obtain numerical values of relevant parameters. Furthermore, 3D printing technologies have been used to manufacture functional prototypes, which have made possible running experimental tests. In these tests, the behaviour of the airflow has been visually analysed using translucent materials. The results obtained in these tests have been compared with the simulation results to draw conclusions and propose improvements to be implemented in subsequent iterations.

The first significant results have been achieved in the second design iteration. The experimental tests with the prototype have achieved a retention of coffee particles above 90%. Based on this information, the internal geometry of the final design developed in this project has been refined. This design incorporates the definitive components and fittings, which have been validated through a functional prototype manufactured with high-precision 3D printing technologies.

To conclude, the designed cyclonic filtration system is capable of separating and capturing aspirated particles without using a filter efficiently. The designed product is versatile, as it is capable of achieving excellent results across a wide range of power levels, facilitating its implementation in different vacuum cleaners. Thanks to the interaction with the functional prototype of the final design, the usage sequence and assembly process of the system have also been validated. Therefore, this project has provided a solid, reliable, and interesting starting point for future developments in the field of cyclonic filtration.

Keywords:

Vacuum	Filtration	Cyclonic	3D Printing
Iterative	HEPA	SLS	SLA
CFD			

SUMARI

1. INTRODUCCIÓ	9
2. OBJECTIUS	10
3. METODOLOGIA DE DESENVOLUPAMENT	12
4. ESTAT DE L'ART	14
4.1 REFERENTS	14
4.2 ANÀLISI DE FORATS I FAMÍLIES	23
5. ESTUDI PREVI DE CONDICIONS DE FLUID	24
6. PLEC DE CONDICIONS	27
6.1 CONSIDERACIONS PRÈVIES AL DISSENY	27
6.2 METODOLOGIA I PROCÉS COMPARATIU DE DISSENYS	28
7. DISSENY CONCEPTUAL	31
7.1 DISSENY CONCEPTUAL CICLÒNIC 1	31
7.2 DISSENY CONCEPTUAL CICLÒNIC 2	32
7.3 MODELATGE 3D I RESULTATS D'ESTUDI CFD	33
7.4 CONSERVACIÓ DE TRAJECTÒRIES DE FLUX	34
8. PRIMERA ITERACIÓ: DISSENY BÀSIC CICLÒNIC 2.....	36
8.1 ANÀLISI PARAMÈTRICA DE GEOMETRIA.....	37
8.2 ANÀLISI I COMPARATIVA DE CONFIGURACIONS DE DISSENY	38
8.3 ESTUDI DE PARTÍCULES.....	39
9. PROTOTIPAT I TESTATGE DE LES CONFIGURACIONS DE DISSENY	43
9.1 DISSENY I FABRICACIÓ DE PROTOTIP	43
9.2 PROVES EXPERIMENTALS I ANÀLISI DE RESULTATS	46
9.2.1 OBSERVACIÓ EXPERIMENTAL DE CICLE COMPLET	46
9.2.2 OBSERVACIÓ EXPERIMENTAL DE CICLE PARCIAL.....	47
9.2.3 CONCLUSIONS I PROPOSTES DE MILLORA.....	50
10. SEGONA ITERACIÓ: REDISSENY I APLICACIÓ DE MILLORES.....	51

10.1	DISSENY CONCEPTUAL CICLÒNIC 4	51
10.2	DISSENY BÀSIC CICLÒNIC 4.....	53
10.3	RESULTATS D'ESTUDI DE SOLIDWORKS FLOW SIMULATOR	54
10.4	ESTUDI DE PARTÍCULES DE DISSENY CICLÒNIC 4.....	56
10.5	PROTOTIP FUNCIONAL DE DISSENY CICLÒNIC 4	58
10.6	RESULTATS EXPERIMENTALS DEL DISSENY CICLÒNIC 4 I APLICACIÓ DE MILLORES	59
11.	DISSENY FINAL DE SISTEMA CICLÒNIC	60
11.1	MUNTATGE DE MÒDULS I COMPONENTS.....	62
11.2	ENCAIXOS MECÀNICS ENTRE COMPONENTS.....	64
11.3	INTEGRACIÓ DEL MÒDUL DE FILTRACIÓ CICLÒNICA AL PRODUCTE.....	67
12.	SEQÜÈNCIA D'ÚS I ERGONOMIA	68
13.	SELECCIÓ DE MATERIALS	72
13.1	REQUISITS DEL MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DELS COMPONENTS.....	73
13.2	ELEMENTS COMERCIALS	81
13.3	MATERIALS DE FABRICACIÓ	82
13.4	TEST EXPERIMENTAL DE SELECCIÓ DE MATERIAL	84
14.	ESTUDI D'ELEMENTS FINITS.....	86
15.	ANÀLISI DE FLUIDS DEL DISSENY FINAL	93
16.	PROPOSTA ESTÈTICA DEL PRODUCTE.....	96
17.	PRESSUPOSTOS	98
17.1	PROJECTE D'ENGINYERIA.....	99
17.2	COSTOS DE MATERIAL	100
17.3	COSTOS DE PRODUCCIÓ	100
17.4	FABRICACIÓ DE MOTLLES.....	100
18.	PRESSUPOST FINAL.....	101
	CONCLUSIONS	102

BIBLIOGRAFIA.....	103
AGRAÏMENTS.....	106

SUMARI DE FIGURES

FIGURA 1. DYSON TRIGGER V7 [1].....	15
FIGURA 2. DYSON TRIGGER V7: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA)	15
FIGURA 3. XIAOMI MI VACUUM CLEANER MINI [2].....	17
FIGURA 4. XIAOMI MI: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA)	17
FIGURA 5. ROWENTA X-TOUCH [3]	18
FIGURA 6. ROWENTA X-TOUCH: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA)	18
FIGURA 7. BRIGII M1 [4].....	19
FIGURA 8. BRIGII M1: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA)	19
FIGURA 9. SHARK WV270EU [5].....	20
FIGURA 10. SHARK WV270EU: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA)	20
FIGURA 11. ROIDMI NANO P1 PRO [6].....	21
FIGURA 12. ROIDMI NANO P1 PRO: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA)	21
FIGURA 13. BRIGII Y120 PRO [7]	22
FIGURA 14. BRIGII Y120 PRO: ANÀLISI DEL PRODUCTE AMB LA PISSARRA VIRTUAL MIRO (FONT PRÒPIA).....	22
FIGURA 15. PARÀMETRES DELIMITADORS DE L'ESTUDI DE PARTÍCULES (FONT PRÒPIA)	29
FIGURA 16. DISSENY CONCEPTUAL CICLONIC1 (FONT PRÒPIA)	31
FIGURA 17. DISSENY CONCEPTUAL CICLONIC2 (FONT PRÒPIA)	32
FIGURA 18. MODEL 3D CONCEPTUAL DE DISSENY CICLÒNIC 1 (FONT PRÒPIA)	33
FIGURA 19. MODEL 3D CONCEPTUAL DE DISSENY CICLÒNIC 2 (FONT PRÒPIA)	33
FIGURA 20. COMPARATIVA DE TRAJECTÒRIES DE FLUID DEL DISSENY C1 I C2 EN FUNCIÓ DE LA VELOCITAT Y (M/S) (FONT PRÒPIA).....	33
FIGURA 21. COMPARATIVA DE TRAJECTÒRIES DE FLUID EN FUNCIÓ DEL DIFERENCIAL DE PRESSIÓ (FONT PRÒPIA)	35
FIGURA 22. MODELAT CAD DE DISSENY BÀSIC CICLONIC2 (FONT PRÒPIA)	36
FIGURA 23. RESULTATS D'ESTUDI PARAMÈTRIC EN FUNCIÓ DE LA CONICITAT (FONT PRÒPIA)	37
FIGURA 24. COMPARATIVA DE LES CONFIGURACIONS EN FUNCIÓ DE LA VELOCITAT (Y) (FONT PRÒPIA)	38
FIGURA 25. RESULTATS ESTADÍSTICS D'ESTUDI DE PARTÍCULES (FONT PRÒPIA).....	39
FIGURA 26. DISTRIBUCIÓ PERCENTUAL DE PARTÍCULES ESCAPADES DEL SISTEMA (FONT PRÒPIA).....	40
FIGURA 27. RITME D'ACUMULACIÓ DE MASSA EN LA SORTIDA DEL SISTEMA (FONT PRÒPIA).....	41
FIGURA 28. PERCENTATGE DE MASSA QUE ESCAPA EL SISTEMA (FONT PRÒPIA).....	41
FIGURA 29. PERCENTATGE TOTAL DE RETENCIÓ DE MASSA (FONT PRÒPIA)	42
FIGURA 30. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ DE PROTOTIP DE DISSENY 1 (FONT PRÒPIA)	44
FIGURA 31. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ DE PROTOTIP DE DISSENY 2 (FONT PRÒPIA)	45
FIGURA 32. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ DE PROTOTIP DE DISSENY 3 (FONT PRÒPIA)	45
FIGURA 33. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ DE PROTOTIP DE CARCASSA EXTERIOR (FONT PRÒPIA)	45
FIGURA 34. PROTOTIP DE CONFIGURACIÓ DE DISSENY 1 (Ø30-Ø30) CICLONIC2 (FONT PRÒPIA).....	47
FIGURA 35. PROTOTIP DE CONFIGURACIÓ DE DISSENY 2 (Ø40-Ø40) CICLONIC2 (FONT PRÒPIA)	48
FIGURA 36. PROTOTIP DE CONFIGURACIÓ DE DISSENY 1 (Ø50-Ø40) CICLONIC2 (FONT PRÒPIA)	48
FIGURA 37. PROTOTIP DE CONFIGURACIÓ DE DISSENY 1 (Ø50-Ø30) CICLONIC2 (FONT PRÒPIA)	49
FIGURA 38. PROTOTIP DE CONFIGURACIÓ DE DISSENY 1 (Ø40-Ø30) CICLONIC2 (FONT PRÒPIA)	49
FIGURA 39. SISTEMA DE FILTRACIÓ CICLÒNIC D'ASPIRADOR DOMÈSTIC POLTI C130. [22].....	51
FIGURA 40. DISSENY CONCEPTUAL CICLONIC 4 (FONT PRÒPIA)	52
FIGURA 41. MODELAT CAD BÀSIC DEL DISSENY CICLONIC 4 (FONT PRÒPIA)	53
FIGURA 42. VELOCITAT I TRAJECTÒRIES DE FLUX DE DISSENY CICLONIC 4 (FONT PRÒPIA)	54

FIGURA 43. VELOCITAT (Y) EN PLANS DE SECCIÓ DEL DISSENY CICLÒNIC 4 (FONT PRÒPIA).....	55
FIGURA 44. RELACIÓ ENTRE FORÇA DE FREGAMENT I FORÇA CENTRÍPETA EN FUNCIÓ DEL RADI DE LA PARTÍCULA (FONT PRÒPIA)	56
FIGURA 45. PERCENTATGE DE MASSA QUE ESCAPA EL SISTEMA (FONT PRÒPIA).....	57
FIGURA 46. COMPARATIVA DE PERCENTATGE TOTAL DE RETENCIÓ DE MASSA DELS DISSENY DESENVOLUPATS (FONT PRÒPIA)	57
FIGURA 47. MODEL CAD DEL PROTOTIP FUNCIONAL DEL DISSENY CICLÒNIC 4 (FONT PRÒPIA).....	58
FIGURA 48. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ SLA DE COMPONENTS DEL PROTOTIP FUNCIONAL CICLÒNIC 4 (FONT PRÒPIA)	58
FIGURA 49. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ SLS DE COMPONENTS DEL PROTOTIP FUNCIONAL CICLÒNIC 4 (FONT PRÒPIA)	59
FIGURA 50. (VISTA DE SECCIÓ). MILLORES DEL DEFLECTOR D'AIRE: REDUCCIÓ DE QUATRE A TRES ENTRADES AMB SECCIÓ DE PAS MÉS GRAN. (FONT PRÒPIA).....	60
FIGURA 51. (VISTA DE SECCIÓ). REDUCCIÓ DEL DIÀMETRE DEL FILTRE CENTRAL I REDUCCIÓ DEL NÚM. D'ORIFICIS EN L'ENTRADA DEL CICLÓ PER AUGMENTAR LA VELOCITAT DEL FLUX. (FONT PRÒPIA).....	60
FIGURA 52. CONICITAT EN LA BASE DEL DIPÒSIT PER FACILITAR LA CANALITZACIÓ DE LES PARTÍCULES ASPIRADES. (FONT PRÒPIA).....	60
FIGURA 53. COMPARATIVA DE DISSENY CICLÒNIC 4 I DISSENY FINAL. (FONT PRÒPIA).....	61
FIGURA 54. VISTA ESCLATADA: COMPONENTS DEL DISSENY FINAL DEL SISTEMA DE FILTRACIÓ CICLÒNICA (FONT PRÒPIA)	62
FIGURA 55. SUBMÒDUL D'EMBOCADURA I VÀLVULA ANTIRETORN (FONT PRÒPIA).....	63
FIGURA 56. SUBMÒDUL INTERN DE FILTRACIÓ CICLÒNICA. MUNTATGE I EXPLOSIONAT (FONT PRÒPIA).....	63
FIGURA 57. FIXACIÓ AMB CARGOLS REMFORM DE 2,5MM DE LA VÀLVULA ANTIRETORN A L'EMBOCADURA (FONT PRÒPIA)	64
FIGURA 58. ENCAIX DE GUIA ENTRE L'EMBOCADURA I CARCASSA EXTERIOR (FONT PRÒPIA)	64
FIGURA 59. ENCAIX DEL MÒDUL CICLÒNIC INTERIOR I LA CARCASSA EXTERIOR (FONT PRÒPIA).....	65
FIGURA 60. FIXACIÓ AMB CARGOLS REMFORM DE 2,5MM DEL DEFLECTOR D'AIRE I EL FILTRE CENTRAL (FONT PRÒPIA)	65
FIGURA 61. ENCAIX DEL DISC ESTABILITZADOR AMB EL FILTRE CENTRAL (FONT PRÒPIA)	66
FIGURA 62. FIXACIÓ MAGNÈTICA DEL DIPÒSIT AMB EL MÒDUL INTERN DE FILTRACIÓ (FONT PRÒPIA).....	66
FIGURA 63. PROPOSTA D'ENCAIX DEL MÒDUL DE FILTRACIÓ CICLÒNICA AMB EL CONJUNT DE L'ASPIRADOR. (FONT PRÒPIA)	67
FIGURA 64. INDICACIONS DE MUNTATGE I DESMUNTATGE DE L'EMBOCADURA (FONT PRÒPIA).....	69
FIGURA 65. INDICACIONS DE MUNTATGE I DESMUNTATGE DEL MÒDUL DE FILTRACIÓ CICLÒNICA (FONT PRÒPIA)	69
FIGURA 66. PESTANYES DE SUBJECCIÓ DEL MÒDUL INTERN DE FILTRACIÓ CICLÒNICA (FONT PRÒPIA)	71
FIGURA 67. EMBOCADURA DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA)	74
FIGURA 68. VÀLVULA ANTIRETORN DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA).....	75
FIGURA 69. CARCASSA EXTERIOR DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA).....	76
FIGURA 70. FILTRE CENTRAL DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA).....	77
FIGURA 71. DEFLECTOR D'AIRE DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA)	78
FIGURA 72. DIPÒSIT INTERN DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA).....	79
FIGURA 73. ESTABILITZADOR DE FLUX DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA).....	80
FIGURA 74. CARGOL AUTOROSCANT REMFORM 2,5x8MM TORX PLUS® [24].....	81
FIGURA 75. DISSENY DE MOTLLE D'INJECCIÓ IMPRÈS EN 3D PER LA VÀLVULA ANTIRETORN (FONT PRÒPIA)	85

<i>DIRECTION AND CYLINDRICAL HANDLE DIAMETER ON THE COUPLING BETWEEN THE HAND AND A CYLINDRICAL HANDLE. JOURNAL OF BIOMECHANICS [37].....</i>	86
FIGURA 76. DIAGRAMA DE COS LLIURE: FIXACIONS, FORCES I MOMENTS APLICATS EN L'EMBOCADURA (FONT PRÒPIA)	87
FIGURA 77. TENSIONS MÀXIMES (MPA) CONCENTRADES ENTORN LES PESTANYES DE FIXACIÓ DE L'EMBOCADURA (FONT PRÒPIA).....	87
FIGURA 78. DEFORMACIÓ UNITÀRIA DEL MATERIAL (FONT PRÒPIA)	88
FIGURA 79. DESPLAÇAMENTS MÀXIMS DE DEFORMACIÓ DEL MATERIAL (MM) (FONT PRÒPIA).....	88
FIGURA 80. TENSIONS MÀXIMES EN LES GUIES DE FIXACIÓ GENERADES POR UN MOMENT TORÇOR DE 2Nm (FONT PRÒPIA)	89
FIGURA 81. DEFORMACIÓ UNITÀRIA MÀXIMA DEL 0,18% RESULTANT D'UN MOMENT DE 2Nm (FONT PRÒPIA)	89
FIGURA 82. CONDICIONS DE SIMULACIÓ: A) FIXACIONS DEL MODEL; B) APLICACIÓ DE FORCES; C) RESOLUCIÓ DE MALLA (FONT PRÒPIA)	90
FIGURA 83. TENSIONS MÀXIMES EN LES GUIES DE FIXACIÓ AMB UNA CÀRREGA DE 100N (FONT PRÒPIA).....	90
FIGURA 84. DEFORMACIÓ MÀXIMA (MM) DE LES GUIES DE FIXACIÓ DE LA CARCASSA EXTERIOR (FONT PRÒPIA)	91
FIGURA 85. ISO-SUPERFÍCIE: TENSIONS SUPERIORS AL LÍMIT ELÀSTIC, GENERADES PEL DESPLAÇAMENT PRESCRIT DE LA FLETXA MÀXIMA DE FLEXIÓ (FONT PRÒPIA)	91
FIGURA 86. DEFORMACIONS UNITÀRIES GENERADES PEL DESPLAÇAMENT PRESCRIT DE LA FLETXA MÀXIMA DE FLEXIÓ. (FONT PRÒPIA).....	92
FIGURA 87. TRAJECTÒRIES DE FLUID I VELOCITAT MÀXIMA (M/S) AMB DIFERENCIAL DE PRESSIÓ DE 6 kPa. (FONT PRÒPIA)	93
FIGURA 88. TRAJECTÒRIES DE FLUID I VELOCITAT MÀXIMA (M/S) AMB DIFERENCIAL DE PRESSIÓ DE 20 kPa. (FONT PRÒPIA)	93
FIGURA 89. VELOCITAT (Y) EN TALLS DE SECCIÓ DEL DISSENY FINAL AMB 6 kPa (FONT PRÒPIA).....	94
FIGURA 90. VELOCITAT (Y) EN TALLS DE SECCIÓ DEL DISSENY FINAL AMB 20 kPa (FONT PRÒPIA)	94
FIGURA 91. RENDERITZAT DE VISTA LATERAL-FRONTAL DEL PRODUCTE (FONT PRÒPIA)	96
FIGURA 92. RENDERITZAT DE VISTA SUPERIOR DEL PRODUCTE (FONT PRÒPIA).....	96
FIGURA 93. RENDERITZAT DE VISTA LATERAL-POSTERIOR DEL PRODUCTE (FONT PRÒPIA)	97
FIGURA 94. RENDERITZAT DE VISTA ESCLATADA DEL PRODUCTE (FONT PRÒPIA).....	97

SUMARI DE TAULES

TAULA 1. FORTALESES I DEBILITAT DYSON TRIGGER V7 (FONT PRÒPIA)	16
TAULA 2. FORTALESES I DEBILITATS XIAOMI MI VACUUM CLEANER MINI (FONT PRÒPIA).....	17
TAULA 3. FORTALESES I DEBILITATS ROWENTA X-TOUCH (FONT PRÒPIA)	18
TAULA 4. FORTALESES I DEBILITATS DE BRIGII M1 (FONT PRÒPIA)	19
TAULA 5. FORTALESES I DEBILITATS DEL MODEL SHARK WV270EU (FONT PRÒPIA)	20
TAULA 6.FORTALESES I DEBILITATS DEL MODEL ROIDMI NANO P1 PRO (FONT PRÒPIA)	21
TAULA 7.FORTALESES I DEBILITATS DEL MODEL BRIGII Y120 PRO (FONT PRÒPIA)	22
TAULA 8. FORATS I FAMÍLIES D'APORTACIÓ DE VALOR AFEGIT (FONT PRÒPIA)	23
TAULA 9. PROPIETATS FÍSQUES DE PARTÍCULES IDEALS (FONT PRÒPIA)	24
TAULA 10. CÀLCUL DE VELOCITAT DE FLUX D'AIRE NECESSÀRIA A L'EMBOCADURA DE L'ASPIRADOR (FONT PRÒPIA) ..	25
TAULA 11. CÀLCUL D'ACCELERACIÓ I FORÇA CENTRÍPETA (FONT PRÒPIA)	26
TAULA 12. CÀLCUL DE VELOCITAT TANGENCIAL DEL CICLÓ EN FUNCIÓ DEL RADI (FONT PRÒPIA)	26
TAULA 13. VALORS ESTADÍSTICS DE L'ESTUDI DE PARTÍCULES (FONT PRÒPIA)	56
TAULA 14. LLISTAT DE COMPONENTS DEL DISSENY FINAL (FONT PRÒPIA)	62
TAULA 15.SEQÜÈNCIA DE BUIDATGE DEL DIPÒSIT INTERN (FONT PRÒPIA)	68
TAULA 16. SEQÜÈNCIA DE DESMUNTATGE PER LA NETEJA DELS FILTRES (FONT PRÒPIA)	70
TAULA 17. REQUISITS DE MATERIAL GENÈRICS PER TOTS ELS COMPONENTS DEL MÒDUL (FONT PRÒPIA)	73
TAULA 18. REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DE L'EMBOCADURA (FONT PRÒPIA)	74
TAULA 19. REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DE LA VÀLVULA ANTIRETORN (FONT PRÒPIA)	75
TAULA 20. REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DE LA CARCASSA EXTERIOR (FONT PRÒPIA)	76
TAULA 21.REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DEL FILTRE CENTRAL (FONT PRÒPIA).....	77
TAULA 22. REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DEL DEFLECTOR D'AIRE (FONT PRÒPIA)	78
TAULA 23.REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DEL DIPÒSIT INTERN (FONT PRÒPIA).....	79
TAULA 24. REQUISITS ESPECÍFICS DE MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DE L'ESTABILITZADOR DE FLUX (FONT PRÒPIA)	80
TAULA 25. TAULA COMPARATIVA DE MATERIALS (FONT PRÒPIA)	83
TAULA 26. COMPARATIVA DE PROPIETATS DEL MATERIAL SEBS: SHORE A50 VS SHORE A90	84
TAULA 27. MOMENT TORÇOR MESURAT EN FUNCIÓ DEL SEXE, DIRECCIÓ I DIÀMETRE	86
TAULA 28. CÀLCUL DE VELOCITAT TANGENCIAL DEL CICLÓ EN FUNCIÓ DEL RADI (FONT PRÒPIA)	95
TAULA 29. COSTOS ASSOCIATS AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE (FONT PRÒPIA)	99
TAULA 30. COST DE MATERIAL D'UN SISTEMA D'ASPIRACIÓ CICLÒNICA (FONT PRÒPIA)	100
TAULA 31. COSTOS ASSOCIATS AL PROCÉS DE FABRICACIÓ (FONT PRÒPIA)	100
TAULA 32. COSTOS DE MOTLLES D'INJECCIÓ I UTILLATGES (FONT PRÒPIA)	101
TAULA 33. COST TOTAL A REPERCUTIR EN EL PREU DE VENDA DE 10.000 UNITATS (FONT PRÒPIA)	101
TAULA 34. PVP D'UN SISTEMA DE FILTRACIÓ CICLÒNICA (FONT PRÒPIA)	101

GLOSSARI D' ABREVIATURES, ACRÒNIMS I TERMES

3D	3 Dimensions	3 Dimensions
CAD	Computational Aided Design	Disseny assistit per ordinador
CFD	Computacional Fluid Dynamics	Dinàmica de fluids computacional
SLA	Stereolithography	Estereolitografia
SLS	Selective Laser Sintering	Sinterització Selectiva per Làser
HEPA	High Efficiency Particulate Air (filtre)	Filtre de partícules d'aire d'alta eficiència

1. INTRODUCCIÓ

Actualment, el mercat d'aspiradors manuals està dominat per productes econòmics, generalment senzills, on en destaca el minimalisme i que han estat optimitzats per reduir costos de fabricació i de desenvolupament. Els requisits dimensionals propis d'un aspirador manual en dificulten la implementació de tecnologia innovadora per dur a terme la funció principal d'aspiració i captura de brutícia, ja que el producte ha de ser petit i lleuger. En predomina l'ús de filtres HEPA que es poden netejar amb aigua, que ofereixen simplicitat, lleugeresa i bon rendiment a curt termini, però que requereixen ser canviats després de 3 mesos d'ús i d'operacions de neteja recurrents per tal de revertir la saturació provocada per l'acumulació de partícules entre les fibres.

Per altra banda, en el sector d'aspiradors domèstics, que solen ser més grans i potents, s'ha popularitzat la implementació de tecnologia d'aspiració ciclònica. Dyson, el principal precursor d'aquesta tecnologia, s'ha fet lloc al mercat oferint productes d'alta gamma, implementant un sistema ciclònic que ofereix prestacions excepcionals, i que amb els anys, ha permès consolidar el reconeixement de la marca com a líder en el sector. Així doncs, es descobreix l'oportunitat d'implementar tecnologia de filtració ciclònica en aspiradors manuals que puguin ser comercialitzats a un preu assequible per la major part del públic objectiu.

Degut a la mateixa durada d'un treball final de grau, l'abast d'aquest projecte es limita exclusivament a desenvolupar un sistema ciclònic modular i compacte, el més petit i lleuger possible, que pugui ser integrat fàcilment en el disseny de nous aspiradors manuals. En la fase de desenvolupament descrita en aquest document, es defineixen les característiques formals i funcionals que permeten la correcta separació i retenció de les partícules aspirades, així com garantir una bona usabilitat del mòdul de filtració.

Aquest document s'estructura segons el mètode de disseny iteratiu que s'ha implementat. Per tant, el cos d'aquesta memòria consta, principalment, de dues iteracions de disseny on es defineixen i perfeccionen les característiques formals del producte segons els resultats obtinguts en el procés d'avaluació. Finalment, corresponent a l'últim procés iteratiu, es presenta el disseny final on s'han definit totes les característiques formals i funcionals que permeten assolir els objectius plantejats.

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest projecte d'enginyeria és dissenyar, prototipar i avaluar el funcionament d'un sistema de filtració ciclònica modular que pugui ser implementat en aspiradors manuals. Mitjançant aquest sistema es pretén millorar significativament la capacitat d'aspiració, filtració i captura de la pols i partícules dels aspiradors manuals existents en el mercat, reduint la pèrdua de rendiment i la capacitat d'aspiració associada a la saturació del filtre HEPA, comunament usat en aquests productes.

Per tal d'assolir l'objectiu principal, cal plantejar els següents objectius específics:

1. Investigar i analitzar referents per tal de comprendre els principis de funcionament dels sistemes de filtració ciclònica i la seva implementació en productes més petits, com és el cas dels aspiradors manuals. Cal analitzar les tecnologies existents i les millors pràctiques del mercat, tant en el camp de la filtració ciclònica, com en el sector d'aspiradors manuals que utilitzen, o no, aquesta tecnologia.
2. Dissenyar un sistema de filtració ciclònica adaptat als requisits i característiques formals i funcionals d'un aspirador manual. Cal considerar aspectes com la mida del sistema i el context d'ús. El sistema de filtració no pot ser massa voluminós i pesat; i ha de contemplar la seqüència d'ús i interacció amb l'usuari. També cal definir les condicions de fluid necessàries i determinar si és possible assolir-les o no amb els sistemes d'alimentació disponibles en el mercat, i considerar els materials i processos de fabricació perquè puguin suportar els requisits ambientals i mecànics que hi pugui haver.
3. Dur a terme simulacions de fluids i comparar els resultats per determinar, en etapes inicials de desenvolupament, la capacitat de creació d'un cicló i les seves característiques. Fer ús de la metodologia de disseny iteratiu per tal de poder implementar ràpidament les millores necessàries en funció dels resultats obtinguts.
4. Avaluar experimentalment, mitjançant l'ús de prototips senzills obtinguts amb tecnologies d'impressió 3D, el funcionament dels dissenys desenvolupats per tal de comparar aspectes funcionals com la capacitat de retenció de partícules, el risc d'obstrucció per acumulació de matèria o la pèrdua de succió a l'embocadura del sistema.
5. Optimitzar el disseny del sistema de filtració ciclònica en funció dels resultats assolits en les proves experimentals. S'aplicaran modificacions i millores en el disseny inicial per augmentar l'eficiència de filtració i minimitzar la pèrdua de pressió.
6. Desenvolupar un prototip funcional del disseny final que pugui ser integrat en aspiradors existents per tal de validar el funcionament i capacitat de retenció de partícules, així com el procés de muntatge, desmuntatge i la seqüència d'ús del sistema ciclònic. Cal definir un sistema de muntatge que faciliti la integració d'aquest mòdul de filtració amb els nous aspiradors desenvolupats
7. Realitzar proves de validació de disseny en condicions reals d'ús amb el prototip funcional. S'avaluarà el rendiment del sistema ciclònic en situacions pràctiques, amb diferents superfícies a aspirar i diferents tipus de partícules que puguin trobar-se en l'entorn.

8. Documentar el procés de disseny i el desenvolupament dels prototips i proves experimentals realitzades. Elaborar un informe tècnic que permeti la correcta comprensió de les tasques executades, dels resultats obtinguts, i del compliment o no dels objectius establerts.

Amb els objectius establerts, s'espera definir una estratègia de disseny que faci possible el desenvolupament d'un sistema de filtració ciclònica, funcional i viable, que permeti la implementació d'aquesta tecnologia en productes de mitjana gamma assequibles per un públic més ampli.

3. METODOLOGIA DE DESENVOLUPAMENT

En aquest projecte s'ha utilitzat la metodologia de disseny iteratiu. Aquesta metodologia sistemàtica i flexible es basa en la idea que el disseny òptim no pot ser assolit en una sola iteració, sinó que requereix diversos cicles de disseny, evolució i millora. Aquesta metodologia permet abordar gradualment els problemes complexos els quals s'afronta aquest projecte, de manera que el disseny evoluciona a mesura que s'obté coneixement nou o s'identifiquen possibles millores.

En el disseny d'un sistema d'aspiració i filtració ciclònica, on la funció principal és aspirar, separar, i retenir les partícules, és essencial validar la geometria d'un disseny conceptual, en funció de l'efecte que té sobre les trajectòries de fluid. Per aquest motiu, els dissenys conceptuals són ràpidament avaluats en funció de les simulacions de fluids realitzades. En els casos on els resultats han estat favorables s'ha procedit amb les següents fases, tal com estableix el mètode.

La metodologia de disseny iteratiu generalment consta de les següents fases:

1. Definició de requisits i objectius: En aquesta fase inicial, s'estableixen els requisits i objectius del projecte. Es recopila informació sobre les necessitats del client, l'estat de l'art, les restriccions tècniques i les especificacions del producte o sistema a dissenyar. És important obtenir una comprensió clara dels objectius per guiar el procés de disseny iteratiu.

2. Disseny conceptual: En aquesta etapa, es generen i s'avaluen diferents dissenys conceptuals en funció del comportament de l'aire. L'eina utilitzada per avaluar el potencial assoliment de la funció principal és el Solidworks Flow Simulation. També es poden emprar tècniques com ara la pluja d'idees, els mapes mentals o el prototipatge ràpid, entre d'altres, per explorar idees i obtenir conclusions addicionals als resultats estrictament aerodinàmics. L'objectiu és generar múltiples dissenys i seleccionar els més prometedors per al seu posterior desenvolupament.

3. Disseny detallat: En aquesta fase, en cas que els resultats de les simulacions inicials siguin prometedors, s'elabora un disseny detallat basat en el concepte seleccionat. Es desenvolupen models 3D per tal d'aconseguir resultats més fiables en les simulacions, i es desenvolupen prototips funcionals per poder fer proves experimentals. És important tenir en compte els criteris de rendiment, els aspectes ergonòmics, els requisits propis del procés de fabricació del prototip, que en aquest cas és la impressió 3D SLA i SLS, i els materials a utilitzar.

4. Avaluació i proves: Una vegada s'ha aconseguit un disseny 3D detallat, es realitzen simulacions de major resolució, que requereixen més temps de càlcul computacional, però que ofereixen resultats més fiables. Això implica sotmetre el disseny a proves de rendiment, proves d'usabilitat i proves de compliment de requisits. Els resultats de les proves s'utilitzen per identificar possibles deficiències o millores necessàries. En última instància, els resultats de les proves permetran determinar quin disseny és el més bo, en cas de treballar en diferents variants.

5. Iteracions i refinament: En aquesta etapa, es repeteixen les fases de disseny detallat, d'avaluació i de retroalimentació. Es fan iteracions addicionals per millorar el disseny en funció dels resultats obtinguts. Cada iteració contribueix a refinar el disseny i apropar-lo a la solució òptima.

6. Finalització i lliurament: Un cop s'ha assolit un disseny satisfactori, es completa la fase d'iteracions i es procedeix a finalitzar el disseny. S'elabora la documentació

necessària, es preparen els plànols finals i es realitza qualsevol ajust final necessari. El producte o, en aquest cas, el sistema dissenyat es lliura al client o es passa a la fase de producció, segons sigui el cas.

En aquest projecte, la metodologia de disseny iteratiu presenta els següents avantatges:

- Millora la qualitat del disseny: La iteració de les fases de disseny ofereix l'oportunitat de detectar i corregir errors, així com detectar i realitzar millores progressives, ja que cada iteració ofereix nous coneixements. En última instància, el disseny assolit és sòlid i de major qualitat.
- Adaptabilitat: El mètode iteratiu s'adapta fàcilment als canvis que requereixen els nous requisits que puguin sorgir, o les noves necessitats que s'identifiquen durant el procés de disseny i avaluació. La millora contínua proporciona una major flexibilitat i capacitat de resposta davant aquests canvis, sent especialment útil en projectes complexos on es requereix constant evolució per tal d'assolir un disseny òptim.
- Estalvi de temps i recursos: Tot i que el desenvolupament de múltiples cicles iteratius és un procés costós que pot allargar la duració d'un projecte, a la llarga, pot estalviar temps i diners gràcies a la detecció d'errors en les etapes inicials de desenvolupament. Alhora, la millora contínua i la retroalimentació dels resultats d'avaluació redueix el risc d'errors i endarreriments significatius.
- Estimulació de la creativitat i la innovació: En fomentar l'exploració i desenvolupament de diferents perspectives i solucions de dissenys en cada cicle iteratiu, es promou la generació de noves idees i la recerca d'informació. Això pot donar lloc a l'aplicació de noves idees, innovant en el disseny existent i donant lloc a un disseny final creat a partir de solucions més eficients i efectives.
- Major satisfacció del client: Aquesta metodologia permet al client col·laborar significativament en l'aportació de feedback durant tot el procés de disseny. A mesura que el disseny evoluciona, el client pot aportar comentaris i suggeriments, garantint d'aquesta manera que el producte final s'ajusti als seus requisits, expectatives i necessitats.

En conclusió, la metodologia de disseny iteratiu proporciona un enfocament estratègic valuós per projectes d'enginyeria, com és en aquest cas, el disseny i desenvolupament d'un sistema de filtració ciclònica per un aspirador manual. En permetre la implementació de millores graduals, l'adaptabilitat als canvis, l'estalvi de temps i recursos, l'estimulació de la creativitat i la satisfacció del client, aquesta metodologia contribueix en el desenvolupament de dissenys de major qualitat, i en l'obtenció de resultats satisfactoris en el projecte.

4. ESTAT DE L'ART

En aquest apartat es desenvolupa una anàlisi de l'Estat de l'Art d'aspiradors manuals, utilitzats sovint en la neteja interior de vehicles. L'objectiu és determinar quines característiques formals i funcionals predominen en el mercat, detectar pràctiques i tecnologies innovadores i definir la tendència del mercat. L'anàlisi d'enginyeria inversa de cada referent seleccionat i la creació d'un quadre funcional ens permetrà detectar oportunitats d'innovació i d'aportació de valor afegit en el producte.

En el mercat d'aspiradors manuals sense fil ha augmentat molt la competència en els últims anys. Actualment, es poden trobar productes en un rang força variat de qualitat-preu. És difícil detectar una finestra de posicionament per un nou producte que destaquí notablement respecte a la resta. En la majoria dels casos, les tecnologies emprades són poc innovadores i predomina el minimalisme i senzillesa formal dels productes. Hi ha un gran nombre de similituds en els productes, de manera que aquests poden ser fàcilment classificats en grups d'afinitat.

Les principals fonts d'informació d'aquestes anàlisis són les dades tècniques proporcionades pel fabricant, la inspecció visual dels elements que formen el producte mitjançant imatges i vídeos fets pel mateix fabricant o per usuaris del producte, així com l'opinió de clients o fòrums en línia especialitzats a dur a terme comparatives detallades de productes.

En el procés de selecció de referents s'ha evitat ser excessivament selectiu per garantir l'abundància de possibles fonts d'inspiració, i d'exemples de diferents solucions tècniques a problemes comuns. Els principals requisits de selecció d'aspiradors referents han estat els següents:

- Ha de tenir bona usabilitat en un context de neteja d'interior de vehicles.
- Ha de ser manual, sense fil, lleuger i de dimensions reduïdes.

A causa del gran nombre de productes que compleixen aquestes condicions, addicionalment, per reduir el mostreig, s'ha tingut en compte la popularitat i èxit de vendes del producte en qüestió, el prestigi de la marca, les ressenyes de clients i la classificació en fòrums comparatius.

Des d'un punt de vista metòdic, s'ha optat per tractar la informació inicialment de forma visual fent ús d'una pissarra digital en l'aplicació Miro. Per cada producte seleccionat s'ha creat un marc on s'han agrupat les imatges en grups d'afinitat. Les imatges mostren el conjunt del producte, alguns dels seus components, i especificacions tècniques. Seguidament, s'ha complementat cada marc informatiu de cada referent afegint notes de text. Aquesta informació ha permès comparar diferents característiques dels productes simultàniament i afavoreix l'anàlisi des d'un punt de vista formal i funcional.

4.1 REFERENTS

A continuació es presenta la informació sintetitzada de l'anàlisi de cada referent en una matriu de fortaleces i debilitats. Per analitzar cada referent s'ha creat un quadre d'imatges mitjançant la pissarra digital Miro. Les imatges es poden observar en major qualitat en l'Annex 01: Estudi de referents i quadre funcional.

A. Dyson Trigger V7

L'aspiradora Dyson Trigger V7 és l'aspiradora sense fil més petita que ha desenvolupat aquest fabricant. És coneguda per la seva elevada potència de succió, autonomia i lleugeresa considerant el seu volum. La tecnologia d'aspiració ciclònica desenvolupada per Dyson li permet reduir notablement la pèrdua de succió, ja que prescindeix de filtre per separar la brutícia del flux d'aire.

Dyson ha enfocat el disseny dels seus aspiradors per ús domèstic, però degut a la diversitat d'adaptadors que incorpora aquest model, un ús comú és la neteja interior de vehicles o en altres espais reduïts.



Figura 1. Dyson Trigger V7 [1]

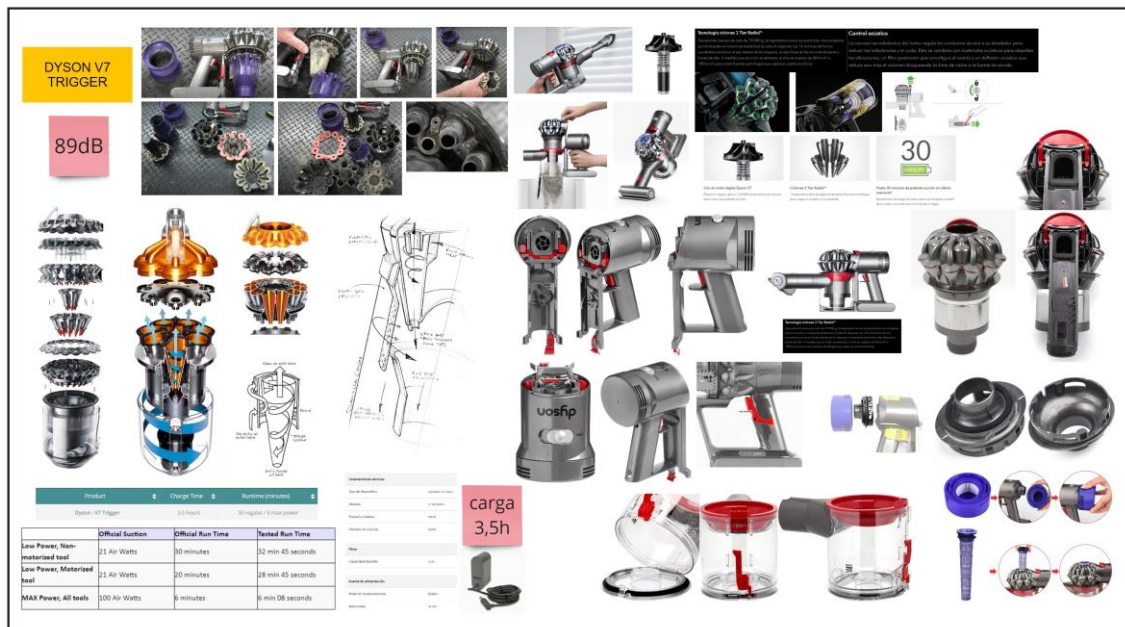


Figura 2. Dyson Trigger V7: Anàlisi del producte amb la pissarra virtual Miro (font pròpia)

FORTALESES	DEBILITATS
<ul style="list-style-type: none">• Poc voluminós i lleuger (0,5 kg)• Filtre HEPA rentable amb protecció metàl·lica• Fàcil neteja de filtre i buidat del dipòsit (mecànic)• Diversitat d'adaptadors• 2 modes de potència• Soroll moderat (75 dB)• Alta autonomia (30 min)• Poques peces• Preu moderat (~50 €)• Sense fil amb càrrega per cable Type-C	<ul style="list-style-type: none">• Dipòsit de baixa capacitat (0,1 L)• Possible pèrdua de succió

Taula 1. Fortaleses i debilitat Dyson Trigger V7 (font pròpia)

C. Rowenta X-Touch

Rowenta és una marca alemanya especialitzada en la fabricació de petits electrodomèstics. Els anys d'experiència en el desenvolupament d'aspiradors manuals donen lloc a un producte més ben acabat, i complexa que la majoria dels competidors. Per altra banda, les especificacions tècniques no destaquen d'entre els altres referents.



Figura 5. Rowenta X-Touch [3]

Rowenta X-Touch

83dB

Product	Min Weight (Lbs)	Min Weight (Lbs) @ 10% battery	Min Suction Distance (in)	Dirty Cleaning	Spot Cleaning	Sound (dB)
Dyson V7 Trigger	16*	12	1.5	Excellent	Excellent	83.3
Dyson V8 Trigger	16*	12	1.5	Excellent	Excellent	91.2
Black + Decker 20V MAX FLEX	16*	8	0.5	Excellent	Excellent	92.2
Dirt Devil Scorpion	16*	N/A (corded)	1	Excellent	Excellent	109.8
Black + Decker 10V MAX	16*	5	5	Excellent	Excellent	100.5
Shark Pet Perfect	16*	7*	1	Excellent	Excellent	98.1
Bissell Pet Hair Eraser	16*	N/A (corded)	1	Excellent	Excellent	93.7
Eureka RapidClean	16*	N/A (corded)	1	Excellent	Excellent	95.5
Husli® Portable	16*	6	0.25	Excellent	Excellent	91

Power and suction

480 L/min
80 000 RPM

SIEMPRE CARGADA Y LISTA

La batería y el sistema de carga son un aspecto de innovación en el mundo de los aspiradores portátiles. Siempre está cargada y lista para usar.

EXCEPCIONAL RENDIMIENTO DE LIMPIEZA

El motor de alto rendimiento de 80.000 RPM y el filtro HEPA de 10 etapas aseguran una limpieza profunda y completa. Siempre está cargada y lista para usar.

FORMATO COMPACTO EXTRAPLANO

El diseño compacto y extraplano permite acceder a los rincones más difíciles de limpiar. Siempre está cargada y lista para usar.

VACIADO FÁCIL E HIGIÉNICO

El modo vacio de 10 segundos permite vaciar el depósito de polvo de forma higiénica y sin esfuerzo. Siempre está cargada y lista para usar.

INDICADOR DE CARGA LED

El indicador de carga LED muestra el nivel de carga de la batería. Siempre está cargada y lista para usar.

PRÁCTICOS ACCESORIOS

Incluye todo lo que necesitas: un cepillo motorizado para limpiar alfombras, un cepillo para suelos duros y un accesorio para limpiar rincones. Siempre está cargada y lista para usar.

PUERTO DE CARGA ADICIONAL

Carga tu aspiradora de mano en cualquier lugar gracias a su base de carga y a su puerto de carga adicional en la parte de arriba del motor.

Specifications

Battery	
Max runtime	10 min
Runtime (Turbo-mode)	10 min
Type of battery	Li-Ion
Battery voltage	7.4 V
Rechargeable battery	No
No. of batteries included	1
Cleaning and functions	
Type of product	Cordless handheld vacuum
Dustbin capacity	0.2 l
No. of speed settings	1
Sound level	83 dB
Hoovering material	Plastic
Wet & dry vacuuming	No
Dimensions and weight	
Height	41.5 cm
Width	9.0 cm
Depth	18.5 cm
Weight	0.85 kg

Figura 6. Rowenta X-Touch: Anàlisi del producte amb la pissarra virtual Miro (font pròpia)

FORTALESES	DEBILITATS
<ul style="list-style-type: none"> Dipòsit de mitjana capacitat (0,2L) Filtre HEPA rentable amb protecció metàl·lica Fàcil neteja de filtre i buidat del dipòsit (mecànic) Diversitat d'adaptadors Sense fil Indicador nivell de càrrega 	<ul style="list-style-type: none"> Producte mitjanament voluminós Soroll elevat (83 dB) Requereix de base de càrrega Difícil accés a l'electrònica Un mode de potència Autonomia baixa (10 min)

Taula 3. Fortaleses i Debilitats Rowenta X-Touch (font pròpia)

D. BRIGII M1

El fabricant xinès Brigii, fundat l'any 2019, s'ha fet un lloc en el mercat desenvolupant, inicialment l'aspirador Brigii M1. Avui en dia, la gana de productes domèstics és més àmplia i destaca per oferir productes barats, multifuncionals i estèticament minimalistes. També en destaca la multifuncionalitat, ja que els aspiradors manuals d'aquest fabricant aprofiten l'aire aspirat per dur a terme la funció de bufador.



Figura 7. Brigii M1 [4]



Figura 8. Brigii M1: Anàlisi del producte amb la pissarra virtual Miro (font pròpia)

FORTALESES	DEBILITATS
<ul style="list-style-type: none"> • Poc voluminós i lleuger (0,48 kg) • Soroll moderat (68 dB) • Filtre HEPA rentable amb protecció metàl·lica • Fàcil neteja de filtre i buidat del dipòsit (manual) • Diversitat d'adaptadors • Poques peces • Autonomia moderada (20 min) • Funció de bufador • Sense fil amb càrrega per cable tipus C 	<ul style="list-style-type: none"> • Dipòsit de baixa capacitat (0,1L) • Difícil accés a l'electrònica • Un mode de potència • Potència baixa

Taula 4. Fortaleses i Debilitats de Brigii M1 (font pròpia)

E. SHARK WV270EU

El fabricant canadenc Shark presenta una llarga trajectòria en el desenvolupament de productes domèstics destinats a la neteja. Com Rowenta, els anys d'experiència els han portat a desenvolupar productes similars, amb una complexitat formal més elevada. Per altra banda, el model WV270EU té molt bones crítiques pel seu ús domèstic, però presenta certs desavantatges quan és analitzat des del context d'ús dins un vehicle.



Figura 9. Shark WV270EU [5]

SHARK WV270EU

Shark Premium Handheld Vacuum WV270UK	
AirWatts (low)	48 AW
AirWatts (high)	75 AW
Sound (low)	76.1 dB
Sound (high)	76.7 dB

79dB

Color	Asul eléctrico
Peso (kg)	0,7 kg
Potencia	27,36 W
Velocidades	1. ECO, 2. Boost
Garantía legal	3 años
Tipo de Filtro	Filtro lavable
Autonomía (min.)	Hasta 15 minutos
Tiempo de carga	3,5 horas
Capacidad (L)	0,1 L
Dimensiones (cm)	7,5 x 7,5 x 39 cm
Código de barras	062235243876
Nivel de ruido	79 dB

EMPTYING THE DUST CUP

CLEANING THE FILTER

Figura 10. Shark WV270EU: Anàlisi del producte amb la pissarra virtual Miro (font pròpia)

FORTALESES	DEBILITATS
<ul style="list-style-type: none"> • Filtre HEPA rentable amb protecció de plàstic • Fàcil neteja de filtre i buidat del dipòsit (mecànic) • Dos modes de potència • Diversitat d'adaptadors • Sense fil 	<ul style="list-style-type: none"> • Producte mitjanament voluminós • Dipòsit de baixa capacitat (0,1L) • Soroll elevat (79dB) • Requereix de base de càrrega • Difícil accés a l'electrònica • Autonomia moderada (15min) • Poca visibilitat del dipòsit

Taula 5. Fortaleses i Debilitats del model Shark WV270EU (font pròpia)

F. ROIDMI NANO P1 PRO

Roidmi també és una marca xinesa de productes de neteja domèstics i de bellesa, fundada l'any 2015, que s'està expandint en el mercat europeu. L'aspirador manual Roidmi P1 és un dels referents que més s'ajusta a la descripció d'aspirador portable.



Figura 11. Roidmi Nano P1 Pro [6]

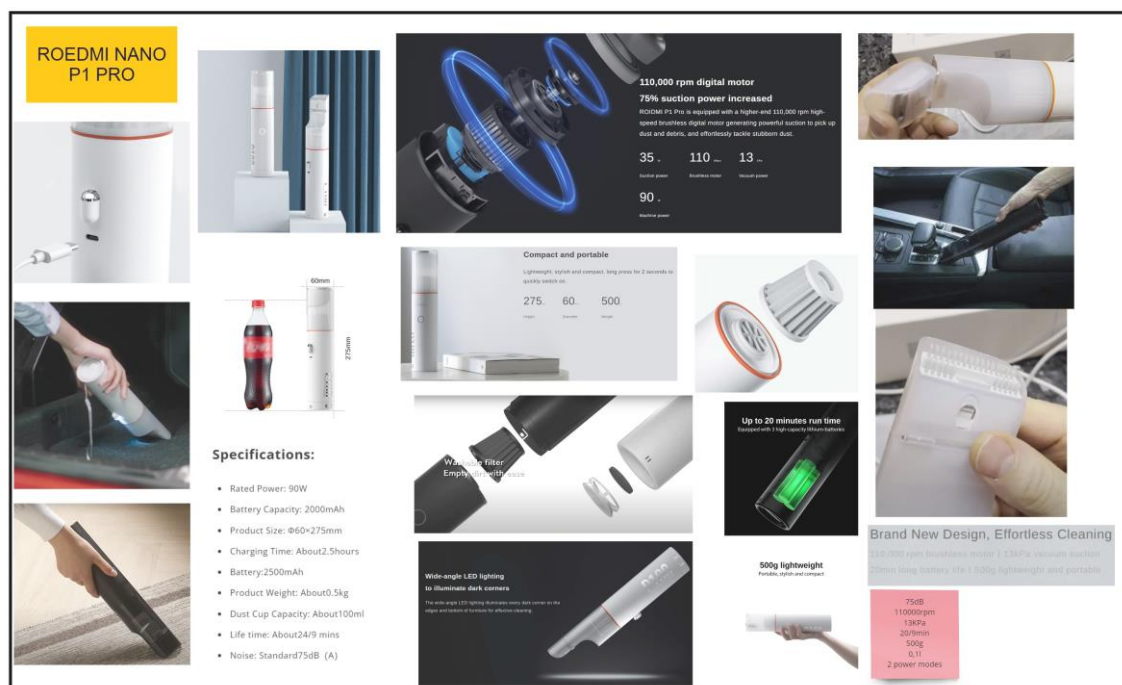


Figura 12. Roidmi Nano P1 Pro: Anàlisi del producte amb la pissarra virtual Miro (font pròpia)

FORTALESES	DEBILITATS
<ul style="list-style-type: none"> • Molt poc voluminós i lleuger (0,5 kg) • Soroll moderat (75 dB) • Filtre HEPA rentable • Fàcil neteja de filtre i buidat del dipòsit (manual) • Poques peces • Dos modes de potència • Autonomia moderada (23 min) • Sense fil amb càrrega per cable Type-C • Il·luminació LED 	<ul style="list-style-type: none"> • Dipòsit de baixa capacitat (0,1L) • Potència baixa • Manca d'adaptadors • Filtre HEPA sense protecció • Fàcil pèrdua de succió

Taula 6. Fortaleses i Debilitats del model Roidmi Nano P1 Pro (font pròpia)

G. BRIGII Y120 PRO

El model Brigii Y120 Pro és el model més petit i compacte que ha desenvolupat el fabricant. Sense els adaptadors d'embocadura, és dels models més petits del mercat. Com el model M1, aquest també és multifuncional i ofereix l'opció de ser usat com a bufador. Tot i això, la reducció de volum comporta certs desavantatges des del punt de vista d'especificacions tècniques.



Figura 13. Brigii Y120 Pro [7]



Figura 14. Brigii Y120 Pro: Anàlisi del producte amb la pissarra virtual Miro (font pròpia)

FORTALESES	DEBILITATS
<ul style="list-style-type: none"> • Molt poc voluminós i lleuger (0,5 kg) • Filtre HEPA rentable • Fàcil neteja de filtre i buidat del dipòsit (manual) • Poques peces • Alta diversitat d'adaptadors • Sense fil amb càrrega per cable Type-C • Funció de bufador 	<ul style="list-style-type: none"> • Dipòsit de baixa capacitat (0,1 L) • Potència baixa (4 kPa) • Soroll elevat (80 dB) • Filtre Hepa sense protecció • Fàcil pèrdua de succió • Autonomia moderada (15 min) • Temps de càrrega molt elevat (4h) • Un solo mode de potència • Dipòsit no transparent

Taula 7. Fortaleses i Debilitats del model Brigii Y120 Pro (font pròpia)

4.2 ANÀLISI DE FORATS I FAMÍLIES

La següent fase consisteix en el desenvolupat d'una matriu funcional que ha permès identificar les tendències del mercat i determinar possibles "forats i finestres" d'innovació i aportació de valor afegit. Aquesta informació permet definir el Briefing del producte a dissenyar.

En les columnes de la matriu hi trobem els referents; mentre que en les files hi ha les funcions derivades, complementàries i les característiques formals o funcionals agrupades en famílies d'afinitat. Les funcions i característiques contemplades sorgeixen de l'estudi dels referents i dels mateixos objectius de disseny que contempla aquest projecte.

Els resultats d'avaluació de cada referent respecte les funcions i característiques de disseny són classificats en tres grups segons el grau d'assoliment:

- Poc assolit o gens assolit: Menor (ME)
- Mitjanament assolit: Major (MA)
- Molt assolit o completament assolit: Crític (CR)

La taula comparativa pot ser consultada a l'Annex 01: Estudi de Referents i Quadre Funcional.

Seguidament, es polaritzen els resultats de la classificació en valor de SI o NO. D'aquesta manera resulta més fàcil detectar oportunitats de millora en el mercat. Es considera forat, una funció o característica que no es compleix per més de dos referents. A continuació es mostra la selecció final de forats agrupats en famílies d'afinitat:

FAMÍLIES	FORATS	OBJECTIUS	DYSON V7 TRIGGER	XIAOMI MI VACUUM CLEANER	ROWENTA X-Touch	BRIGII M1	SHARK WV270EU	ROIDMI NANO P1 PRO	BRIGII Y120 PRO
			A	B	C	D	E	F	G
Respecte Aspiració i Filtració	⁷ Filtració ciclònica	CR	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	¹¹ Reducció pèrdua de succió	CR	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	¹² Capacitat dipòsit alta	MA	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	¹³ Reducció de soroll	CR	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Respecte Bateria i Autonomia	¹⁸ Mínim temps de recàrrega	CR	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	¹⁹ Funcionament per cable	CR	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	²¹ Base de càrrega	ME	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO
Respecte Materials	²⁹ Material Biodegradable	MA	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	³⁰ Filtre Biodegradable	CR	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Respecte Versatilitat	³² Funció complementària de bufador	MA	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI
	³³ Il·luminació LED	MA	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Respecte Manteniment i Durabilitat	³⁵ Fàcil reparació/canvi components	CR	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Taula 8. Forats i Famílies d'aportació de valor afegit (font pròpia)

Les famílies que presenten més forats fan referència a l'aspiració, filtració, i autonomia de la bateria. Tal i com s'ha establert en els objectius d'aquest aquest projecte, es treballa en el desenvolupament del sistema de filtració ciclònica, afectant directament als forats 7 i 11 mostrats en la Taula 8.

5. ESTUDI PREVI DE CONDICIONS DE FLUID

Abans de començar el procés de disseny conceptual d'un sistema de filtració ciclònica, cal fer-se una idea de les condicions de fluid que es volen assolir per tal de fer possible l'aspiració de les partícules i la seva separació. En aquest apartat, es presenten els resultats de l'estudi realitzat on es calculen els valors aproximats, de velocitat i forces, que actuen en partícules hipotètiques.

En l'estudi es planteja la següent situació: Es volen aspirar partícules de sorra ideals, és a dir, són perfectament esfèriques i totes tenen la mateixa densitat. L'única variable que les diferencia és el diàmetre. Aquestes partícules són la base de l'estudi del qual es determina la velocitat necessària del flux d'aire en l'embocadura de l'aspirador. També es determina la relació entre el pes, la força de fregament exercida pel flux d'aire, i la força centrípeta experimentada per la partícula.

Primer de tot s'han definit les característiques físiques de les partícules. En aquest cas, s'estudien partícules de sorra amb diàmetres de 0,1 fins a 12 mm:

Radi (mm)	Radi (m)	Àrea (m ²)	Volum (m ³)	Pes (kg)	F _{pes} (N)
0,05	5,00E-05	7,85E-09	5,24E-13	7,96E-10	7,81E-09
0,1	1,00E-04	3,14E-08	4,19E-12	6,37E-09	6,25E-08
0,2	2,00E-04	1,26E-07	3,35E-11	5,09E-08	5,00E-07
0,4	4,00E-04	5,03E-07	2,68E-10	4,07E-07	4,00E-06
0,6	6,00E-04	1,13E-06	9,05E-10	1,38E-06	1,35E-05
0,8	8,00E-04	2,01E-06	2,14E-09	3,26E-06	3,20E-05
1	1,00E-03	3,14E-06	4,19E-09	6,37E-06	6,25E-05
2	2,00E-03	1,26E-05	3,35E-08	5,09E-05	5,00E-04
3	3,00E-03	2,83E-05	1,13E-07	1,72E-04	1,69E-03
4	4,00E-03	5,03E-05	2,68E-07	4,07E-04	4,00E-03
5	5,00E-03	7,85E-05	5,24E-07	7,96E-04	7,81E-03
6	6,00E-03	1,13E-04	9,05E-07	1,38E-03	1,35E-02

Taula 9. Propietats físiques de partícules ideals (font pròpia)

Amb el valor de l'àrea, que és la secció transversal de la partícula, i la força exercida pel pes, podem calcular la força de fregament necessària que ha de fer l'aire per accelerar cada partícula en la mesura desitjada. La fórmula que descriu la força de fregament o drag és la següent:

$$F_{drag} = \frac{c_d \rho v^2 A}{2}$$

On:

- c_d és el coeficient de fregament, en aquest cas d'una partícula esfèrica, amb un valor de 0,47. [8]
- ρ és la densitat de l'aire. A nivell del mar té un valor de 101325Pa. [9]
- v és la velocitat de l'aire en m/s. Valor que tractem com a incògnita.
- A és la secció transversal de cada partícula en m².

Per determinar la velocitat que ha de tenir el flux d'aire en l'embocadura s'especifica la magnitud de l'acceleració de les partícules. En aquest cas se suposa que es vol contrarestar el propi pes de partícula i fer-la accelerar verticalment a 1g, és a dir, $9,81\text{m/s}^2$. En aquest cas, la força F_{drag} ha de ser dues vegades més gran que F_{pes} .

Radi (mm)	Àrea (m ²)	F_{pes} (N)	F_{drag} (N)	V_{aire} (m/s)
0,05	7,85E-09	7,81E-09	1,56E-08	2,63
0,1	3,14E-08	6,25E-08	1,25E-07	3,72
0,2	1,26E-07	5,00E-07	9,99E-07	5,26
0,4	5,03E-07	4,00E-06	7,99E-06	7,43
0,6	1,13E-06	1,35E-05	2,70E-05	9,10
0,8	2,01E-06	3,20E-05	6,40E-05	10,51
1	3,14E-06	6,25E-05	1,25E-04	11,75
2	1,26E-05	5,00E-04	9,99E-04	16,62
3	2,83E-05	1,69E-03	3,37E-03	20,36
4	5,03E-05	4,00E-03	7,99E-03	23,51
5	7,85E-05	7,81E-03	1,56E-02	26,28
6	1,13E-04	1,35E-02	2,70E-02	28,79

Taula 10. Càlcul de velocitat de flux d'aire necessària a l'embocadura de l'aspirador (font pròpia)

Els valors de la velocitat calculada ens proporcionen una aproximació del que hauríem d'assolir en les simulacions de fluids. En aquest cas ens fixem en el valor més elevat, per partícules més grans. Hauríem d'assolir velocitats d'entorn els 25 m/s, ja que en realitat, el coeficient de fregament de cada partícula és més elevat i, per tant, amb menor velocitat es genera la mateixa força de fregament. També cal considerar que quan la partícula comença a accelerar, la velocitat relativa amb l'aire disminueix, de manera que també ho fa la força que l'està accelerant. La velocitat màxima de la partícula està limitada per la mateixa velocitat de l'aire.

A continuació es defineix la força centrípeta generada per una partícula que es desplaça a la mateixa velocitat que el fluid. Per calcular la força centrípeta apliquem la següent fórmula:

$$a_{\text{centrípeta}} = \frac{v^2}{r}$$

On v és la velocitat de la partícula i r el radi de la trajectòria radial. En aquest cas se suposa un radi mitjà de 30mm. Suposant que la partícula es desplaça a la mateixa velocitat que l'aire obtenim els següents resultats:

Radi (mm)	V _{aire} (m/s)	a _{centrípeta} (m/s ²)	G _s	F _{centrípeta} (N)
0,05	2,63	230,21	23,47	1,83E-07
0,1	3,72	460,42	46,93	2,93E-06
0,2	5,26	920,84	93,87	4,69E-05
0,4	7,43	1841,69	187,74	7,50E-04
0,6	9,10	2762,53	281,60	3,80E-03
0,8	10,51	3683,38	375,47	1,20E-02
1	11,75	4604,22	469,34	2,93E-02
2	16,62	9208,44	938,68	4,69E-01
3	20,36	13812,66	1408,02	2,37E+00
4	23,51	18416,88	1877,36	7,50E+00
5	26,28	23021,10	2346,70	1,83E+01
6	28,79	27625,32	2816,04	3,80E+01

Taula 11. Càlcul d'acceleració i força centrípeta (font pròpia)

L'acceleració centrípeta experimentada per les partícules a aquestes velocitats, és molt menor a les acceleracions que assolix el sistema ciclònic de Dyson, amb un valor de 79.000 g [1], de manera que el disseny a desenvolupar ha de ser capaç d'accelerar l'aire abans d'accedir a la regió de formació d'un cicló. Per fer-ho, una de les variables que determinen l'acceleració centrípeta experimentada per les partícules és el radi del cicló. Es pot calcular la velocitat necessària de l'aire dins el cicló perquè les partícules assolixin la mateixa acceleració centrípeta.

Radi cicló (mm)	a _{centrípeta} (m/s ²)	G _s	V _{cicló} (m/s)
5	774990	79000	62,25
10	774990	79000	88,03
15	774990	79000	107,82
20	774990	79000	124,50
25	774990	79000	139,19
30	774990	79000	152,48
35	774990	79000	164,70

Taula 12. Càlcul de velocitat tangencial del cicló en funció del radi (font pròpia)

Aquests valors es prendran de referència en l'anàlisi dels resultats de les simulacions de fluids, per tal de poder fer una estimació de l'acceleració centrípeta experimentada per les partícules.

6. PLEC DE CONDICIONS

En aquest apartat es defineixen les consideracions prèvies que cal tenir en compte abans d'iniciar el procés de disseny formal de l'aparell. Aquestes consideracions permeten establir condicions i definir característiques formals i funcionals que poden servir de guia per a facilitar que el desenvolupament del disseny proporcioni resultats acord amb els objectius d'aquest projecte.

Per altra banda, també s'especifica com implementar la metodologia de disseny iteratiu en cada fase de desenvolupament, des del disseny conceptual, fins al prototip funcional, passant pel modelat 3D i les simulacions de fluids.

6.1 CONSIDERACIONS PRÈVIES AL DISSENY

- Segons l'estudi previ de condicions de fluid realitzat, els dissenys han de facilitar que l'àrea de secció de l'embocadura pugui ser fàcilment modificada. Una vegada establert el caudal desplaçat per la turbina, l'àrea de secció de l'embocadura haurà de ser tal, que permeti que la velocitat del flux d'aire sigui la desitjada. En aquest cas, entorn els 25 m/s, tal com determinen els càlculs previs realitzats i també acord amb les dades proporcionades per V. Brøndum [10], un dels principals fabricants d'aspiradors industrials.
- La gravetat afecta la dinàmica i deposició de les partícules dins el dipòsit. És necessari disposar d'un sistema antiretorn de la brutícia un cop ha sigut capturada.
- La geometria principal del disseny ha de ser formada mitjançant cossos de revolució. La pròpia naturalesa d'un cicló requereix geometries generalment cilíndriques i concèntriques per fer possible la seva creació i conservació.
- Per fer efectiva la separació de l'aire i de les partícules sòlides mitjançant un cicló, es requereix energia cinètica. El disseny ha de permetre una elevada velocitat angular amb un radi el més petit possible per maximitzar l'acceleració centrípeta. Alhora, la resistència al flux augmentarà, reduït el caudal i la velocitat de l'aire a l'embocadura de l'aspirador. També reduint notablement el rendiment de la turbina. En fases avançades de disseny serà fonamental ajustar els diàmetres dels components perquè els efectes en el flux siguin els desitjats.
- És preferible mantenir un flux laminar en tot el recorregut per reduir al màxim les pèrdues energètiques. Cal evitar reduccions de secció sobtades i molt pronunciades per reduir al màxim les turbulències.
- El diàmetre màxim del dipòsit bé determinat per la morfologia de la mà de l'usuari i els requisits estètics i ergonòmics determinats pel context d'ús. S'estima un diàmetre màxim de 80 mm.
- És molt possible que la potència que pot proporcionar un aspirador manual a la turbina no sigui suficient per generar velocitats prou elevades. L'acceleració centrípeta experimentada per les partícules, probablement no sigui suficient per garantir que totes les partícules siguin separades del flux d'aire. Es preveu l'ús d'un filtre HEPA rentable per capturar les partícules que no han pogut ser capturades pel sistema ciclònic.

6.2 METODOLOGIA I PROCÉS COMPARATIU DE DISSENYYS

Per determinar la funcionalitat de cada disseny és necessari establir un procés metòdic que permeti obtenir resultats objectius i fiables de rendiment i eficàcia de l'aspiració ciclònica.

Tenint en compte el nombre de dissenys a valorar i les variables de disseny a considerar en cada un d'ells, s'ha optat per aplicar un mètode iteratiu de disseny, tal i com s'ha establert en l'apartat 3. En la fase de disseny detallat i d'avaluació i realització de proves experimentals, es procedirà segons el mètode establert a continuació:

1. **Modelat CAD amb Solidworks:** El disseny serà modelat a escala real, respectant el disseny modular sempre que sigui possible, i facilitant la modificació de paràmetres de disseny per tal de facilitar l'aplicació de millores o modificacions de geometria.
2. **Simulació CFD amb Solidworks Flow Simulator:** Creació d'un projecte de simulació amb paràmetres predefinits. S'aplicaran les mateixes condicions de simulació a tots els dissenys. Les condicions inicials de la simulació disposen del següent:
 - a. Simulació interna: Cal definir una entrada i una sortida de flux d'aire.
 - b. L'aire es considera un fluid en condicions normals de pressió atmosfèrica i de temperatura.
 - c. Es prescindeix d'elements rotacionals. La turbina no es simula juntament amb el sistema ciclònic en les fases de selecció de disseny. Es pretén optimitzar la complexitat de la simulació per obtenir resultats fiables amb poc temps de càlcul computacional.
 - d. Es prescindeix de simulacions d'anàlisi dependents de temps. Tan sols se'n fa una per determinar el temps de càlcul i comprovar l'estabilitat del cicle en funció del temps.
 - e. L'embocadura d'aire es defineix com una entrada d'aire a pressió atmosfèrica amb velocitat inicial nul·la.
 - f. Entre l'embocadura de l'aspirador i la sortida d'aire o accés al filtre es defineix un diferencial de pressió de 6 kPa. El diferencial de pressió representa la succió que genera la turbina. La pressió negativa en la sortida del dipòsit indueix el flux d'aire a través del sistema. Es parteix d'un diferencial de pressió d'aquesta magnitud per garantir el funcionament del sistema amb els potencials de pressió mínims que solen ser generats pels aspiradors manuals que hi ha actualment al mercat.
 - g. El mallat és automàtic i el més fi possible considerant un temps computacional raonable. Idealment no superior a 10 minuts en les fases inicials. S'intentarà treballar amb mallat automàtic de màxima resolució (nivell 7) sempre que sigui possible per obtenir la major fiabilitat dels resultats.
3. **Anàlisi de resultats de simulació de fluids:** S'avaluen els resultats comparant les trajectòries de flux i els talls de secció. Aquesta informació permet visualitzar el flux en funció de la velocitat, pressió, vorticitat, turbulència, etc. També es fa

ús de l'eina de càlculs de superfície on s'obtiniran paràmetres com la velocitat mitjana, caudal, àrea de secció, etc.

4. Estudi de partícules: En els dissenys que s'observa la generació d'un cicló es procedeix a fer un estudi de partícules. Aquesta anàlisi fa ús dels resultats de flux d'aire i considera que la injecció de partícules, en aquest cas a l'embocadura, no afecta a les condicions del fluid. En aquest cas, es consideren partícules de grava de diferents diàmetres. El programa tracta cada partícula com un objecte esfèric amb la densitat del material seleccionat, en aquest cas, grava. En l'estudi de partícules s'han tingut les següents consideracions:

- Les superfícies del model s'han establert com a superfícies amb reflexió ideal, és a dir, les partícules conserven el moment en impactar amb les parets del model i es conserven les trajectòries de reflexió ideal. Una partícula que impacta a una superfície plana amb un angle de 40° rebotarà també amb un angle de 40° . La sortida d'aire es considera que és absorbent, per tant, les partícules no poden rebotar de nou dins del sistema.
- En l'estudi es consideren partícules petites. Els diàmetres de la partícula són definits en cada injecció. En aquest cas es consideren els següents diàmetres en mil·límetres: [2, 1.5, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.062] mm.
- Es defineix un flux de massa de partícules de 0.00833 kg/s, equivalent a 0.5 kg/min.
- Es calcula un mínim de 250 partícules en les simulacions de trajectòria i estadística. En les simulacions únicament estadístiques s'augmenta el nombre de punts fins a 500 per obtenir resultats més fiables. No es considera un nombre de partícules més grans perquè l'estudi requeriria molt temps computacional.
- Les limitacions de la simulació poden ser determinades per la màxima distància recorreguda, el temps de trajecte o el nombre d'iteracions calculades. En aquest cas es considera com a factor limitant la trajectòria màxima dins el dipòsit, ja que les partícules capturades s'espera que mantinguin un desplaçament constant i rotacional generat pel cicló.



Figura 15. Paràmetres delimitadors de l'estudi de partícules (font pròpia)

5. Anàlisi de resultats de l'estudi de partícules: Els resultats de la simulació s'obtenen definint paràmetres de superfície en la sortida del sistema. Els resultats assolits indiquen les partícules que escapen el sistema. Les dades poden ser analitzades en funció de:

- Nombre de partícules totals injectades i partícules de cada tipus d'injecció que són absorbides a la sortida del sistema. Aquestes dades faciliten el càlcul percentual de partícules de cada diàmetre atrapades pel cicló.

- Acumulació de massa corresponent a cada injecció per unitat de temps [kg/s] en la superfície estudiada. Cal considerar que les partícules amb un diàmetre més gran pesen més, per tant, s'espera observar una relació proporcional al volum en els resultats de cada injecció.

Els resultats numèrics s'exporten a Excel per tractar les dades per obtenir gràfics comparatius. Interessa disminuir al màxim l'acumulació de material per unitat de temps en la sortida del sistema.

6. **Prototipat amb impressió 3D:** Els dissenys que presenten resultats més favorables s'imprimeixen fent ús d'impressores 3D de Formlabs [11] que utilitzen tecnologia SLA (Stereolithography) i SLS (Selective Laser Sintering) [12]. L'objectiu és observar el comportament de les partícules aspirades a través del dipòsit, imprès en resina transparent Clear Resin [13]. El prototip imprès ha d'adaptar-se a l'embocadura d'un aspirador domèstic, que generarà la succió suficient per validar la generació d'un cicló. La variació de potència s'espera que augmenti la velocitat del flux, però que no tingui efectes massa notables en la trajectòria d'aquest, tal com mostra la simulació realitzada en l'apartat 7.4.

El material aspirat en les proves experimentals és cafè molt. El color fosc facilita la visualització a través de la resina Clear. Cal tenir en compte que les partícules del cafè són més lleugeres que les partícules de grava simulades.

7. DISSENY CONCEPTUAL

En aquest apartat es presenten els dissenys més rellevants obtinguts en la fase inicial de disseny conceptual fent ús de tècniques de *Sketching*. La totalitat dels dibuixos conceptuals desenvolupats al llarg del procés de disseny poden ser consultats en l'Annex 02: *Sketching* de dissenys conceptuals i possibles solucions tècniques.

7.1 DISSENY CONCEPTUAL CICLÒNIC 1

Aquest disseny està inspirat en els principis que fan possible la sustentació d'un avió fent ús d'un perfil alar. Es pretén aprofitar el diferencial de pressió generat en la part superior i inferior d'un perfil alar per generar un cicló capaç de capturar el major nombre de les partícules sòlides abans que aquestes arribin al filtre.

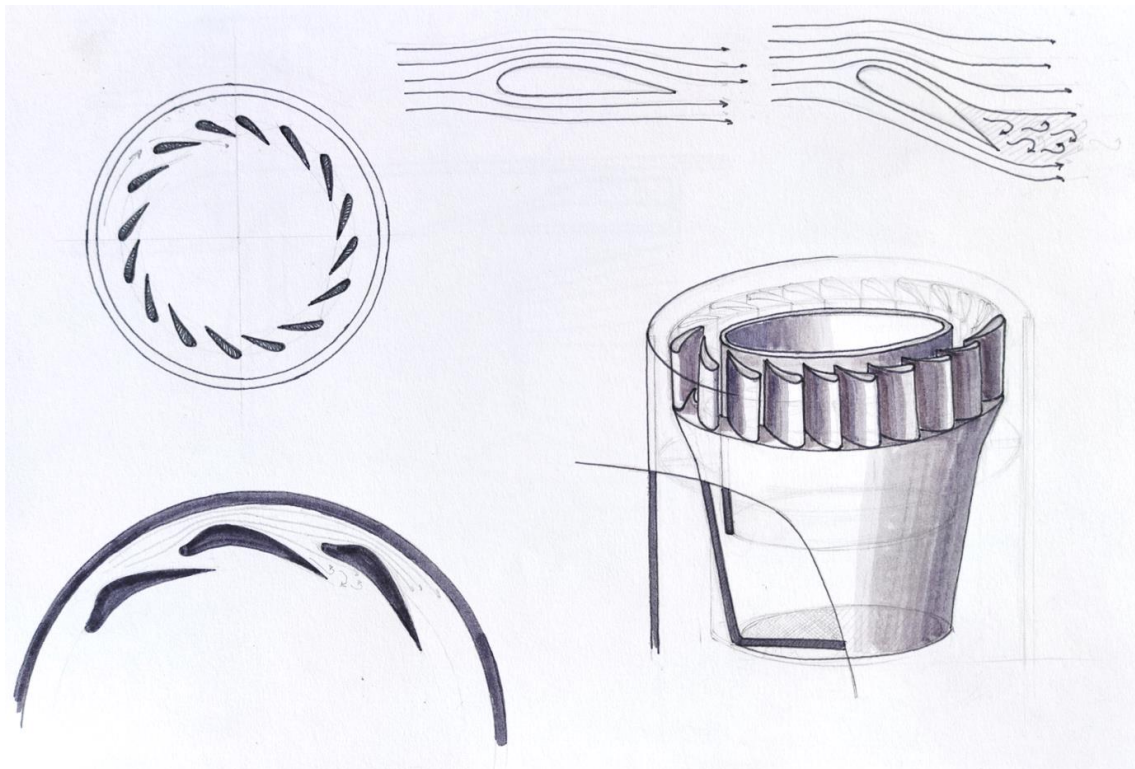


Figura 16. Disseny conceptual CICLONIC1 (font pròpia)

El disseny consisteix a induir la rotació de l'aire en l'entrada d'un tronc de con. La rotació inicial ha de permetre a l'aire avançar uniformement dins el con, on a mesura que es redueix la secció, la velocitat augmentarà incrementant, alhora, la força centrípeta que actua sobre les partícules.

A la sortida del tronc de con s'espera que les partícules més pesants siguin expulsades a la perifèria del dipòsit, mentre que l'aire ha de ser capaç d'efectuar canvis de direcció més pronunciats, fent possible la redirecció cap al filtre HEPA. Les partícules expulsades a la sortida del cicló s'espera que, per efecte de la gravetat, s'acumulin en la regió inferior del dipòsit, i simultàniament, siguin capturades per flux d'aire en gir permanent, mantenint així l'efecte de la força centrípeta que impedirà que es trobin al centre del cicló i ascendeixin al filtre HEPA.

7.2 DISSENY CONCEPTUAL CICLÒNIC 2

Aquest disseny conceptual està inspirat en el sistema d'aspiració ciclònica desenvolupat per Dyson. En comptes de disposar d'una matriu circular de ciclons, es conta amb un sol cicló central. El conjunt consta de quatre components:

1. Una carcassa externa transparent
2. Un dipòsit interior amb un primer filtre per retenir les partícules més grans
3. Un cicló amb dues entrades d'aire que forcen la rotació del flux a mesura que avança fins la sortida del tronc de con
4. Separador cicló-filtre i coberta superior del conjunt. Força l'aire a avançar a través del tronc de con. La disminució de la secció força d'augment de la velocitat. També proporciona la via de sortida de l'aire direccionant-lo cap el filtre HEPA.

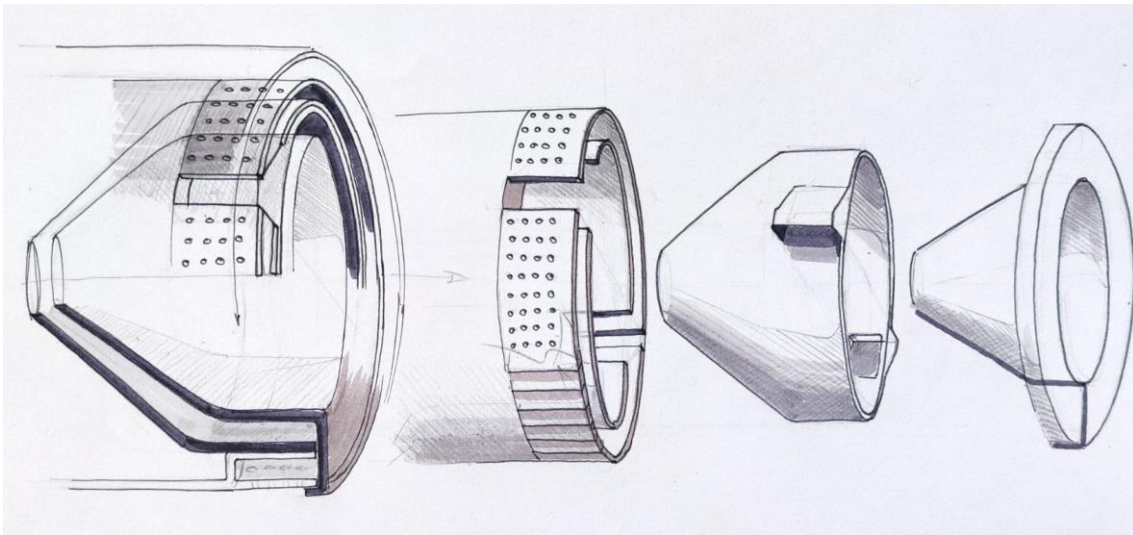


Figura 17. Disseny conceptual CICLONIC2 (font pròpia)

7.3 MODELATGE 3D I RESULTATS D'ESTUDI CFD

Per validar els dissenys conceptuals s'han modelat en 3D al Solidworks en proporcions aproximada i a escala real. En aquest cas, el diàmetre màxim és de 80mm. El model està format per una sola peça, sense considerar cap tipus de procés de fabricació, seqüència de muntatge, o material. Simplement es pretén observar els efectes que la geometria té en el flux d'aire.

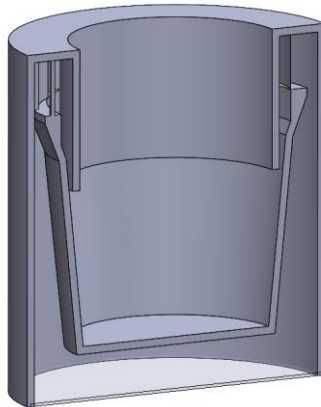


Figura 18. Model 3D conceptual de disseny ciclònic 1 (font pròpia)

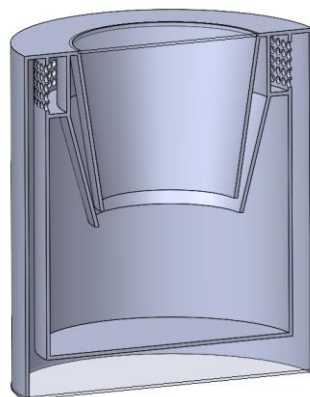


Figura 19. Model 3D conceptual de disseny ciclònic 2 (font pròpia)

Una vegada obtingut el model CAD de cada disseny es procedeix a crear un projecte de Flow Simulator amb les mateixes condicions inicials per cada un dels models.

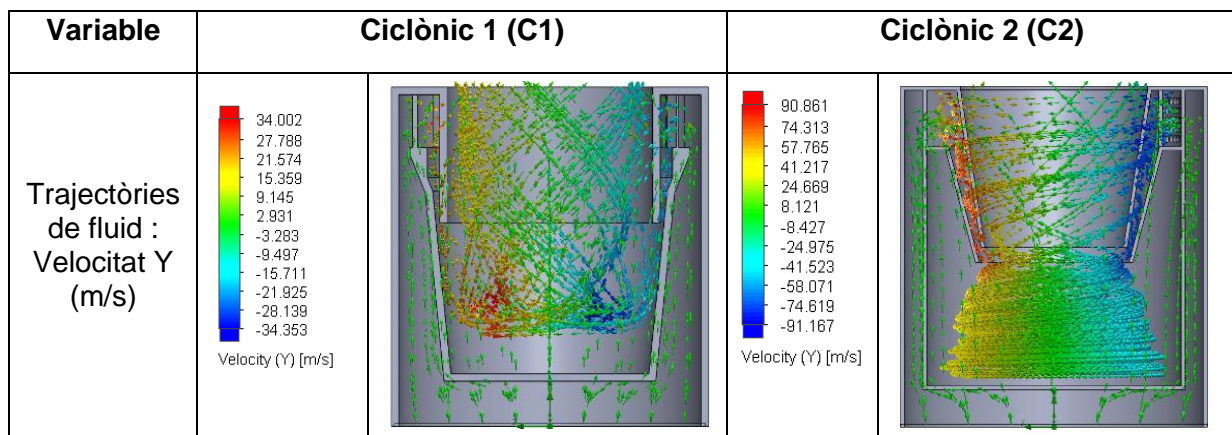


Figura 20. Comparativa de trajectòries de fluid del disseny C1 i C2 en funció de la velocitat Y (m/s) (font pròpia)

Les conclusions extretes dels resultats, exposats detalladament en l'Annex 03: Resultats d'anàlisi de fluids, en l'apartat de Comparació de dissenys conceptuals, determina que el disseny conceptual C2 és el millor candidat. Els avantatges més notables respecte al disseny C1 són les següents:

- L'aire assoleix velocitats angulars més elevades a mesura que avança a través del tronc de con. La component més gran del vector velocitat (Y) es troba en el pla YZ, tangent al radi del cicló. Per tant, el flux d'aire gira en un pla gairebé horitzontal, permetent un major nombre de revolucions abans de sortir del sistema.
- El cicló generat dins el dipòsit manté una velocitat més elevada respecte al disseny C1.
- El cicló és més estable i manté una trajectòria radial en el pla YZ. El disseny C1 no és capaç de mantenir un cicló estable dins el dipòsit. L'aire és expulsat immediatament del sistema.
- L'energia cinètica i calorífica dissipada en el flux turbulent és entre 4 i 6 vegades inferior en el disseny C2.

7.4 CONSERVACIÓ DE TRAJECTÒRIES DE FLUX

En aquest apartat es comprova l'afecte que té l'increment del diferencial de pressió en la velocitat i les trajectòries de fluid. En cas que la diferència en les trajectòries sigui notable, no serà possible certificar la generació d'un cicló en altres condicions on el diferencial de pressió sigui diferent. Cal tenir en compte que el grau de saturació del filtre HEPA, les revolucions de la turbina i el seu rendiment tenen efectes notables en la capacitat de desplaçar flux d'aire. Per tant, interessa que la trajectòria del flux sigui invariable i no depengui d'aquests factors.

El diferencial de 6 kPa és una mesura basada en els valors de succió mínims presentats per alguns dels referents analitzats en l'apartat Estat de l'Art. No és possible replicar les condicions del cap dels referents perquè no està especificat el mètode de mesurament de succió, i el diferencial de pressió és diferent entre cada punt del recorregut de l'aire. En aquest cas, assumim que el diferencial de 6 kPa es troba entre l'entrada i sortida del sistema ciclònic, abans d'accedir al filtre HEPA, per totes les simulacions realitzades.

En aquest apartat es fa ús del model Ciclònic 2 per comparar els resultats de la trajectòria de fluid generada amb un diferencial de 6 kPa i 20 kPa. En última instància, es vol obtenir una relació lineal entre el caudal desplaçat per la turbina i l'acceleració centrípeta de les partícules aspirades.

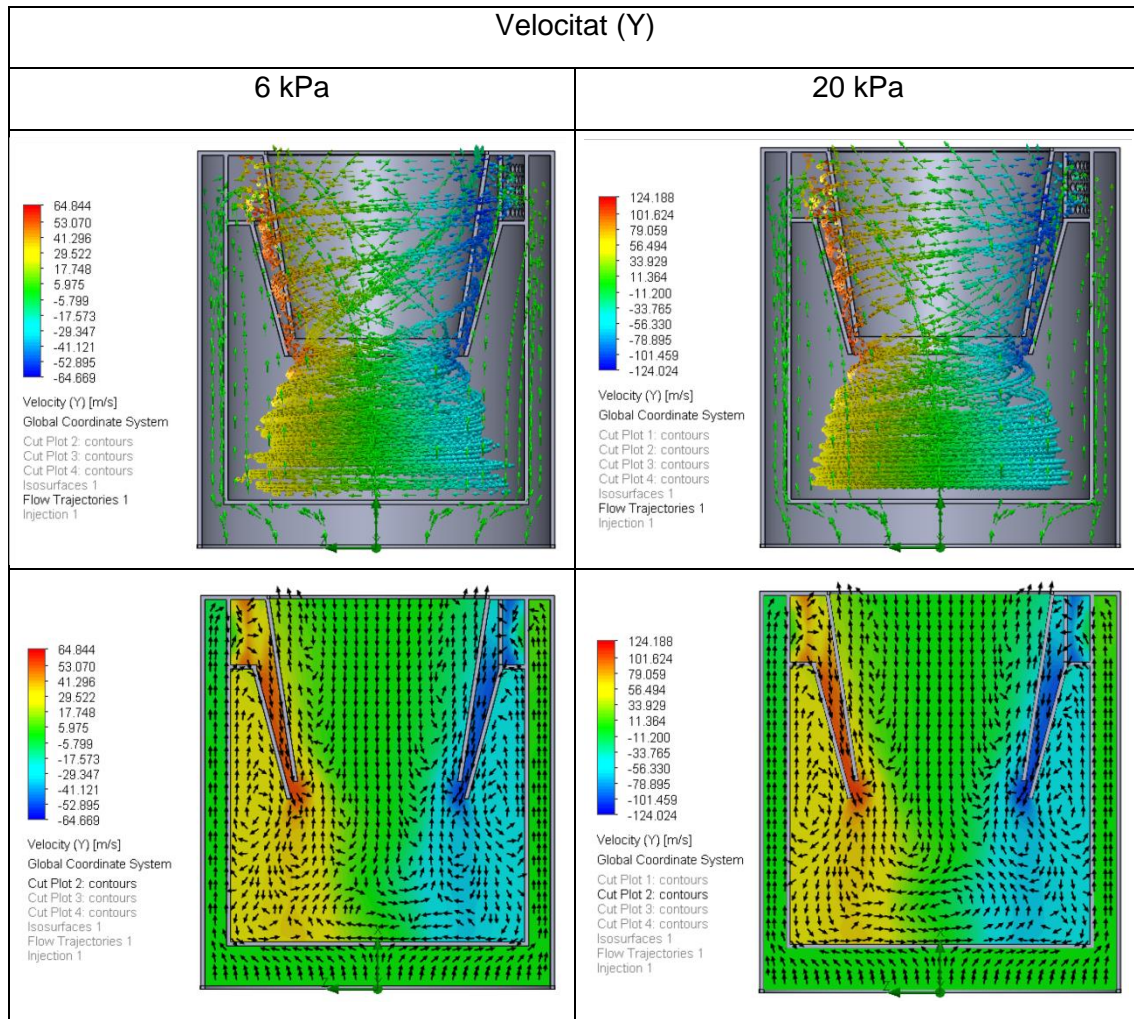


Figura 21. Comparativa de trajectòries de fluid en funció del diferencial de pressió (font pròpia)

Tal com mostren els resultats, el diferencial de pressió pràcticament no té influència en les trajectòries, però sí en la velocitat del fluid. Per tant, en les següents simulacions fetes, es considerarà que les trajectòries resultants seran les mateixes per diferents modes de succió i estat de saturació del filtre HEPA.

8. PRIMERA ITERACIÓ: DISSENY BÀSIC CICLÒNIC 2

En aquest apartat es desenvolupa en més profunditat el disseny conceptual per obtenir resultats més fiables i detectar les modificacions que puguin ser necessàries en la fase inicial de desenvolupament.

En primer lloc, s'ha modificat el disseny considerant els components que han de formar l'asseblatge del prototip. En aquest cas, el cicló s'ha unificat amb el dipòsit per simplificar el conjunt i facilitar el procés d'impressió 3D i muntatge del prototip. Amb la nova geometria, s'ha contemplat una embocadura de 30 mm de diàmetre per aproximar la secció transversal necessària que hauria de tenir l'aspirador per accelerar prou l'aire. El model està format pels següents components:

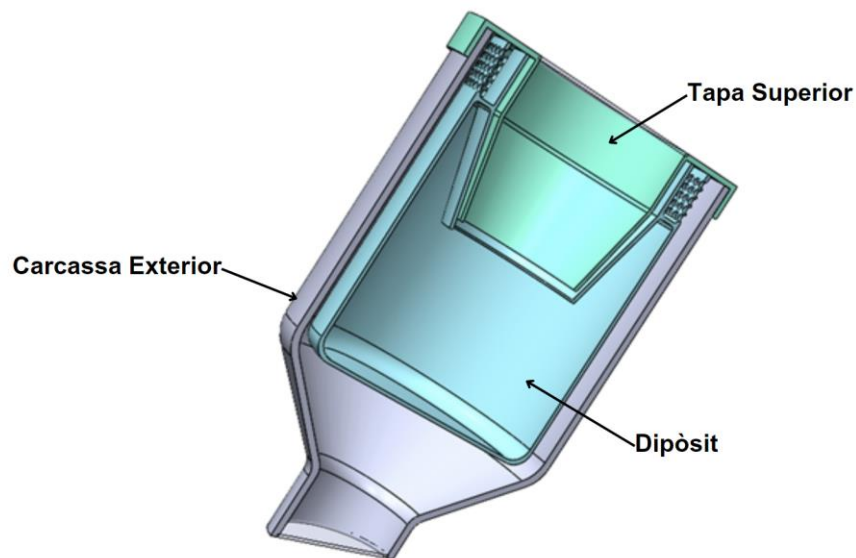


Figura 22. Modelat CAD de disseny bàsic CICLONIC2 (font pròpia)

En primer lloc s'ha fet una simulació amb un mallat d'alta resolució per comprovar que les modificacions de geometria no han tingut efectes negatius en el comportament del fluid. El primer model Ciclònic 2 té un diàmetre de sortida de cicló de 40 mm. Aquesta cota determina la conicitat del cicló i és una mesura arbitrària, de manera que es desconeix si hi ha altres configuracions que puguin generar velocitats angulars superiors, o reduir l'energia dissipada en flux turbulent. S'espera que canvis en la conicitat tinguin efectes importants, ja que la reducció de la secció determina la cinemàtica del fluid. Per aquesta raó s'ha creat un estudi paramètric que permet analitzar diferents geometries d'un mateix model i comparar fàcilment els resultats.

8.1 ANÀLISI PARAMÈTRICA DE GEOMETRIA

L'anàlisi paramètrica realitzada al Solidworks Flow Simulator és del tipus "What if". Consisteix en determinar diferents valors d'un paràmetre, com per exemple una cota. Seguidament, el programa genera una configuració per cada valor establert del paràmetre i calcula els resultats de simulació corresponents. Finalment, amb l'eina de Comparar es poden analitzar els resultats fàcilment i detectar les diferències entre cada configuració.

En aquest cas, el paràmetre analitzat és la cota que determina diàmetre en la sortida del tronc de con, per tant, també determina la conicitat del cicló. Amb un valor inicial de 40 mm, s'han establert increments de 5 mm de diàmetre en un rang de 50 a 30 mm, resultant en cinc configuracions amb diàmetres de [50, 45, 40, 35, 30] mm.

Els resultats mostren efectes notables en la forma del cicló generat i en la velocitat. A continuació es presenten els resultats més rellevants. Es poden observar detalladament en l'apartat d'Estudi de Partícules dins l'Annex 03: Resultats d'anàlisi de fluids.

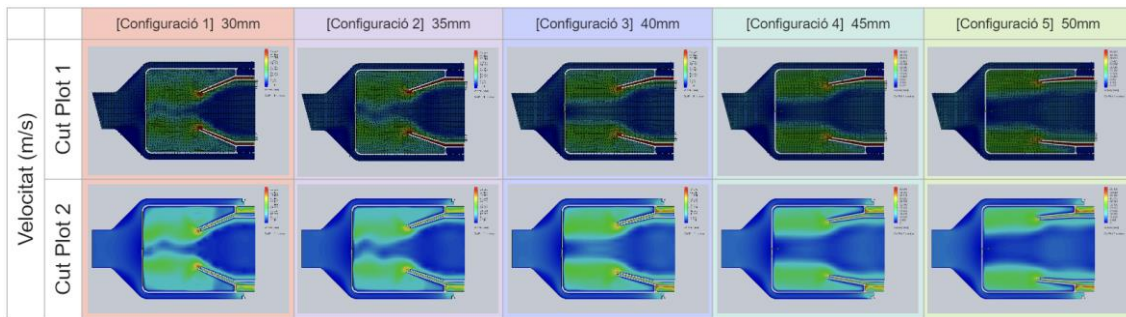


Figura 23. Resultats d'estudi paramètric en funció de la conicitat (font pròpia)

En les imatges es mostren els efectes de la conicitat en la forma del cicló i en la velocitat de l'aire. De l'estudi paramètric podem concloure que:

- La conicitat determina l'amplada del cicló i per tant, el seu radi. És possible parametritzar la conicitat en funció de l'acceleració centrípeta desitjada dins el cicló. En les configuracions 1 i 2 s'aprecia un radi menor amb irregularitats en l'eix de rotació.
- El mallat utilitzat en aquest estudi no presenta valors numèrics prou exactes. Tot i això, els resultats del Cut Plot 1 comparteixen la mateixa llegenda i mostren velocitats similars, lleugerament més elevades en la sortida del tronc de con en les configuracions 1 i 2 degut a la reducció de secció.
- Segons aquests resultats no és possible determinar quin disseny és més òptim. Cal recórrer a l'estudi de partícules per obtenir informació addicional per tal de determinar la capacitat de retenció de les partícules aspirades.

Les simulacions mostren els efectes de les modificacions en la geometria del tronc de con, es poden observar els efectes d'algunes de les equacions que descriuen la cinemàtica del flux com per exemple la següent implicació de les equacions de Bernoulli, que descriu la relació entre la secció d'un conducte i la velocitat del fluid que hi circula a través:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Els resultats mostren que la reducció de secció a la sortida del con, a mesura que la conicitat augmenta, genera un augment en la velocitat de l'aire.

8.2 ANÀLISI I COMPARATIVA DE CONFIGURACIONS DE DISSENY

El fet d'obtenir resultats no concloents de l'estudi paramètric requereix recórrer a altres mètodes per obtenir noves dades. Un estudi paramètric amb resolució de malla elevada requereix massa temps de càlcul computacional. S'ha observat que el temps de càlcul es redueix notablement realitzant simulacions a partir d'un projecte específic per cada configuració.

En aquest cas, s'ha creat un projecte de simulació nou des del mateix estudi paramètric per la configuració de 50, 40 i 30 mm. S'han seleccionat aquestes configuracions per tal d'analitzar amb detall les diferències de flux amb conicitats molt diferents. Seguidament, s'ha refinat la resolució de malla a nivell 7 i s'ha calculat la simulació per cada una de les configuracions.

Una vegada obtinguts els resultats, els podem visualitzar simultàniament fent ús de l'eina comparativa. A continuació, es mostren els resultats i observacions més rellevants. Els resultats poden ser observats detalladament la Taula comparativa de configuracions en l'Annex 03: Resultats d'anàlisi de fluids.


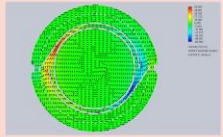
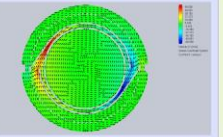
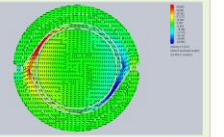

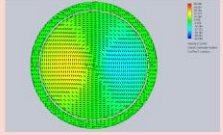
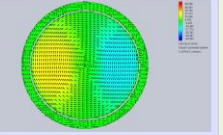
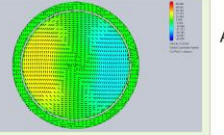

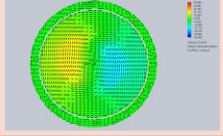
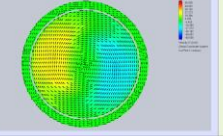
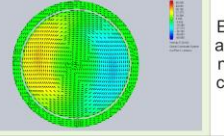
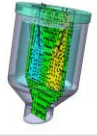
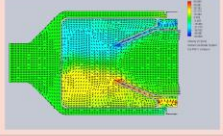
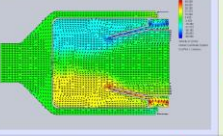
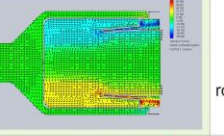
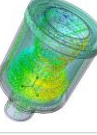
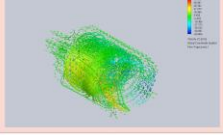
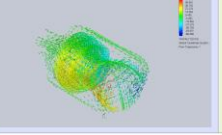
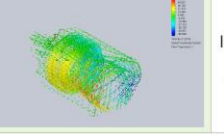
Posicionament del pla d'estudi	DISSENY 1	DISSENY 2	DISSENY 3	OBSERVACIONS
	Diàmetre= 30 mm	Diàmetre= 40 mm	Diàmetre= 50 mm	
				La conicitat afecta la velocitat del flux. En el disseny 1, la velocitat màxima és notablement inferior, segurament a causa de l'estretament de secció en la sortida del con, el qual dificulta el flux d'aire.
				A mesura que la conicitat disminueix, el cicló augmenta de diàmetre, forçant la massa d'aire a rotar més a prop de les parets del dipòsit.
				El disseny 3 assoleix una major velocitat a la regió inferior del dipòsit. El disseny 1 no conserva bé la rotació, segurament a causa de les pèrdues energètiques en el flux turbulent.
				El disseny 1 sembla generar major turbulència i canvis direccionals, resultant en pèrdues energètiques. També mostra inestabilitat en l'eix de rotació, tal com es va detectar en l'estudi paramètric inicial.
				Les línies de flux són més caòtiques i lentes en el disseny 1, mentre que en el disseny 2 es mostren molt més ordenades pel fet que l'aire disposa de menys espai en la perifèria del dipòsit.

Figura 24. Comparativa de les configuracions en funció de la velocitat (Y) (font pròpia)

Els resultats mostren diferències importants en el flux d'aire segons la conicitat. Resulta difícil determinar quina configuració assoleix millors resultats en el procés de centrifugació de partícules sòlides. Per aquesta raó, es procedeix a realitzar l'estudi de partícules descrit en l'apartat 6.2.6.2

8.3 ESTUDI DE PARTÍCULES

L'estudi de partícules permet simular injeccions de partícules sòlides a l'embocadura de l'aspirador. Aquestes partícules són afectades pel flux de l'aire i per les interaccions amb la geometria del sistema. En aquest cas s'ha realitzat una seqüència d'estudis amb l'objectiu de determinar la capacitat de retenció de partícules de cada configuració.

És important tenir en compte els següents fets a l'hora d'analitzar els resultats: Cal tenir en compte que, la font d'energia és el diferencial de pressió de 6 kPa entre l'entrada i la sortida del sistema. En un aspirador real, és l'energia cinètica de la turbina que fa moure el flux d'aire, i per tant el diferencial de pressió és diferent en funció de la velocitat de rotació, la presència del filtre i el seu estat de saturació, el rang d'eficiència de la turbina i la interacció de les partícules amb el flux d'aire. La utilitat de l'estudi de partícules resideix en el fet que un augment en el diferencial de pressió, té afectes importants en la velocitat del flux, però no tant en la seva trajectòria. Si més no, sempre que no incrementi notablement el flux turbulent dins el sistema. Per tant, la informació que podem extreure dels resultats, és la diferència de capacitat de retenció de partícules que hi ha entre cada configuració.

En cas que el diferencial de pressió i la velocitat del flux augmentin, la força centrípeta experimentada per les partícules serà major. Facilitant el desplaçament d'aquestes cap a la perifèria del dipòsit. Assumint que la trajectòria del flux es manté constant, la diferència proporcional entre cada configuració serà similar.

A continuació es mostren les dades obtingudes de l'estudi de partícules:

Paràmetre	Disseny1 (D=30mm)	Ratio [%]	Disseny2 (D=40mm)	Ratio [%]	Disseny3 (D=50mm)	Ratio [%]
Number of Particles	57	100	87	100	71	100
Number of Particles (Inlet_Gravel_2mm)	3	5,26	22	25,29	8	11,27
Number of Particles (Inlet_Gravel_1.5 mm)	2	3,51	20	22,99	11	15,49
Number of Particles (Inlet_Gravel_1mm)	1	1,75	24	27,59	12	16,90
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.5mm)	4	7,02	10	11,49	5	7,04
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.25mm)	21	36,84	6	6,90	15	21,13
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.125mm)	22	38,60	5	5,75	18	25,35
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.0625mm)	4	7,02	0	0,00	2	2,82
Inlet Mass Flowrate per injection [Kg/s]	8,33E-03	100	8,33E-03	100	8,33E-03	100
Total Mass Accumulation Rate (2mm) [kg/s]	4,91E-05	0,59	3,65E-04	4,38	1,33E-04	1,59
Total Mass Accumulation Rate (1.5 mm) [kg/s]	3,33E-05	0,40	3,28E-04	3,94	1,77E-04	2,12
Total Mass Accumulation Rate (1mm) [kg/s]	1,67E-05	0,20	3,91E-04	4,69	1,98E-04	2,38
Total Mass Accumulation Rate (0.5mm) [kg/s]	6,65E-05	0,80	1,63E-04	1,95	7,92E-05	0,95
Total Mass Accumulation Rate (0.25mm) [kg/s]	3,48E-04	4,18	9,86E-05	1,18	2,38E-04	2,86
Total Mass Accumulation Rate (0.125mm) [kg/s]	3,60E-04	4,32	7,80E-05	0,94	2,90E-04	3,48
Total Mass Accumulation Rate (0.0625mm) [kg/s]	5,87E-05	0,70	4,76E-103	0,00	3,31E-05	0,40
Total Inlet Mass Flowrate [Kg/s]	5,83E-02	100	5,83E-02	100	5,83E-02	100
Total Mass Accumulation Rate [kg/s]	9,33E-04	1,60	1,42E-03	2,44	1,15E-03	1,97

Figura 25. Resultats estadístics d'estudi de partícules (font pròpia)

Aquestes dades han estat tractades en un full de càlcul per obtenir una representació gràfica dels resultats:

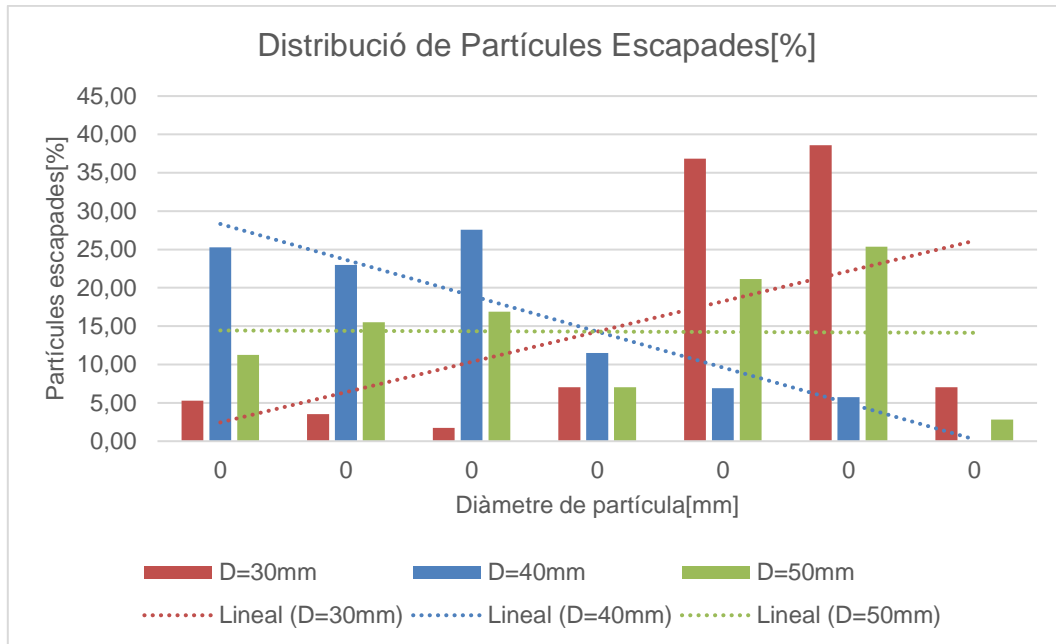


Figura 26. Distribució percentual de partícules escapades del sistema (font pròpia)

La Figura 26 Representa el percentatge de partícules injectades que escapa el sistema. Es poden observar diferències notables en cada disseny. El que resulta més sorprenent és que la diferència de conicitat no repercuteix de forma lineal en els diàmetres de partícula més propensos a escapar el sistema. D'aquest gràfic podem extreure les següents conclusions:

- El Disseny 1, en vermell, és el més eficaç capturant partícules de major diàmetre. Això pot ser degut a que tot i generar un cicló amb velocitats més baixes, pel fet de tenir un radi de rotació més petit, les partícules més pesants tenen més facilitat de ser expulsades a la perifèria del dipòsit. Per altra banda, les partícules més lleugeres poden ser capturades més fàcilment per l'aire que surt del sistema.
- El Disseny 2, en blau, té un comportament contrari al Disseny 1. Tot i ser el model amb una conicitat mitjana. En aquest cas s'ha observat que el cicló generat era molt més uniforme i amb una velocitat de rotació major. El fet que l'àrea de sortida sigui major, pot facilitar que les partícules més grans que no hagin assolit prou velocitat, surtin del sistema.
- Finalment, s'observa que el Disseny 3, en verd i corresponent a la menor conicitat, presenta homogeneïtat en el nombre de partícules capturades.

Les línies de tendència convergeixen al centre perquè l'àrea sota cada línia de tendència ha de ser la mateixa. La totalitat de les partícules escapades de cada disseny ha de sumar el 100%.

En la Figura 27 podem observar l'acumulació de massa en la sortida del sistema per unitat de temps:

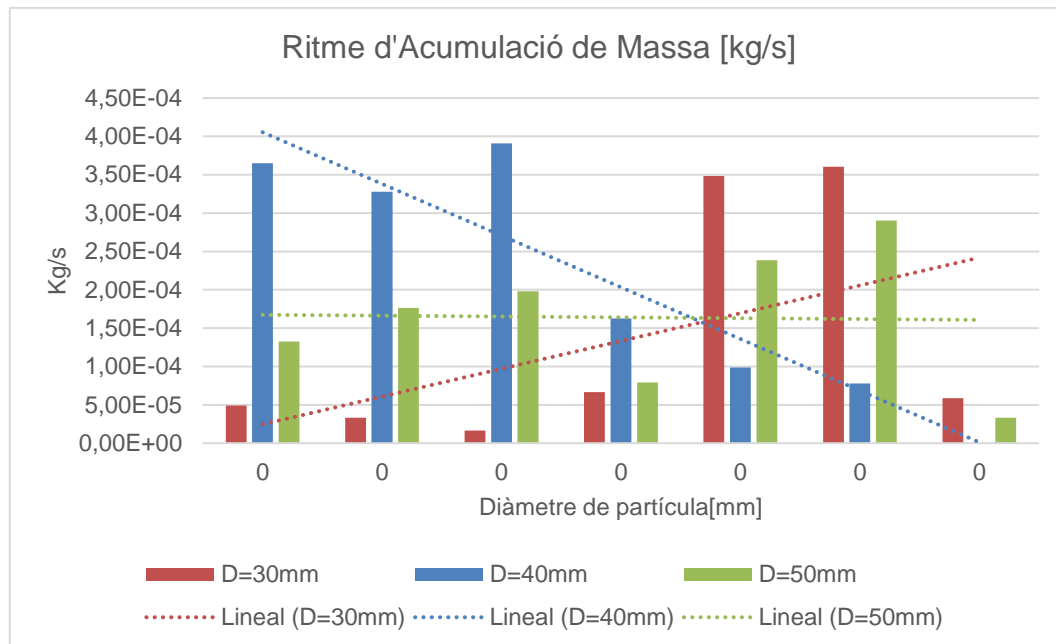


Figura 27. Ritme d'acumulació de massa en la sortida del sistema (font pròpia)

La Figura 27 té certa correlació amb la Figura 26. En aquest cas la intersecció de les línies de tendència està desplaçada a la dreta pel fet que la massa de la partícula és major en funció del radi al cub. Per facilitar la visualització del percentatge de matèria que no ha sigut capturada pel cicló, s'han representat les mateixes dades de forma percentual en la Figura 28.

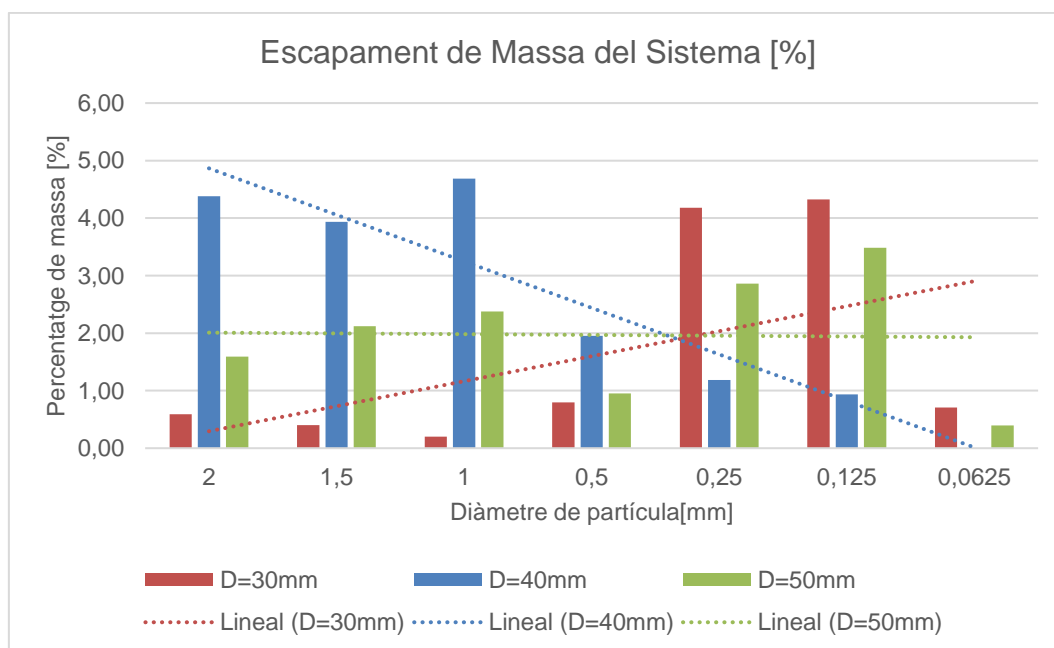


Figura 28. Percentatge de massa que escapa el sistema (font pròpia)

Finalment, en la Figura 29, si sumem els percentatges de massa corresponent a cada injecció, obtenim el rendiment o capacitat de retenció total de sistema.

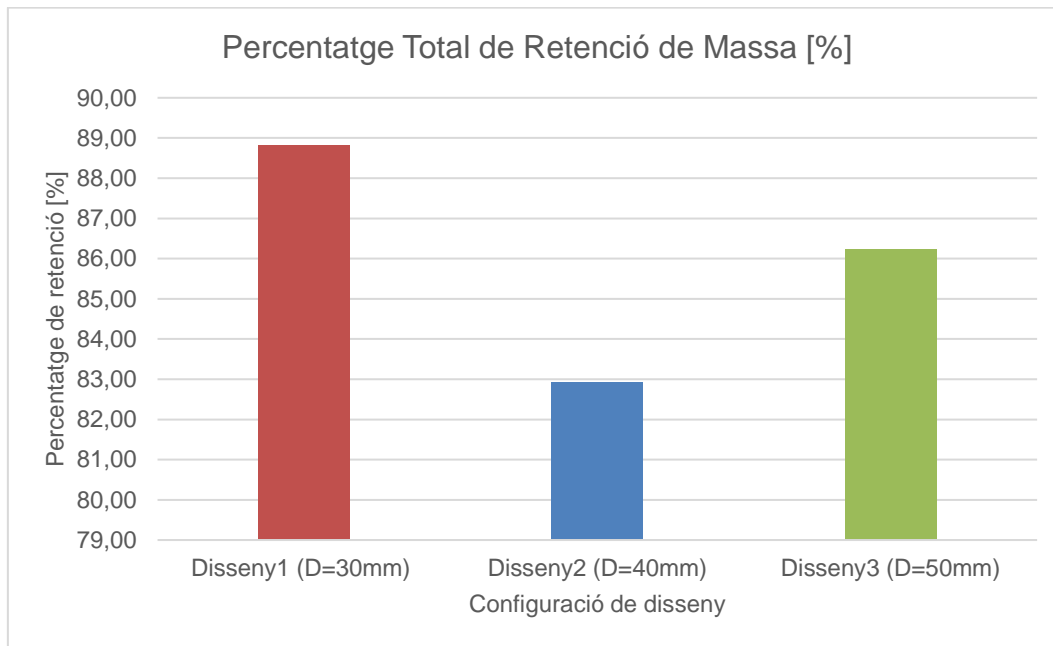


Figura 29. Percentatge total de retenció de massa (font pròpia)

Els valors de retenció són força elevats en totes les configuracions, però el que destaca especialment és el Disseny 1 amb un percentatge de retenció de gairebé el 89%. Aquests resultats són molt favorables, però cal considerar que les condicions de simulació són ideals i no tenen en compte molts fenòmens que poden apareixer en un model real. Un dels factors més importants a determinar és si cicló és estable en funció del temps, i quin efecte poden tenir altres fenòmens omesos per la simulació, com poden ser les inèrcies quan l'aspirador s'està movent, l'efecte de la gravetat quan varia el grau d'inclinació, o els efectes que tenen les partícules aspirades en el mateix flux d'aire. Per aquesta raó, i pel fet que les diferències de rendiment en cada configuració no són massa grans, es procedeix a prototipar i testejar a escala real cada un dels models. Els resultats també serveixen per determinar el grau de fiabilitat de les simulacions.

9. PROTOTIPAT I TESTATGE DE LES CONFIGURACIONS DE DISSENY

En aquest apartat es descriu el procediment seguit per tal d'assolir prototips funcional que permetin realitzar proves experimentals que permetin analitzar els resultats i extreure conclusions.

9.1 DISSENY I FABRICACIÓ DE PROTOTIP

La primera fase en el desenvolupament del prototip, consisteix en modificar la geometria del model CAD amb la qual s'han fet les simulacions, per garantir la fabricació i muntatge dels components. En aquest cas, el model CAD utilitzat en les simulacions ja incorpora característiques de disseny que possible la fabricació i el muntatge del prototip, com per exemple:

- **Disseny modular:** El conjunt està format per tres components. La carcassa exterior, el dipòsit i la tapa superior. La carcassa exterior és la mateixa per les tres configuracions. Per fer proves amb diferents conicitats només en necessari canviar els altres dos components.
- **Gruixos de peça:** Els gruixos de cada component està comprès entre 1 i 2 mm. Gruixos inferiors a 1mm augmenten notablement el risc de defecte superficial de la peça. Gruixos superiors a 2mm resultes innecessaris i comporten un major consum de material.
- **Encaix de components:** L'encaix és el mateix per cada configuració. Entre la carcassa exterior i el dipòsit es fa ús de dos guies. La tapa superior encaixa a pressió amb la carcassa exterior.

Altres aspectes considerats posteriorment són:

- **Tecnologia d'impressió 3D:** Tecnologia d'impressió 3D: Segons la disponibilitat d'impressores a l'hora d'imprimir el component, s'ha optat per fer ús d'una impressora Form 2 [14], Form3+ [15], o Form3L [16] de Formlabs.

La Form3+ fa ús de la tecnologia SLA LFS (*Low Force Stereolithography*) [17], i és la impressora que presenta la major velocitat d'impressió, major reducció de succió i millor estabilitat dimensional i precisió. La Form 3L també fa ús de la tecnologia LFS i disposa d'un volum d'impressió més gran. Es fa servir quan hi ha un major nombre de components a imprimir d'un sol material. Finalment, la Form 2 és el model predecessor dels altres dos i fa ús de la tecnologia SLA. És versàtil, fiable i proporciona bons resultats, però els efectes de succió en una peça són més severs.

- **Materials d'impressió 3D:** Les tres impressores mencionades comparteixen catàleg de materials. Els materials seleccionats pels prototips del disseny Ciclònic 2 són resina Clear per la carcassa exterior i el dipòsit, i resina Durable [18] per la tapa superior.

La resina Clear és un material transparent, però quan es neteja i es cura perd transparència i presenta un aspecte translúcid. L'aplicació de vernís ajuda a augmentar la transparència del material. També és un material fàcil d'imprimir i

de postprocessar. Per aquesta raó només s'ha optat per fer ús d'aquest material en la carcassa exterior i el dipòsit, on és realment útil tenir un bon grau de transparència.

La resina Durable s'usa per simular components de polietilè (PE), pel fet que té unes propietats mecàniques molt similars. En aquest cas ens proporciona un grau de flexibilitat que permetrà ajustar-se perfectament a la carcassa exterior, facilitant l'estanquitat del conjunt. També serà molt més resistent a les forces que s'apliquen en el procés de muntatge i desmuntatge.

- **Toleràncies de muntatge:** Per garantir l'encaix dels components s'ha donat una separació entre cada superfície de contacte de 0,2mm [19]. Aquesta distància garanteix un encaix fàcil, però amb un joc gairebé nul.
- **Reforç i millora de geometria:** En la carcassa exterior i la tapa superior s'han introduït nervis de reforç per garantir l'èxit del procés d'impressió. Els nervis augmenten la rigidesa del component i proporcionen superfícies on posar els punts de contacte del suport, facilitant el creixement constant de la peça a mesura que es generen les capes impreses.
- **Adaptació a un aspirador industrial:** En la tapa superior s'hi ha afegit una extensió amb un diàmetre de 45 mm on adaptar el conducte d'aspiració d'un aspirador industrial Delfin 300BL [20]. Model disponible a les instal·lacions de SolidPerfil3D Initiatives S.L. [21], on s'imprimeixen els prototips, i on es pretén fer els tests d'impressió.

A la següent taula es pot observar cada component imprès, la seva edició, i el material i impressora utilitzada.

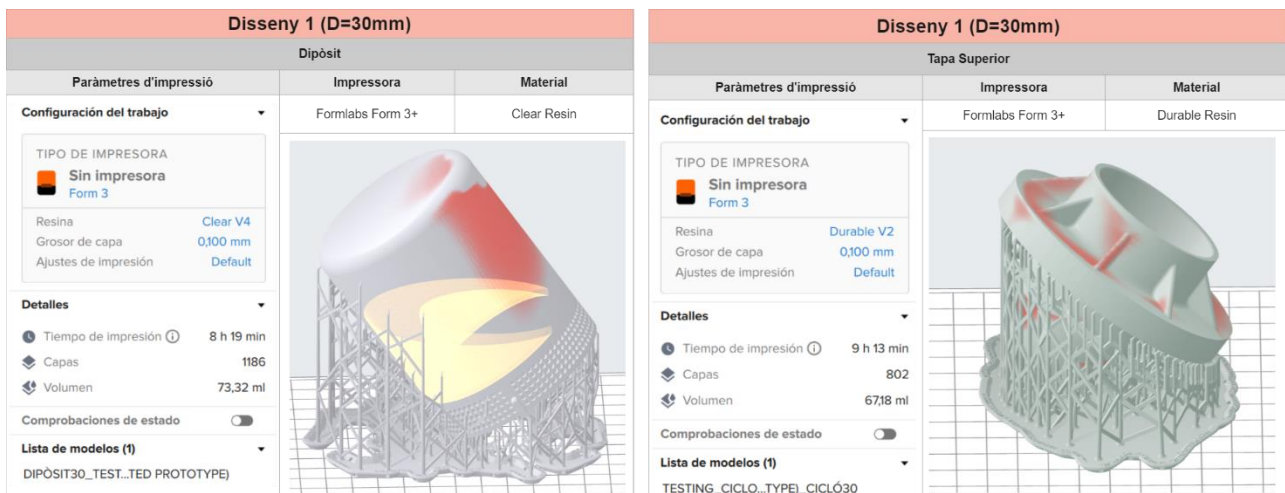


Figura 30. Paràmetres d'impressió de prototip de Disseny 1 (font pròpia)

Disseny 2 (D=40mm)		
Dipòsit		
Paràmetres d'impressió	Impressora	Material
Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Clear V4 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Clear Resin
Detalles Tiempo de impresión: 8 h 21 min Capas: 1177 Volumen: 77,11 ml		
Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) TESTING_CICLO...ED PROTOTYPE		

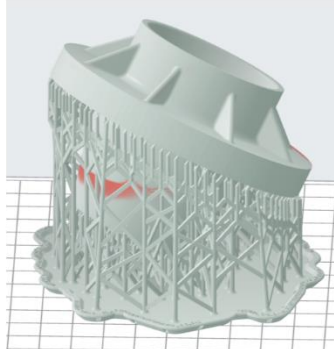
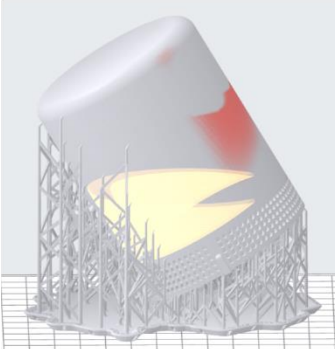
Disseny 2 (D=40mm)		
Tapa Superior		
Paràmetres d'impressió	Impressora	Material
Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Durable V2 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Durable Resin
Detalles Tiempo de impresión: 9 h 47 min Capas: 827 Volumen: 72,50 ml		
Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) TESTING_CICLO...TYPE_CICLÓ40		

Figura 31. Paràmetres d'impressió de prototip de Disseny 2 (font pròpia)

Disseny 3 (D=50mm)		
Dipòsit		
Paràmetres d'impressió	Impressora	Material
Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Clear V4 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Clear Resin
Detalles Tiempo de impresión: 8 h 23 min Capas: 1180 Volumen: 77,52 ml		
Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) DIPÓSIT50...TEST...TED PROTOTYPE		

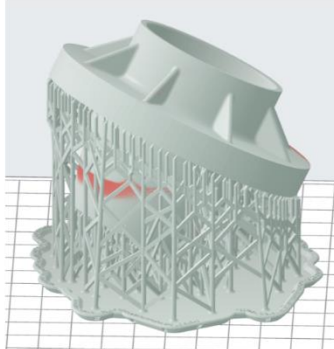
Disseny 3 (D=50mm)		
Tapa Superior		
Paràmetres d'impressió	Impressora	Material
Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Durable V2 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Durable Resin
Detalles Tiempo de impresión: 9 h 47 min Capas: 827 Volumen: 72,50 ml		
Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) TESTING_CICLO...TYPE_CICLÓ40		

Figura 32. Paràmetres d'impressió de prototip de Disseny 3 (font pròpia)

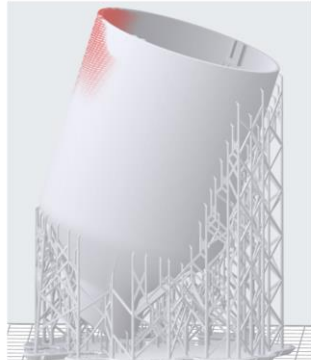
Disseny 1 (D=30mm) / Disseny2 (D=40mm) / Disseny3 (D=50mm)		
Carcassa Exterior		
Paràmetres d'impressió	Impressora	Material
Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Clear V4 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Clear Resin
Detalles Tiempo de impresión: 10 h 29 min Capas: 1519 Volumen: 94,18 ml		
Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) TESTING_CICLO...ASSA EXTERIOR		

Figura 33. Paràmetres d'impressió de prototip de Carcassa Exterior (font pròpia)

9.2 PROVES EXPERIMENTALS I ANÀLISI DE RESULTATS

Les proves experimentals consisteixen a utilitzar un aspirador domèstic per proporcionar potència de succió al sistema. El conducte d'aspiració s'adapta a la tapa superior, generant el diferencial de pressió necessari perquè l'aire i les partícules siguin aspirades per l'embocadura del prototip.

El material aspirat és cafè molt, ja que el color fosc facilita la visualització de flux dins el sistema. Els cúmuls de gra de diferents mides també ajuden a visualitzar l'efecte que té en el cicló en funció de la massa de les partícules i el seu diàmetre.

Per observar el flux en cada configuració s'ha optat per dos sistemes similars. En cada una de les metodologies s'han fet proves combinant el dipòsit i la tapa superior, de diferents configuracions, per obtenir conicitats divergents. Les combinacions provades són les següents:

1. Dipòsit i tapa superior de disseny 1 (Ø30-Ø30)
2. Dipòsit i tapa superior de disseny 2 (Ø40-Ø40)
3. Dipòsit de disseny 3 i tapa superior de disseny 2 (Ø50-Ø40)
4. Dipòsit de disseny 3 i tapa superior de disseny 1 (Ø50-Ø30)
5. Dipòsit de disseny 2 i tapa superior de disseny 1 (Ø40-Ø30)

A continuació es descriuen les metodologies experimentals que s'han implementat.

9.2.1 OBSERVACIÓ EXPERIMENTAL DE CICLE COMPLET

Aquest experiment consisteix en observar i avaluar el funcionament de cada prototip durant un cicle complet d'aspiració, és a dir, s'observa al trajecte complet que fan les partícules des de l'entrada fins a la sortida del sistema.

En el cicle d'aspiració s'observen quatre fases:

1. **Aspiració de les partícules:** S'avalua la capacitat d'accelerar les partícules i fer-les passa per l'embocadura fins a la part superior de sistema on hi ha el filtre de 2mm.
2. **Retenció de partícules de major diàmetre:** S'analitza l'efecte que té el filtre en el flux de partícules i l'efecte que té l'obstrucció d'aquest en el flux d'aire.
3. **Acceleració i generació del cicló:** S'observa el pas de les partícules a través del cicló i l'entrada al dipòsit. S'observa la velocitat i direcció de les partícules en la sortida del cicló.
4. **Retenció de partícules:** S'avalua la capacitat que té el sistema de separar i retenir les partícules aspirades dins el dipòsit. S'observen els efectes de la força centrípeta i l'estabilitat del cicló.

Dels resultats d'aquesta prova experimental se'n poden extreure les següents conclusions genèriques observades en totes les configuracions:

- El filtre d'entrada al cicló amb forats de 2 mm de diàmetre és massa fi i molt propens a obstruir-se.
- La resistència del flux és massa elevada en totes les configuracions. La velocitat de l'aire a l'embocadura del prototip no és prou elevada. Les partícules de cafè més grans tenen dificultat per ascendir fins al filtre del sistema. Quan l'aspirador treballa a màxima potència, s'activa la vàlvula de bypass perquè el flux d'aire en el conducte d'aspiració és insuficient.
- La secció de pas en el cicló és massa petita. L'estretament de secció que s'esperava que accelerés l'aire genera massa resistència al flux. L'estretament també propícia l'acumulació de partícules entre les parets, obstruint més el pas de l'aire i augmentant la resistència.
- L'aire que accedeix al dipòsit genera un cicló en gairebé totes les configuracions, en algunes d'elles aquest és molt inestable, de manera que les partícules són aspirades immediatament després d'accedir al dipòsit.

9.2.2 OBSERVACIÓ EXPERIMENTAL DE CICLE PARCIAL

La segona part del procés experimental, consisteix a disminuir la complexitat del procés i eliminar variables analitzades en l'apartat anterior, L'objectiu és avaluar exclusivament l'efecte que té la geometria de cada configuració en la creació i conservació d'un cicló i, per tant, en la capacitat de retenció de partícules.

El procediment d'aquesta fase consisteix a introduir partícules dins el dipòsit i observar el seu comportament una vegada s'acciona l'aspirador. El flux d'aire genera un cicló, lliure dels efectes creats per l'obstrucció del material en el filtre. En aquesta fase, s'ha gravat el cicló en càmera lenta per tal de veure clarament el comportament de les partícules dins el dipòsit.

Els vídeos i imatges de cada prova experimental poden ser consultats a l'Annex 04: Recopilació d'imatges i vídeos de les proves experimentals.

Les principals observacions de cada configuració testejada són les següents:

1. Dipòsit i tapa superior de disseny 1 (Ø30-Ø30)

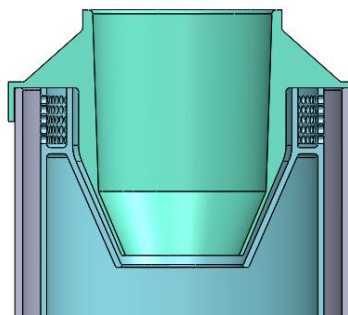


Figura 34. Prototip de configuració de disseny 1 (Ø30-Ø30) CICLONIC2 (font pròpia)

No resulta fàcil determinar el sentit de gir i la trajectòria completa de les partícules. Un gran nombre de partícules s'acumulen en una regió concreta a la base del dipòsit, mentre que en la part superior s'aprecia un flux constant de partícules en rotació. Paral·lelament, hi ha un flux vertical de matèria, on les partícules dipositades a la base semblen ser aspirades pel cicló que hi ha a la part superior. A l'altre costat del dipòsit s'aprecia una columna vertical de matèria, per on descendeixen les partícules i són acumulades de nou en la regió estàtica a la base del dipòsit, completant així un cicle complet en el qual sembla ser un cicló obliquo.

2. Dipòsit i tapa superior de disseny 2 (Ø40-Ø40)

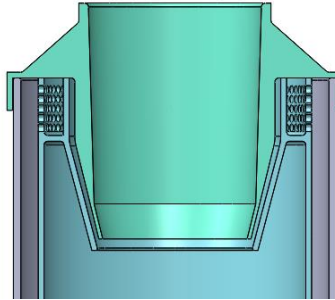


Figura 35. Prototip de configuració de disseny 2 (Ø40-Ø40) CICLONIC2 (font pròpia)

El cicló generat és força inestable, totes les partícules són desplaçades a la regió superior del dipòsit, on s'agrupen i tendeixen a col·lapsar a causa del seu propi pes, oscil·lant amunt i avall en cada rotació. Quan les partícules perden alçada i impacten contra la base del dipòsit, aquestes perden energia cinètica i són fàcilment absorbides pel flux d'aire que surt del sistema. El cicló no és capaç prou d'accelerar les partícules, molta energia es destina a sostenir el material en la part superior del dipòsit, aparentment degut al canvi de sentit que fa l'aire quan impacta amb la base del dipòsit.

3. Dipòsit de disseny 3 i tapa superior de disseny 2 (Ø50-Ø40)

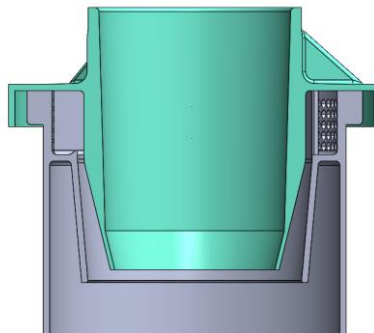


Figura 36. Prototip de configuració de disseny 1 (Ø50-Ø40) CICLONIC2 (font pròpia)

En aquesta configuració la matèria sembla ser atrapada en la regió superior i inferior del cicló. La velocitat de rotació és més elevada, constant, i les partícules oscil·len verticalment en menor mesura. Aquesta configuració genera el cicló més estable, tot i així, una bona part de la matèria ha resultat aspirada i ha abandonat el sistema. Possiblement, les partícules que perden energia i accedeixen a la regió central del cicló són absorbides pel flux d'aire que abandona el sistema.

4. Dipòsit de disseny 3 i tapa superior de disseny 1 (Ø50-Ø30)

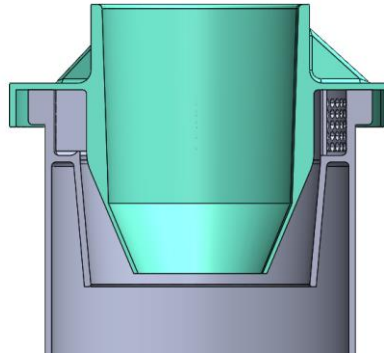


Figura 37. Prototip de configuració de disseny 1 (Ø50-Ø30) CICLONIC2 (font pròpia)

En aquesta configuració, a causa de l'augment en la divergència entre les parets del dipòsit i la tapa superior, sembla que el material no és capaç d'assolir velocitats tan elevades. El cicló que es genera és capaç de desplaçar gairebé tot el material a la regió superior, però una part sembla quedar dipositada a la base mentre va sent aspirada directament pel flux d'aire en el centre del dipòsit que escapa del sistema. Les partícules que han assolit prou velocitat es veuen afectades per l'acumulació de material que hi ha entre la paret del dipòsit i el con exterior. Aquest material acumulat desvia el flux d'aire, fent perdre velocitat a les partícules en moviment que

5. Dipòsit de disseny 2 i tapa superior de disseny 1 (Ø40-Ø30)

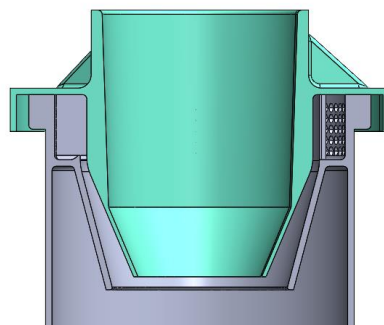


Figura 38. Prototip de configuració de disseny 1 (Ø40-Ø30) CICLONIC2 (font pròpia)

El comportament observat és molt similar a la configuració número 2 (Ø40-Ø40). La velocitat del cicló a la base del dipòsit és elevada, fent ascendir a la major part de les partícules a la regió superior. Quan aquestes tendeixen a perdre velocitat descendeixen per efecte de la gravetat, entren en contacte amb la regió del cicló que gira amb més velocitat, fent que accelerin i ascendeixin de nou. Les partícules que queden rotant a la regió inferior són absorbides a poc a poc pel flux d'aire que abandona el sistema. El cicló sembla ser força estable i el grau de retenció de matèria és dels més elevats.

9.2.3 CONCLUSIONS I PROPOSTES DE MILLORA

Les observacions realitzades permeten detectar les següents oportunitats de millora:

- Eliminar completament el filtre amb mallat de 2 mm, o implementar un filtre molt més permissiu, possiblement, entorn els 5 mm de diàmetre per evitar l'obstrucció del flux. L'eliminació del filtre requereix un augment de la separació entre les superfícies del tronc de con que genera el cicló, que, per altra banda, ha demostrat ser insuficient en mostrar obstruccions.
- L'augment de la secció de pas en el con, permetrà que la velocitat de l'aire disminueixi. Per compensar la pèrdua de velocitat es pot reduir el radi del cicló, augmentat així l'acceleració centrípeta experimentada per les partícules.
- La regió central del cicló sempre és propensa a desplaçar partícules a la sortida del sistema. Cal valorar altres opcions o vies per la sortida de l'aire. S'ha detectat que com major és l'amplitud del cicló, la velocitat tangencial és major, però la regió central on les partícules poden ser capturades també augmenta.
- El sistema requerirà una vàlvula antiretorn de la brutícia que no assoleixi ascendir fins a la part superior del sistema on s'accedeix al cicló.
- La forma del dipòsit afecta les partícules que són aspirades, ja que la base es troba perpendicular a la seva trajectòria i quan aquestes impacten contra la base, reboten i perden velocitat, fent que es dificulti el trajecte fins a l'entrada al cicló.

10. SEGONA ITERACIÓ: REDISENY I APLICACIÓ DE MILLORES

Amb els resultats obtinguts i les propostes de millores definides s'ha tornat a iterar en la fase de disseny conceptual, on es defineixen noves idees i geometries. Aquestes s'han representat en dibuixos conceptuals abans de procedir amb el modelatge 3D. D'aquest procés n'han sorgit diversos dissenys nous, els quals comparteixen un gran nombre de similituds. El disseny que s'ha modelat en 3D és el que es presenta a continuació:

10.1 DISSENY CONCEPTUAL CICLÒNIC 4

Aquest nou disseny està basat en la geometria de l'aspirador domèstic utilitzat en les proves experimentals, concretament el model POLTI C130. Aquest aspirador incorpora un sistema de filtració ciclònica parcial, és a dir, fa servir el cicló per separar la majoria de partícules del flux d'aire, mentre que un filtre HEPA captura les partícules restants. El sistema ciclònic d'aquest aspirador consisteix en la creació de dos ciclons, un dins de l'altre.



Figura 39. Sistema de filtració ciclònic d'aspirador domèstic Polti C130. [22]

En aquest cas es pren de referència la geometria externa que genera el cicló exterior i s'incorpora una geometria similar en el sistema actual tal i com mostra la següent imatge.

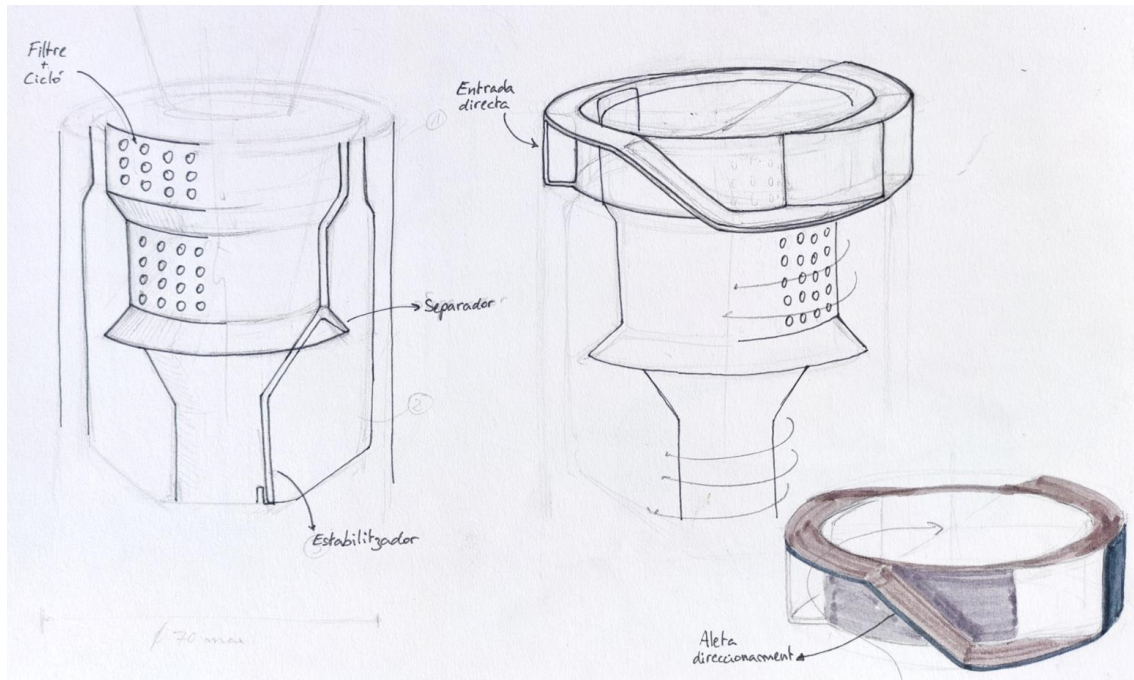


Figura 40. Disseny conceptual CICOLONIC 4 (font pròpia)

En aquest disseny es conserva la carcassa exterior utilitzada en els prototips anterior. La resta de components han estat modificats a l'hora d'implementar les propostes de millora. Les diferències principals són les següents:

- S'ha eliminat el filtre de 2 mm i s'ha augmentat a quatre unitats el nombre d'entrades al deflector d'aire. S'espera que això faciliti notablement el flux d'aire i eviti el bloqueig per acumulació de matèria.
- El tronc de con és substituït per un cos de revolució encarregat de proporcionar una sortida per l'aire que és aspirat a través dels forats circulars mentre fa la funció de filtre per les partícules més grans. Aquests forats es troben distribuïts en dues etapes. En la primera, es troben repartits en quatre franges, coincidint amb els quadrants per on entra l'aire. Els forats es troben avançats respecte a les entrades d'aire per permetre que el flux i partícules accelerin abans de passar-hi a través. S'espera que les partícules aspirades es desplacin a l'exterior del dipòsit per efecte de la força centrípeta i no passin a través de la primera etapa.

La segona etapa, consta de forats una mica més petits distribuïts de forma contínua. Aquests proporcionen una sortida alternativa per l'aire que no ha passat a través de la primera etapa. També contribueixen en augmentar la superfície total disponible pel pas del flux, facilitant el flux del caudal a través del sistema.

La geometria del tub també permet a l'aire generar un cicló més estable pel fet que el centre del cicló queda delimitat físicament. Reduint així la desestabilització i evitant que les partícules que perden velocitat puguin escapar del sistema.

10.2 DISSENY BÀSIC CICLÒNIC 4

Tal com s'ha fet amb el disseny conceptual CICLONIC2, en aquest cas també s'ha modelat l'objecte amb programari Solidworks amb el mateix nombre de components inicials que els dissenys anteriors, canviant tan sols la tapa superior cònica, per un cos de revolució més complexa. D'aquesta manera només és necessari modelar el cos central, aprofitant la resta de components.

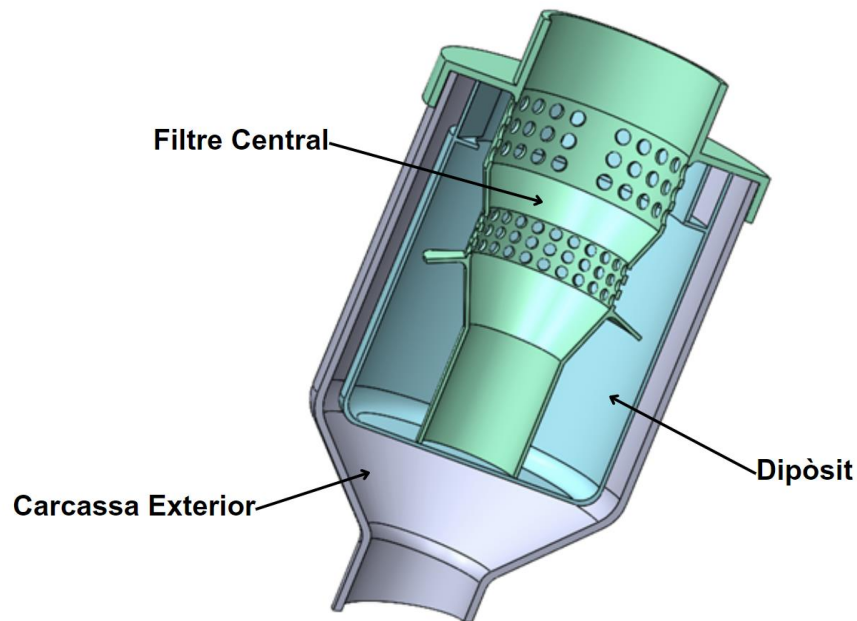


Figura 41. Modelat CAD bàsic del disseny CICLONIC 4 (font pròpia)

Per validar la creació d'un cicló s'han realitzat les mateixes simulacions al *Solidworks Flow Simulator* que els dissenys anteriors. Els resultats s'exposen en els següents apartats.

10.3 RESULTATS D'ESTUDI DE SOLIDWORKS FLOW SIMULATOR

Els resultats de la simulació mostren aspectes molt favorables respecte les trajectòries i estabilitat del cicló.

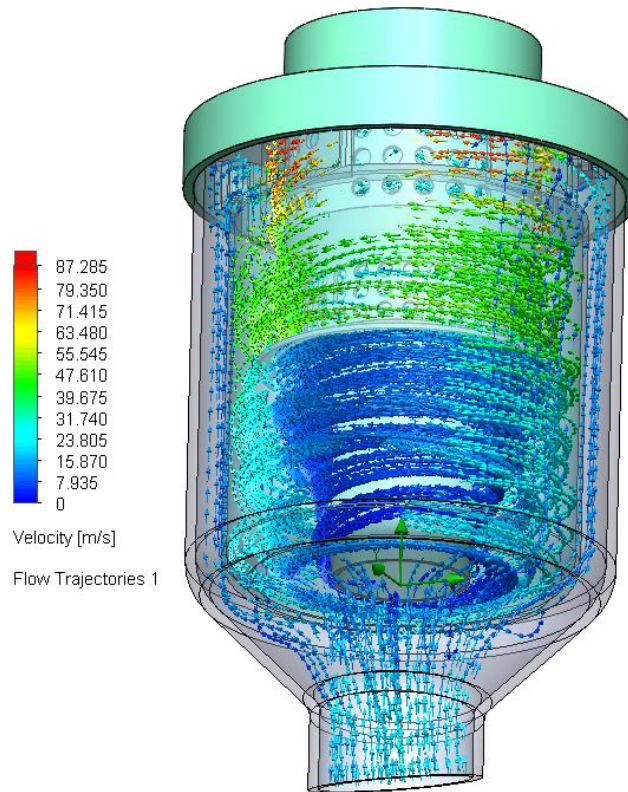


Figura 42. Velocitat i trajectòries de flux de disseny CICLONIC 4 (font pròpia)

Tal com mostra la Figura 47, les línies de flux mantenen la major component del vector velocitat en el pla YZ, perpendicular a l'eix de rotació del cicló. En la imatge es mostren les trajectòries lleugerament seccionades per facilitar la visibilitat del comportament del flux al centre del cicló. El separador i l'augment de l'espai disponible, a mesura que el diàmetre del tub central disminueix, generen una desacceleració de l'aire notable. Aquesta regió pot ser favorable per l'acumulació de les partícules capturades.

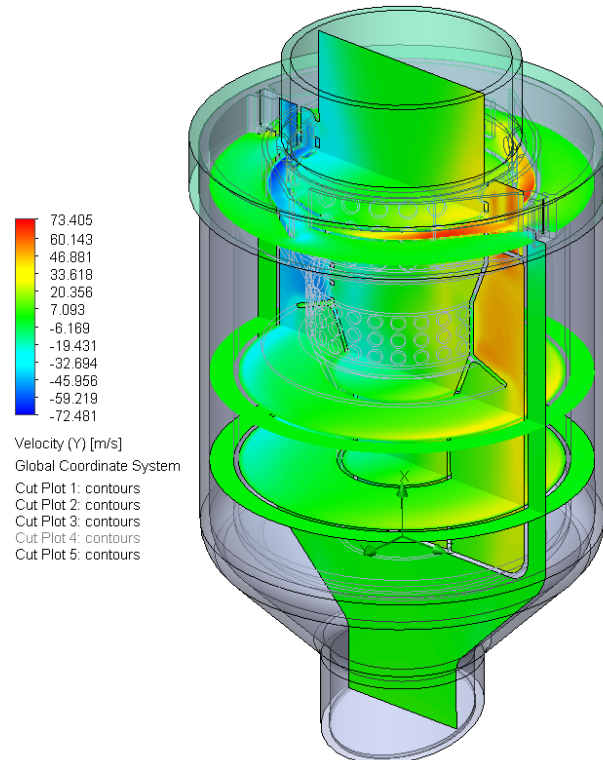


Figura 43. Velocitat (Y) en plans de secció del disseny Ciclònic 4 (font pròpia)

La Figura 43 mostra els mateixos plans de tall utilitzats en l'anàlisi aerodinàmica del disseny ciclònic 2. En aquest cas la mesura representada també és la component Y de la velocitat del flux, per tal d'analitzar l'acceleració centrípeta experimentada per les partícules que hagin assolit velocitats similars.

En la regió superior del sistema s'observen velocitat tangencials majors, on s'assoleix una acceleració centrípeta d'entorn els 25000g, aplicant un diferencial de pressió de 6 kPa. Com a referència, és força inferior a les 79000g que genera el sistema ciclònic de Dyson. Per entendre la relació entre la força de fregament i la força centrípeta, es calcula la relació entre les dues forces en funció del radi de la partícula:

$$F_{centrípeta} = \frac{v^2}{r} m$$

$$F_{drag} = \frac{c_d \rho_a v^2 A}{2}$$

$$\frac{F_{centrípeta}}{F_{drag}}(r_p) = \frac{\frac{v^2}{r_c} m}{\frac{c_d \rho_a v^2 A}{2}} = \frac{2v^2 m}{c_d \rho_a v^2 A r_c} = \frac{2v^2 V \rho_p}{c_d \rho_a v^2 A r_c} = \frac{2v^2 \frac{4}{3} \pi r_p^3 \rho_p}{c_d \rho_a v^2 \pi r_p^2 r_c} = \frac{2 \frac{4}{3} r_p \rho_p}{c_d \rho_a r_c}$$

Tenint con compte que:

- ρ_p (densitat partícula) = 1520 kg/m³
- c_d (coeficient de fregament d'una esfera) = 0,47
- ρ_a (densitat de l'aire a nivell del mar) = 1,225 kg/m³
- r_c (Radi mig del cicló) = 0.003m

$$\frac{F_{centrípeta}}{F_{drag}}(r_p) = \frac{2 \frac{4}{3} r_p 1520}{0.001727} = 2346697 r_p$$

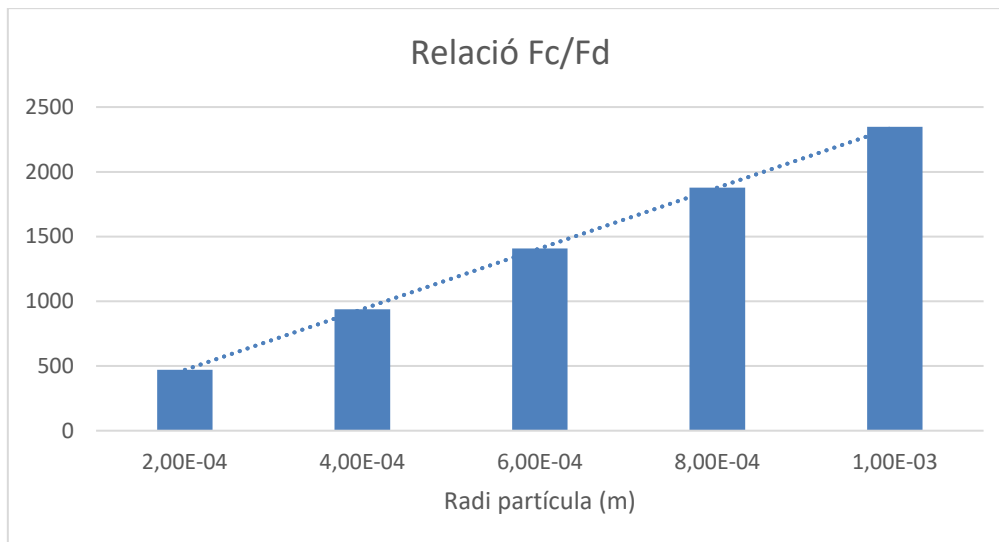


Figura 44. Relació entre força de fregament i força centrípeta en funció del radi de la partícula (font pròpia)

La Figura 44, mostra la relació que hi ha entre la força centrípeta experimentada per la partícula i la força de fregament creada per l'aire. Tal com hem calculat, la línia de tendència defineix una recta del tipus $y=mx+n$. On el pendent de la recta és el coeficient calculat, x és el radi de la partícula i n és zero. Per tant, dins el cicló, la força centrípeta sempre serà major que la força de fregament de l'aire.

10.4 ESTUDI DE PARTÍCULES DE DISSENY CICLÒNIC 4

Per tal de contrastar els resultats d'aquest model amb els dissenys presentats anteriorment, s'ha realitzat el mateix estudi de partícules que en la fase anterior. Aquests valors només es prenen de referència per tal de contrastar els resultats de la simulació amb els resultats experimentals. A continuació, es mostren els resultats obtinguts de la simulació:

Paràmetre	Disseny1 (D=30mm)	Ratio [%]	Disseny2 (D=40mm)	Ratio [%]	Disseny3 (D=50mm)	Ratio [%]	CICLÒNIC4	Ratio [%]
Number of Particles	57	100	87	100	71	100	268	100
Number of Particles (Inlet_Gravel_2mm)	3	5,26	22	25,29	8	11,27	24	8,96
Number of Particles (Inlet_Gravel_1.5 mm)	2	3,51	20	22,99	11	15,49	17	6,34
Number of Particles (Inlet_Gravel_1mm)	1	1,75	24	27,59	12	16,90	15	5,60
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.5mm)	4	7,02	10	11,49	5	7,04	24	8,96
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.25mm)	21	36,84	6	6,90	15	21,13	45	16,79
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.125mm)	22	38,60	5	5,75	18	25,35	57	21,27
Number of Particles (Inlet_Gravel_0.0625mm)	4	7,02	0	0,00	2	2,82	86	32,09
Inlet Mass Flowrate per injection [Kg/s]	8,33E-03	100	8,33E-03	100	8,33E-03	100	8,33E-03	100
Total Mass Accumulation Rate (2mm) [kg/s]	4,91E-05	0,59	3,65E-04	4,38	1,33E-04	1,59	6,69E-04	8,03
Total Mass Accumulation Rate (1.5 mm) [kg/s]	3,33E-05	0,40	3,28E-04	3,94	1,77E-04	2,12	4,74E-04	5,69
Total Mass Accumulation Rate (1mm) [kg/s]	1,67E-05	0,20	3,91E-04	4,69	1,98E-04	2,38	4,14E-04	4,97
Total Mass Accumulation Rate (0.5mm) [kg/s]	6,65E-05	0,80	1,63E-04	1,95	7,92E-05	0,95	6,66E-04	7,99
Total Mass Accumulation Rate (0.25mm) [kg/s]	3,48E-04	4,18	9,86E-05	1,18	2,38E-04	2,86	1,22E-03	14,67
Total Mass Accumulation Rate (0.125mm) [kg/s]	3,60E-04	4,32	7,80E-05	0,94	2,90E-04	3,48	1,56E-03	18,72
Total Mass Accumulation Rate (0.0625mm) [kg/s]	5,87E-05	0,70	4,76E-103	0,00	3,31E-05	0,40	2,33E-03	28,01
Total Inlet Mass Flowrate [Kg/s]	5,83E-02	100	5,83E-02	100	5,83E-02	100	5,83E-02	100,00
Total Mass Accumulation Rate [kg/s]	9,33E-04	1,60	1,42E-03	2,44	1,15E-03	1,97	7,34E-03	12,59

Taula 13. Valors estadístics de l'estudi de partícules (font pròpia)

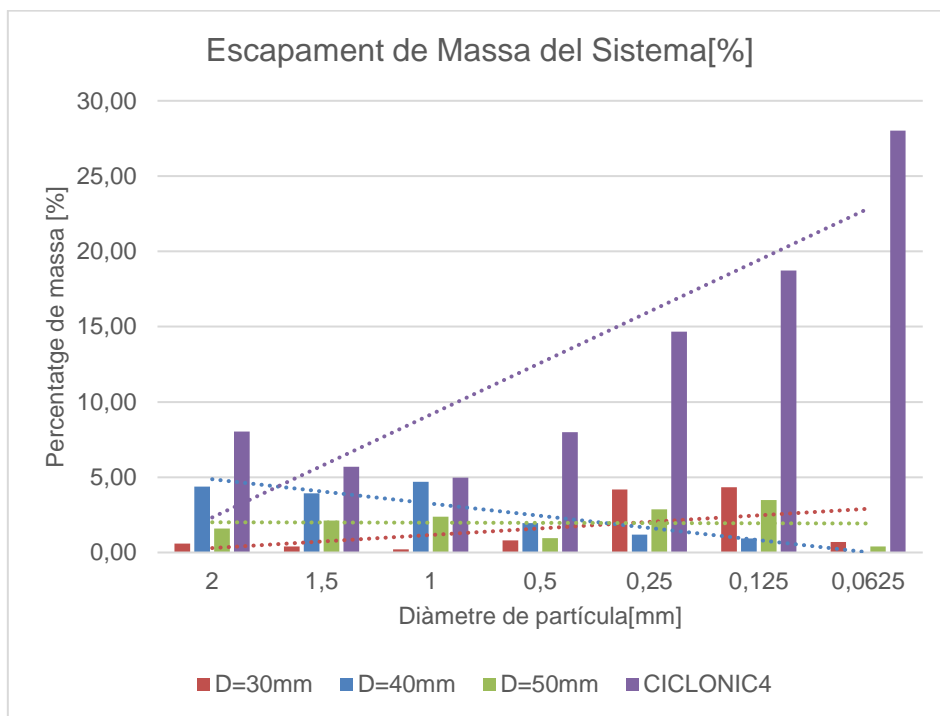


Figura 45. Percentatge de massa que escapa el sistema (font pròpia)

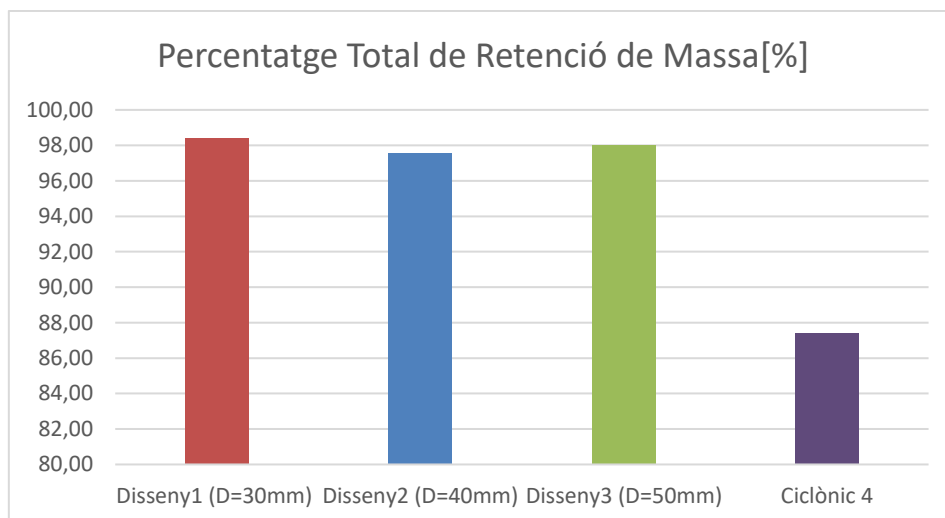


Figura 46. Comparativa de percentatge total de retenció de massa dels dissenys desenvolupats (font pròpia)

Els resultats de l'estudi de partícules mostren que el disseny Ciclònic 4 és força menys eficient retenint partícules, especialment les de menor diàmetre. Tot i això, tal com mostren les proves experimentals, aquests valors es veuen afectats pels fenòmens emergents amb el pas del temps; com la propagació i creixement de vòrtex turbulents, o l'efecte que tenen les mateixes partícules en el flux d'aire, que poden causar la desestabilització del cicló. Per aquesta raó es procedeix a imprimir un prototip que permeti comparar els dissenys mitjançant l'observació del comportament real del flux i les partícules.

10.5 PROTOTIP FUNCIONAL DE DISSENY CICLÒNIC 4

En aquest apartat, es mostra el procés de desenvolupament del prototip funcional. Com s'ha comentat anteriorment, s'ha aprofitat la mateixa carcassa exterior utilitzada en el prototip Ciclònic 2. Per facilitar la imprimibilitat dels components, s'han fet modificacions en el model CAD que s'ha desenvolupat per realitzar les simulacions de fluids. El dipòsit i l'entrada d'aire, on hi ha les aletes direccionals del flux, s'imprimeixen fent ús de tecnologies d'impressió 3D diferents, SLA i SLS respectivament. Posteriorment, aquests dos components són units amb un encaix ajustat.

El cos central també ha estat imprès amb tecnologia SLS de Formlabs. Tan sols s'han afegit nervis estructurals per reduir la possible deformació en el procés de refredament del material, garantint així un encaix uniforme i precís que assoleixi un bon grau d'estanquitat.

Altes modificacions generals consisteixen en l'arrodoniment d'arestes, això permet reduir les tensions generades en el procés de refredament de peces impreses en tecnologia SLS o en el procés de curat de peces de resina.

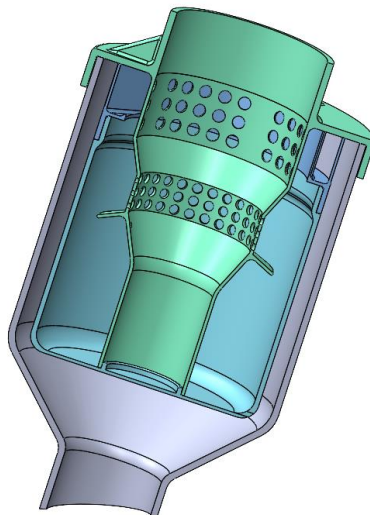


Figura 47. Model CAD del prototip funcional del disseny Ciclònic 4 (font pròpia)

A continuació es mostren els paràmetres d'impressió utilitzats per cada component del prototip.

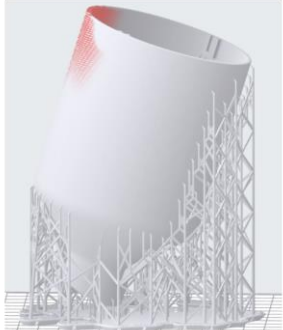

Disseny 1 (D=30mm) / Disseny2 (D=40mm) / Disseny3 (D=50mm) / Ciclònic 4			CICLÒNIC 4		
Carcassa Exterior			Dipòsit		
Paràmetres d'impressió	Impressora	Material	Paràmetres d'impressió	Impressora	Material
Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Clear V4 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Clear Resin	Configuración del trabajo TIPO DE IMPRESORA Sin impresora Form 3 Resina: Clear V4 Grosor de capa: 0,100 mm Ajustes de impresión: Default	Formlabs Form 3+	Clear Resin
Detalles Tiempo de impresión: 10 h 29 min Capas: 1519 Volumen: 94,18 ml			Detalles Tiempo de impresión: 6 h 39 min Capas: 1047 Volumen: 48,03 ml		
Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) TESTING_CICLO...ASSA EXTERIOR			Comprobaciones de estado Lista de modelos (1) DIPÓSIT_CICLONICA_V2		

Figura 48. Paràmetres d'impressió SLA de components del prototip funcional Ciclònic 4 (font pròpia)

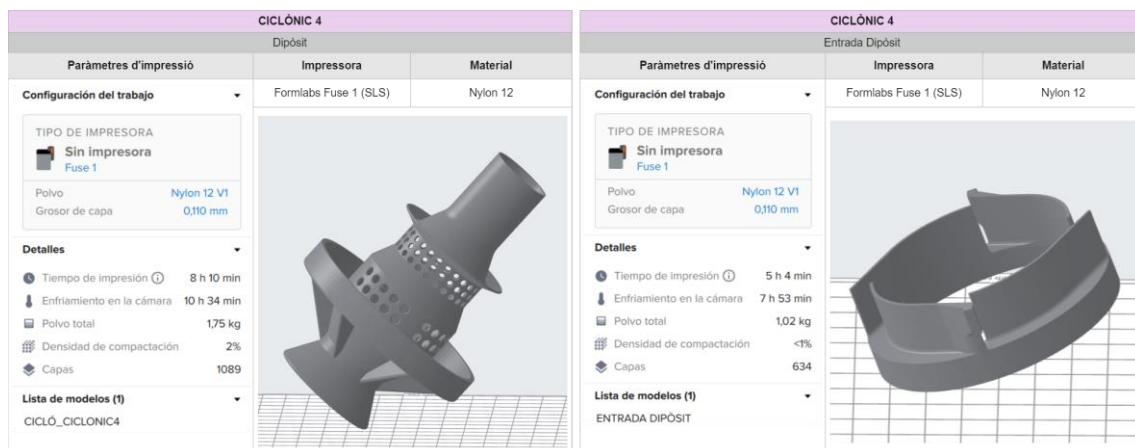


Figura 49. Paràmetres d'impressió SLS de components del prototip funcional Ciclònic 4 (font pròpia)

El material d'impressió SLS és Nylon 12. Aquest termoplàstic és el més versàtil i barat de la gamma de materials del fabricant. És comunament usat en el procés de prototipat de components o assemblatges.

10.6 RESULTATS EXPERIMENTALS DEL DISSENY CICLÒNIC 4 I APLICACIÓ DE MILLORES

Les proves experimentals del disseny ciclònic 4 s'han realitzat utilitzant l'aspirador domèstic Polti C130 i cafè molt com a substància de testatge. En aquest cas, només s'ha dut a terme la prova experimental de cycle complet, ja que no s'anticipen obstruccions de cap tipus, degut a que s'ha eliminat el filtre previ de 2 mm i els forats del filtre central són considerablement més grans que les partícules aspirades.

Els resultats experimentals han sigut molt favorables. Les imatges i vídeos poden ser consultats en l'Annex 04: Recopilació d'imatges i vídeos de les proves experimentals. Degut a que el cafè molt és molt lleuger no ha sigut possible determinar amb precisió, la diferència de pes en el cafè aspirat, i el cafè recuperat en el dipòsit intern del sistema. Visualment el percentatge de retenció sembla ser superior al 90%.

Tot i això, s'han detectat importants millores a aplicar en el disseny final.

1. És necessari aplicar un augment de secció de pas en l'entrada dels deflectors d'aire per evitar obstruccions causades per les partícules més grans, com per exemple fulles, petits trossos de paper o de plàstic. Per preservar la velocitat de l'aire a l'entrada del cicló, és possible reduir el nombre de deflectors a tres unitats per tal de disminuir l'increment d'àrea total de secció.
2. Reducció del diàmetre del filtre central i el nombre d'orificis d'escapament per incrementar la velocitat mitja del flux i l'acceleració centrípeta que actua sobre les partícules.
3. Augmentar la capacitat del dipòsit per allargar l'autonomia d'ús abans que s'ompli completament.
4. Modificar la base del dipòsit per evitar que les partícules aspirades impactin directament en la superfície plana de la base, facilitant així que conservin la velocitat obtinguda per tal d'arribar a l'entrada dels deflectors d'aire.

11. DISSENY FINAL DE SISTEMA CICLÒNIC

En aquest apartat es mostren les millores aplicades que conformen el disseny final.

1. Reducció d'entrades en el deflector d'aire i augment en la secció de pas per evitar obstruccions.



Figura 50. (Vista de secció). Millores del deflector d'aire: Reducció de quatre a tres entrades amb secció de pas més gran. (font pròpia)

2. Reducció de 4mm del diàmetre i reducció del nombre d'orificis del filtre central.

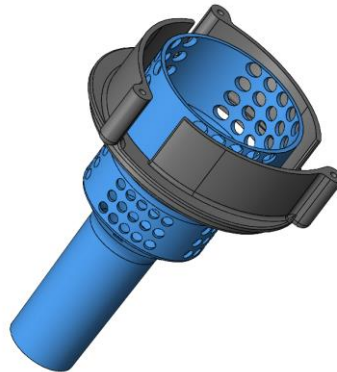


Figura 51. (Vista de secció). Reducció del diàmetre del filtre central i reducció del núm. d'orificis en l'entrada del cicló per augmentar la velocitat del flux. (font pròpia)

3. Augment de l'alçada del dipòsit i conicitat en la base per facilitar la canalització del flux d'aire i les partícules aspirades.

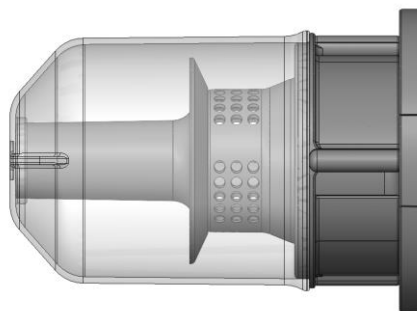


Figura 52. Conicitat en la base del dipòsit per facilitar la canalització de les partícules aspirades. (font pròpia)

A continuació, es mostra una comparativa del disseny final que incorpora les millores proposades.

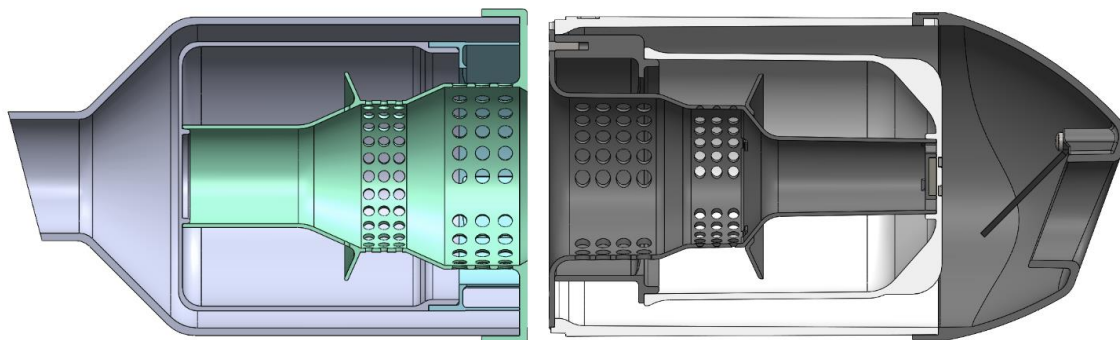


Figura 53. comparativa de disseny Ciclònic 4 i disseny final. (font pròpia)

11.1 MUNTATGE DE MÒDULS I COMPONENTS

El mòdul de filtració ciclònica està compost per 10 components que formen dos submòduls, sense tenir en compte els cargols de fixació. A continuació s'identifica cada component i el submòdul al que pertany.

Mòdul de filtració ciclònica

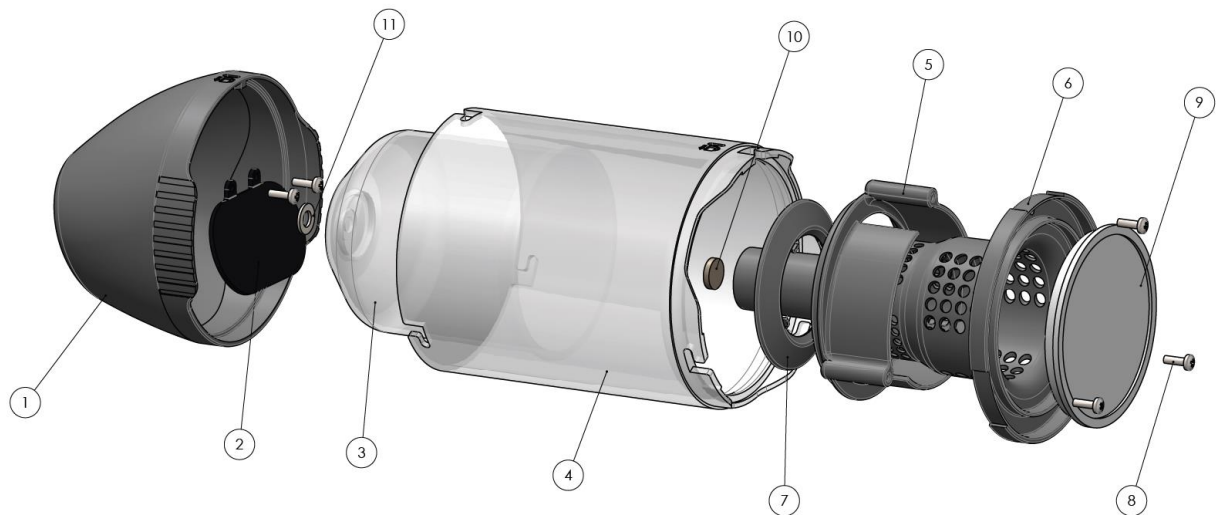


Figura 54. Vista esclatada: Components del disseny final del sistema de filtració ciclònica (font pròpia)

- **Llistat de components:**

1	Embocadura	7	Estabilitzador
2	Vàlvula Antiretorn	8	Cargols REMFORM 2,5mm
3	Dipòsit	9	Filtre HEPA
4	Carcassa Exterior	10	Iman Ø10x2mm
5	Deflector d'aire	11	Volandera M5 acer inoxidable
6	Filtre Central		

Taula 14. Llistat de components del disseny final (font pròpia)

- **Submòdul d'embocadura**

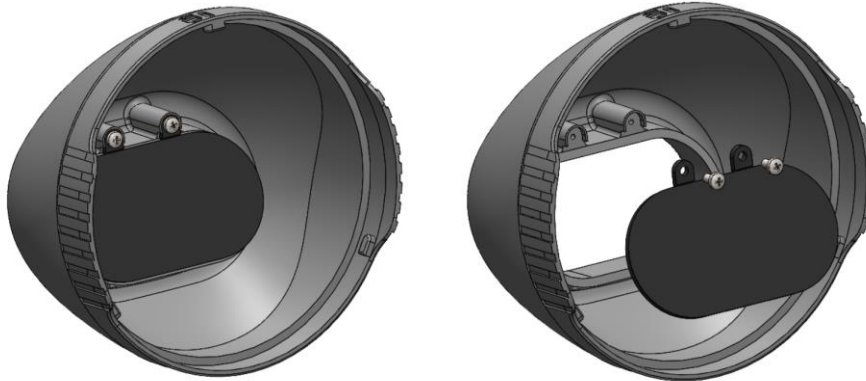


Figura 55. Submòdul d'embocadura i vàlvula antiretorn (font pròpia)

El submòdul de l'embocadura està compost per la mateixa embocadura i la vàlvula antiretorn. És el mòdul encarregat de canalitzar l'aire dins el sistema de filtració i de retenir la brutícia que no ascendeix fins al deflector d'aire a causa del seu propi pes.

- **Submòdul intern de filtració ciclònica**

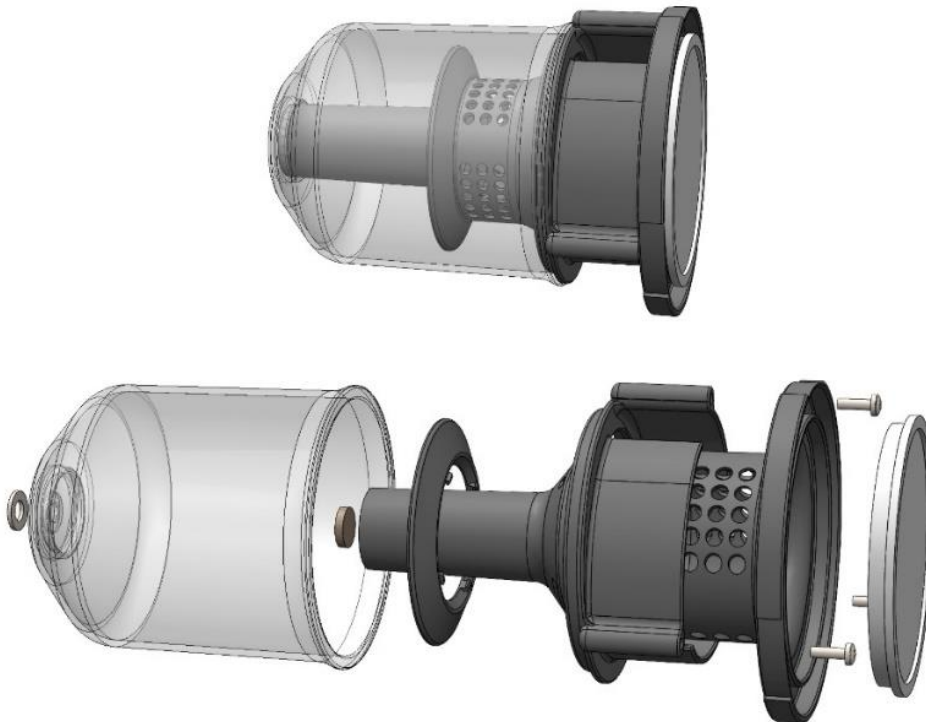


Figura 56. Submòdul intern de filtració ciclònica. Muntatge i explosionat (font pròpia)

11.2 ENCAIXOS MECÀNICS ENTRE COMPONENTS

La unió entre components ha estat determinada en funció de la usabilitat del producte, la seva interacció amb l'usuari i els requisits funcionals de cada component. Els components estàtics que no requereixen muntatge i desmuntatge en la seqüència d'ús, són units mitjançant cargols autoroscants REMFORM de 2,5mm. Aquests components poden ser desmuntats si es desitja tot i que la seva manipulació no està prevista al llarg de la vida útil del producte. La resta d'unions consisteixen en encaixos geomètrics. Per garantir el tipus d'encaix desitjat entre els components, cal aplicar toleràncies dimensionals segons la norma UNE-EN 20286-1:1996 (ISO 286-1988) [23], que permeten determinar el tipus d'encaix desitjat.

A continuació, es presenten les solucions mecàniques per cada unió entre els components.

1. Embocadura – Vàlvula Antiretorn



Figura 57. Fixació amb cargols REMFORM de 2,5mm de la vàlvula antiretorn a l'embocadura (font pròpia)

La unió d'aquests dos components consisteix en dos cargols autoroscants REMFORM de 2,5 mm que subjecten la làmina flexible, que fa la funció de vàlvula antiretorn, amb l'embocadura. No està previst el seu desmuntatge durant la seqüència d'ús, ja que no requereix la intervenció de l'usuari. Tot i això, es contempla la necessitat de separar els dos components al final de la vida útil del producte, en el procés de separació de materials.

2. Embocadura – Carcassa Exterior

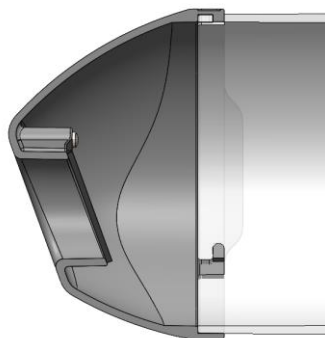


Figura 58. Encaix de guia entre l'embocadura i carcassa exterior (font pròpia)

La unió d'aquests dos components ha de ser fàcilment desmuntable, ja que forma part de la seqüència d'ús habitual de l'usuari cada vegada que cal buidar el dipòsit. També

ha de ser una unió resident i ha de proporcionar bona estanquitat per evitar que l'aire flueixi entre els dos components. En aquest cas, s'opta per un encaix geomètric de guia, amb toleràncies dimensionals que permetin poc joc entre els components. Es conta amb tres punts de fixació, que proporcionen major rigidesa i estabilitat davant impactes i forces aplicades en qualsevol direcció.

Aquest encaix, també permet a l'usuari muntar i desmuntar els components ràpidament sense fer ús d'eines, i prescindint de components addicionals característics d'altres tipus d'unió com per exemple, una frontissa i enclavament mecànic, com el que es pot observar en alguns dels referents analitzats com l'aspirador Xiaomi Mi Vacuum mini, o la Rowenta X-Touch i el model BRIGII M1 entre d'altres.

3. Carcassa exterior – Filtre central

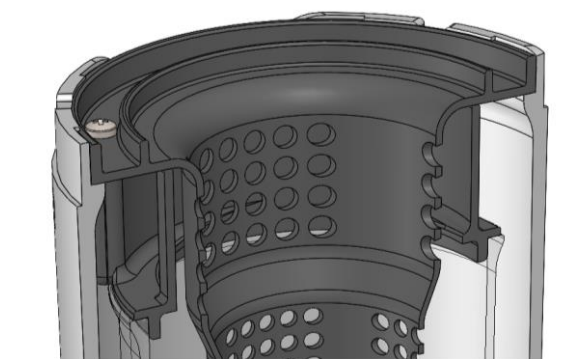


Figura 59. Encaix del mòdul ciclònic interior i la carcassa exterior (font pròpia)

El subasseblatge intern del sistema ciclònic queda fixat en la seva posició a través del filtre central, que encaixa amb la carcassa exterior. L'encaix d'aquests dos components, també consisteix en un encaix geomètric amb toleràncies ajustades que permeten el fàcil muntatge i desmuntatge. Alhora, garanteix bona estanquitat del sistema.

4. Filtre central – Deflector d'aire

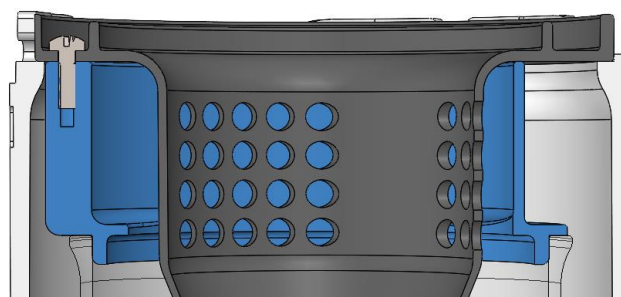


Figura 60. Fixació amb cargols REMFORM de 2,5mm del deflector d'aire i el filtre central (font pròpia)

La unió d'aquests dos components consisteix en una unió roscada desmuntable. En el deflector d'aire s'hi insereixen tres cargols REMFORM que subjecten amb el filtre central. En aquest cas, també s'opta per aquest encaix perquè no es preveu el seu desmuntatge fins al final de la vida útil.

5. Filtre Central – Estabilitzador

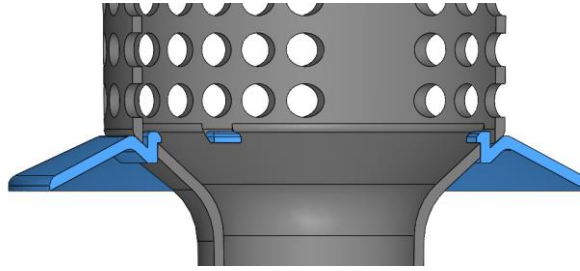


Figura 61. Encaix del disc estabilitzador amb el filtre central (font pròpia)

El filtre central i el disc estabilitzador de flux són units mitjançant un encaix fix que consisteix en inserir les pestanyes de fixació de l'estabilitzador en els encaixos del filtre central. Aquest tipus d'unió prescindeix d'elements addicionals, alhora que permet una fixació prou resident per garantir la unió dels dos components al llarg de la vida útil.

6. Filtre central – Dipòsit intern

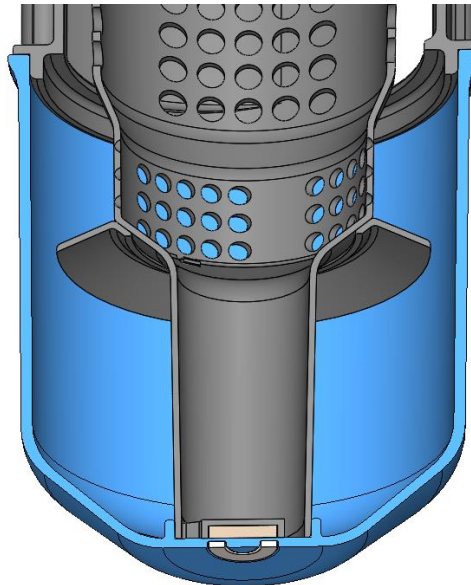


Figura 62. Fixació magnètica del dipòsit amb el mòdul intern de filtració (font pròpia)

El dipòsit intern requereix un muntatge i desmuntatge ràpid, intuïtiu i fiable, ja que és un pas fonamental en la seqüència d'ús del producte. En aquest cas, el dipòsit és subjectat pel filtre central i el deflector d'aire alhora. La unió principal amb el filtre central consisteix en una unió magnètica que permet el posicionament automàtic del dipòsit, tendint a mantenir la posició concèntrica respecte a la resta d'elements. Per garantir correcte posicionament entre el dipòsit i el filtre central, s'hi afegeix un encaix concèntric.

La força magnètica exercida per l'imant sobre la volandera és aproximadament de 12,5 N. Sent capaç de sostenir un pes d'1,2 kg.

Adicionalment, el dipòsit encaixa amb el deflector d'aire. Aquest encaix geomètric amb toleràncies H7-g6 proporciona estanquitat entre els dos components i reforça la subjecció i posicionament del dipòsit en l'assemblatge intern.

11.3 INTEGRACIÓ DEL MÒDUL DE FILTRACIÓ CICLÒNICA AL PRODUCTE

El sistema de filtració ciclònica desenvolupat en aquest projecte ha de ser incorporat en un conjunt de mòduls que conformen l'aspirador sencer. En aquest apartat, es presenta una proposta d'encaix que permet a l'usuari accedir fàcilment als components interns del mòdul de filtració ciclònica i dur a terme les accions de neteja definides en la seqüència d'ús.

La unió del mòdul de filtració amb la resta de components que conformen l'aspirador és possible a través d'un encaix amb la carcassa exterior. Tots els components del mòdul dissenyat són fixes respecte a la carcassa. La unió d'aquesta amb la resta de mòduls permetrà posicionar tots els components en el conjunt de l'aspirador.

En aquest cas, la carcassa exterior encaixa amb la carcassa del motor i la turbina de l'aspirador amb el mateix sistema que ho fa amb l'embocadura, és a dir, mitjançant un acoblament de tres guies. Així, l'usuari pot desmuntar el mòdul d'aspiració de la mateixa manera que extreu l'embocadura per extreure el dipòsit.

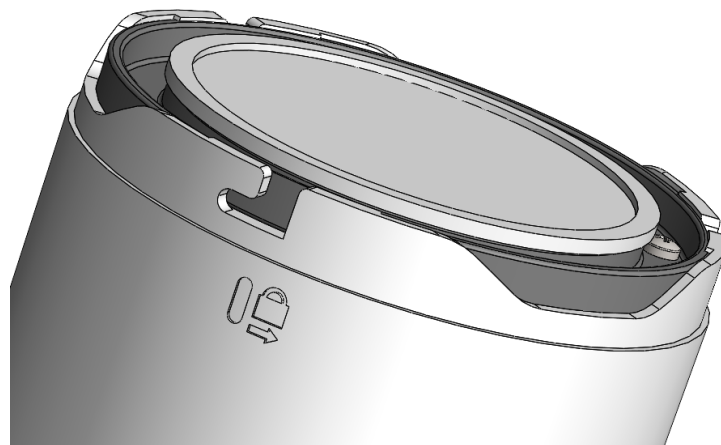


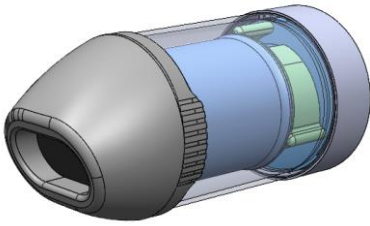
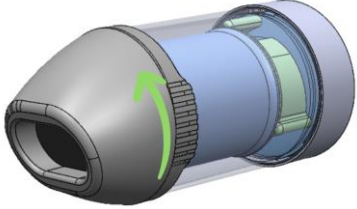
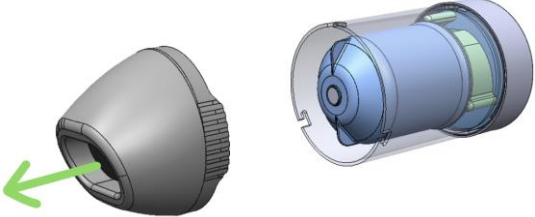
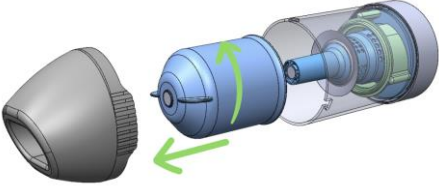
Figura 63. Proposta d'encaix del mòdul de filtració ciclònica amb el conjunt de l'aspirador. (font pròpia)

La unió entre els mòduls ha de ser resistent i s'ha de percebre per l'usuari com una unió ferma i sense joc entre els components. Per aquesta raó també es compta amb tres punts d'encaix, amb toleràncies ajustades i gruixos de secció majors, per tal d'incrementar la rigidesa de la unió.

12. SEQÜÈNCIA D'ÚS I ERGONOMIA

En aquest apartat s'analitza la seqüència d'ús del producte per tal de detectar i analitzar el tipus d'interacció que té l'usuari amb cada component.

En la seqüència habitual d'ús, quan el dipòsit de brutícia està ple, l'usuari ha d'accedir al dipòsit intern per tal de buidar-lo. Per dur a terme aquesta tasca, el procés més ràpid és el següent:

Seqüència de buidatge del dipòsit intern	
1	 <p>Estat inicial: Dipòsit ple de brutícia.</p>
2	 <p>Rotació de 7° antihorari de l'embocadura respecte la carcassa exterior per tal de desencaixar l'embocadura de la guia.</p>
3	 <p>Desmuntatge de l'embocadura per obtenir accés al dipòsit intern.</p>
4	 <p>Extracció del dipòsit intern aplicant rotació i tracció mitjançant les aletes de subjecció. Tan sols és necessari aplicar la força necessària per contrarestar la força magnètica.</p>

Taula 15. Seqüència de buidatge del dipòsit intern (font pròpia)

En aquesta seqüència d'ús, la interacció principal entre l'usuari i el producte es troba en l'embocadura i el dipòsit intern. En el pas número 2, l'usuari ha d'aplicar torsió en l'embocadura en sentit antihorari per tal de desencaixar-la de la guia de fixació. Per tal de facilitar el desmuntatge, l'embocadura compta amb dues extensions laterals que augmenten la superfície amb relleu superficial. Les ranures de les extensions redueixen el lliscament que pugui haver-hi entre la mà de l'usuari i l'embocadura.

Seguidament, una vegada desmuntada l'embocadura, l'usuari té accés directe amb el dipòsit intern. Per extreure'l, tan sols ha d'aplicar torsió amb dos dits, fent ús de les atletes de la base, mentre retira el dipòsit de l'interior de la carcassa exterior. Una vegada s'ha extret el dipòsit, aquest pot ser buidat i muntat altra vegada.

En el procés de muntatge, tan sols és necessari centrar el dipòsit en el conjunt i apropar-lo a l'imant que es troba fixat a la base del filtre central. Amb l'ajut dels encaixos geomètrics de posicionament que hi ha entre el dipòsit, el filtre central i el deflector d'aire, es garanteix un posicionament concèntric en el conjunt perquè l'imant fixi el dipòsit en la correcta posició una vegada és prou a prop.

Finalment, l'embocadura és encaixada de nou amb la carcassa exterior. L'usuari ha de fixar-se en les senyalitzacions que indiquen la ubicació de les pestanyes de fixació, i en la indicació del sentit de gir per tal d'unir els dos components. Tot i disposar de llenguatge gràfic, el sentit de fixació és horari, com les unions roscades. D'aquesta manera s'aprofita la mateixa intuïció de l'usuari, fruit de les experiències prèvies d'interacció amb sistemes similars.

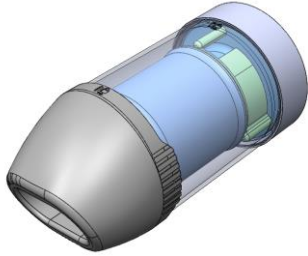
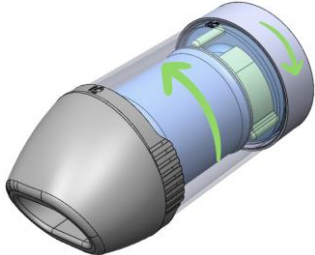
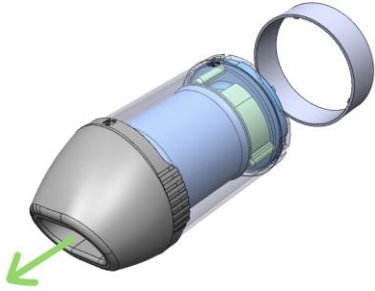
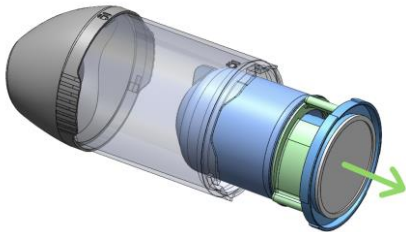
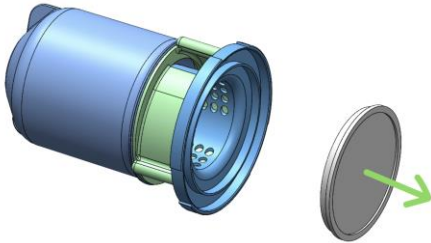
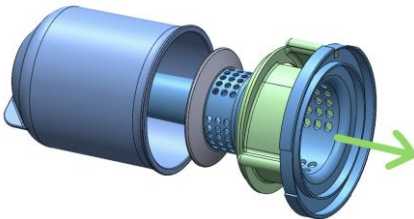


Figura 64. Indicacions de muntatge i desmuntatge de l'embocadura (font pròpia)



Figura 65. Indicacions de muntatge i desmuntatge del mòdul de filtració ciclònica (font pròpia)

Una altra seqüència d'ús important, és el procés de neteja del disc de filtració HEPA i la neteja del filtre central. En aquest cas, és necessari extreure el mòdul intern de filtració ciclònica de la carcassa exterior. El procediment és el següent:

Seqüència de desmuntatge per la neteja dels filtres		
1		Estat inicial: Dipòsit ple de brutícia.
2		Rotació de 70° en sentit antihorari de la carcassa exterior per tal de desencaixar el mòdul de filtració del mòdul motor.
3		Separació del mòdul de filtració ciclònica i la carcassa de suport.
4		Extracció del mòdul intern aplicant tracció mitjançant les pestanyes de subjecció.
5		Extracció del disc de filtració HEPA per tal de netejar-lo.
6		Desmuntatge del dipòsit intern per accedir al filtre central i procedir amb la neteja general del sistema.

Taula 16. Seqüència de desmuntatge per la neteja dels filtres (font pròpia)

Per tal de facilitar el desmuntatge del mòdul intern, la carcassa exterior disposa de tres rebaixos que permeten a l'usuari subjectar el filtre central fermament per tal d'extreure'l. Per altra banda, en la carcassa exterior hi ha la mateixa indicació gràfica que en el muntatge i desmuntatge del mòdul de filtració, ja que es tracta del mateix sistema.

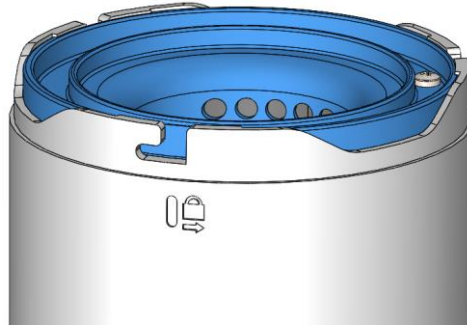


Figura 66. Pestanyes de subjectió del mòdul intern de filtració ciclònica (font pròpia)

13. SELECCIÓ DE MATERIALS

El material utilitzat per la fabricació dels components dissenyats ha de ser un termoplàstic, El procés de selecció de material consisteix a considerar els requisits de cada component i trobar un termoplàstic que satisfaci el nombre més gran de requisits possible. En el procés de disseny de detall s'ha considerat que el material de fabricació serà un termoplàstic, i que el procés de fabricació serà la injecció de plàstic per la majoria de components.

Els requisits considerats en la selecció de materials es poden agrupar en els següents grups:

- **Requisits ambientals:** Com pot ser exposició del material temperatures extremes, a radiació UV degut a l'exposició a llum solar, exposició a humitat, entorns salins, contacte amb altres substàncies o elements reactius, com per exemple oxidants o àcids. Per tal de combatre aquests factors cal tenir en compte les propietats tèrmiques i químiques del material.
- **Requisits mecànics:** venen determinats per les forces aplicades sobre els components. L'aplicació de forces dona lloc a esforços que poden ser de tracció, compressió, torsió, cisallament o flexió. Si aquests esforços són massa grans, els components es poden trencar o deformar permanentment. Per determinar de capacitat de cada component per suportar aquests esforços, cal fixar-se en les propietats mecàniques del material i en els resultats de l'anàlisi d'elements finits. D'aquesta manera, podem comprovar la capacitat de cada component per suportar aquests esforços.
- **Requisits estètics:** A més de la forma, l'acabat superficial i el color dels components, determinen l'aparença estètica del producte. En aquest cas, la transparència del material també és un factor a tenir en compte, ja que és una propietat necessària en un gran nombre de components, com per exemple, la carcassa exterior i el dipòsit, per tal de veure quan està ple de brutícia i és necessari buidar-lo.
- **Requisits d'ecodisseny:** Cal considerar l'eficiència energètica del procés de fabricació i tractament del material, utilitzar materials sostenibles, reduir residus, fomentar la durabilitat i la possibilitat de reparar el producte, optimitzar el transport, assegurar la seguretat i salut de l'usuari, i realitzar una anàlisi del cicle de vida per identificar oportunitats de millora i reducció de l'empremta ambiental global. Aquests principis contribueixen a la creació de productes més sostenibles i responsables amb el medi ambient.
- **Requisits de fabricació:** El procés de fabricació té una gran influència en el procés de disseny, ja que s'han de considerar en tot moment les limitacions i avantatges propis del procés de fabricació dels components que s'està dissenyant. En aquest cas, totes les peces són fabricades mitjançant motlles d'injecció, excepte la vàlvula antiretorn, que s'obté mitjançant tall per làser.

Per altra banda, s'exposen els punts crítics considerats per cada component del sistema. Els punts crítics detectats seran analitzats en simulacions d'elements finits, on es validarà el disseny en funció dels requisits mecànics de cada component. Simultàniament, els resultats de les simulacions poden donar a conèixer nous punts crítics no considerats anteriorment.

13.1 REQUISITS DEL MATERIAL I PUNTS CRÍTICS DELS COMPONENTS

Alguns dels requisits del material són comuns per a tots els components dissenyats, ja que hi ha característiques globals que són determinades pel context d'ús, condicions ambientals, principis de l'ecodisseny i pel procés de fabricació. Aquests requisits es presenten a continuació:

Requisits Genèrics	
Ambientals	<ul style="list-style-type: none">• Exposició al sol i radiació UV• Conservació de propietats davant l'exposició a temperatures màximes entorn el 70°C• Resistent a l'aigua, sabó, desinfectant, i altres productes comuns de neteja.
Ecodisseny	<ul style="list-style-type: none">• Material reciclable, unificat amb la resta de components sempre que sigui possible• Evitar l'ús de tractaments superficials i pintures
Fabricació	<ul style="list-style-type: none">• Facilitat per ser injectat

Taula 17. Requisits de material genèrics per tots els components del mòdul (font pròpia)

Seguidament es presenten els requisits i els punts crítics específics considerats per cada component:

1. EMBOCADURA



Figura 67. Embocadura del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Ambientals	<ul style="list-style-type: none"> Estabilitat tèrmica per garantir sempre el mateix encaix amb la carcassa exterior
Mecànics	<ul style="list-style-type: none"> Resistent al desgast per fregament, especialment en les pestanyes de fixació Resistent a impacte per caiguda Ha de ser prou rígid per no deformar-se a l'hora d'aplicar torsió en el muntatge i desmuntatge Ha de poder ser roscat per cargols REMFORM Resistent a flexió en l'encaix d'accessoris i adaptadors
Estètics	<ul style="list-style-type: none"> Acabat superficial llis per evitar l'adhesió de partícules aspirades Color homogeni i durador amb el temps
Punts Crítics	
<ul style="list-style-type: none"> Secció de material entorn el cargol autoroscant Pestanyes d'encaix i fixació amb la carcassa exterior 	

Taula 18. Requisits específics de material i punts crítics de l'embocadura (font pròpia)

2. VÀLVULA ANTIRETORN

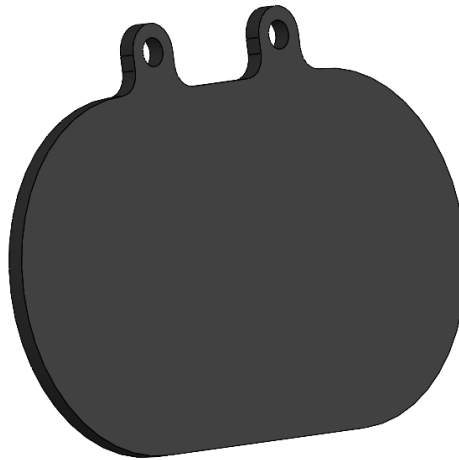


Figura 68. Vàlvula antiretorn del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Mecànics	<ul style="list-style-type: none">• Resistent a fatiga per flexió• Material elàstic amb mòdul de flexió baix• Resistent a impacte i desgast causat per les partícules aspirades• Resistent a esforç de compressió aplicat pels cargols de subjecció
Estètics	<ul style="list-style-type: none">• Acabat superficial llis per evitar l'adhesió de partícules aspirades• Color homogeni i durador amb el temps
Fabricació	<ul style="list-style-type: none">• Facilitat per ser injectat, tallat per làser o aigua.
Punts Crítics	
	<ul style="list-style-type: none">• Zona de contacte amb la cabota dels cargols de subjecció• Unió entre les pestanyes de subjecció i la làmina principal. Possible trencament per fatiga

Taula 19. Requisits específics de material i punts crítics de la vàlvula antiretorn (font pròpia)

3. CARCASSA EXTERIOR

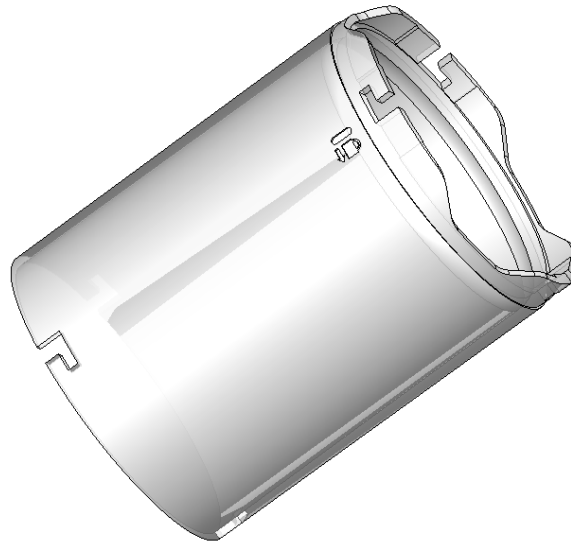


Figura 69. Carcassa exterior del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Ambientals	<ul style="list-style-type: none"> Estabilitat tèrmica per garantir sempre el mateix encaix amb l'embocadura, el mòdul de filtració intern, i el mòdul posterior.
Mecànics	<ul style="list-style-type: none"> Resistent al desgast per fregament, especialment en les guies de fixació Resistent a impacte per caiguda Ha de ser prou rígid per no deformar-se a l'hora d'aplicar torsió en el muntatge i desmuntatge Prou dur per no ratllar-se amb les uncles, anells, i elements de l'interior del cotxe. Resistent a esforç de cisallament en les guies d'unió
Estètics	<ul style="list-style-type: none"> Acabat superficial llis Transparent homogeni i durador en el temps
Punts Crítics	
<ul style="list-style-type: none"> Guies de subjecció de l'embocadura i del mòdul posterior 	

Taula 20. Requisits específics de material i punts crítics de la carcassa exterior (font pròpia)

4. FILTRE CENTRAL



Figura 70. Filtre central del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Ambientals	<ul style="list-style-type: none"> Estabilitat tèrmica per garantir sempre el mateix encaix amb la carcassa exterior, el deflector d'aire i el dipòsit.
Mecànics	<ul style="list-style-type: none"> Ha de suportar l'esforç a compressió generat per les cabotes dels cargols de fixació a l'hora d'apretar-los Dur per no gastar-se amb les col·lisions de partícules Resistent a esforços de compressió aplicats per l'usuari durant la neteja Resistent a impacte en cas de caiguda Prou rígid i dur per no deformar-se en la superfície d'encaix amb el dipòsit Rigidesa per retenir fermament el disc estabilitzador
Estètics	<ul style="list-style-type: none"> Acabat superficial llis per reduir el fregament amb l'aire i evitar l'adhesió de partícules Color homogeni i durador en el temps Superfície apta per adherir un imant amb adhesiu
Punts Crítics	
<ul style="list-style-type: none"> Suport de l'imant Superfície en contacte amb la cabota dels cargols de fixació Secció de material entre els orificis de filtració 	

Taula 21. Requisits específics de material i punts crítics del filtre central (font pròpia)

5. DEFLECTOR D'AIRE

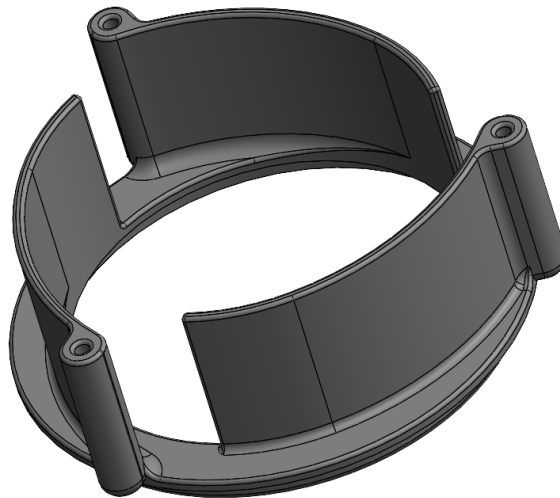


Figura 71. Deflector d'aire del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Ambientals	<ul style="list-style-type: none"> Estabilitat tèrmica per garantir sempre el mateix encaix amb el dipòsit intern
Mecànics	<ul style="list-style-type: none"> Ha de poder ser roscat per cargols REMFORM Ha de ser prou rígid per no deformar-se i vibrar amb el flux d'aire Prou dur per no ratllar-se amb impactes de partícules aspirades Resistent al desgast en la superfície d'encaix amb el dipòsit
Estètics	<ul style="list-style-type: none"> Acabat superficial llis per evitar l'adhesió de partícules Color homogeni i durador en el temps
Punts Crítics	
<ul style="list-style-type: none"> Secció de material entorn el cargol autoroscant Secció d'unió de les aletes amb la base Superfície de contacte amb el dipòsit 	

Taula 22. Requisits específics de material i punts crítics del deflector d'aire (font pròpia)

6. DIPÒSIT INTERN

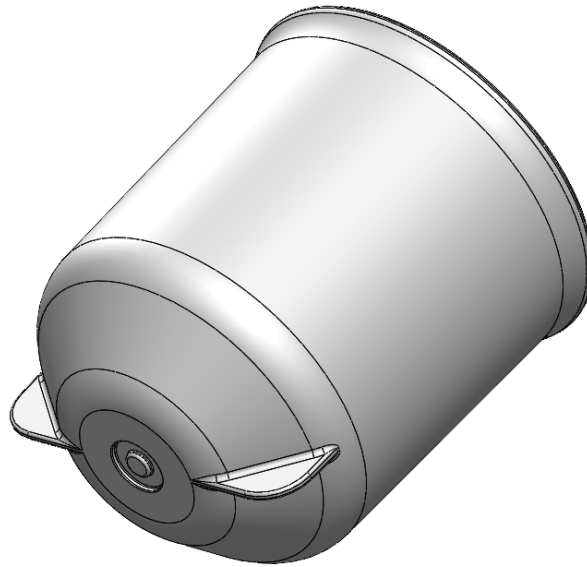


Figura 72. Dipòsit intern del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Ambientals	<ul style="list-style-type: none"> Estabilitat tèrmica per garantir sempre el mateix encaix amb el filtre central i el deflector d'aire.
Mecànics	<ul style="list-style-type: none"> Resistent a impacte en cas de caiguda Rígid per no deformar-se durant la seva manipulació Prou dur per no ratllar-se amb impactes de partícules aspirades Resistent al desgast en la superfície d'encaix amb el dipòsit Resistència a flexió en les pestanyes de subjecció
Estètics	<ul style="list-style-type: none"> Acabat superficial llis per evitar adhesió de partícules Transparent homogeni i durador en el temps Superfície apta per adherir un imant amb adhesiu
Punts Crítics	
<ul style="list-style-type: none"> Secció de material que subjecta la volandera Superfície en contacte amb el deflector d'aire Pestanyes de subjecció 	

Taula 23. Requisits específics de material i punts crítics del dipòsit intern (font pròpia)

7. ESTABILITZADOR

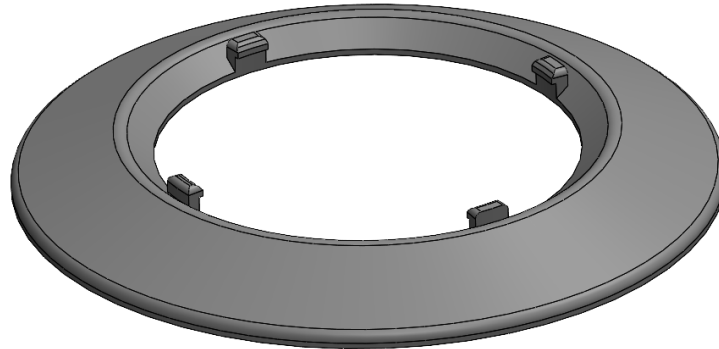


Figura 73. Estabilitzador de flux del disseny final (font pròpia)

Requisits específics del component	
Mecànics	<ul style="list-style-type: none"> • Resistent a impacte en cas de caiguda • Prou flexible evitar el trencament durant el muntatge o desmuntatge del dipòsit • Prou dur per no ratllar-se amb impactes de partícules aspirades • Prou rígid per evitar la deformació i vibració a causa del flux d'aire
Estètics	<ul style="list-style-type: none"> • Acabat superficial llis per evitar l'adhesió de partícules • Color homogeni i durador en el temps
Punts Crítics	
<ul style="list-style-type: none"> • Superfície de contacte amb el deflector d'aire i el filtre central • Pestanyes de fixació amb el filtre central 	

Taula 24. Requisits específics de material i punts crítics de l'estabilitzador de flux (font pròpia)

13.2 ELEMENTS COMERCIALS

- **Cargols autoroscants REMFORM de 2,5x8mm**



Figura 74. Cargol autoroscant REMFORM 2,5x8mm TORX Plus® [24]

Els cargols utilitzats en la fixació dels components són autoroscants REMFORM desenvolupats per REMINC-CONTI [25]. Aquests cargols han estat optimitzats per ser utilitzats en components plàstics i permeten prescindir d'inserts metàl·lics. En aquest cas, la mida seleccionada és de 2,5mm.

Segons la fulla tècnica del producte, adjunta en l'Annex general, el diàmetre dels forats previs necessaris, són definits en funció d'un coeficient específic per cada material. En aquest cas, el diàmetre corresponent és de 2,05mm.

Aquests cargols autoroscants són comercialitzats industrialment per CELO Screw Technology [26] amb caixes de 5.000 unitats.

- **Filtre HEPA H13 de Ø60x5mm**

La fabricació del filtre HEPA utilitzat s'externalitza a l'empresa Shenzhen Filtstar [27], especialitzada en el desenvolupament de filtres HEPA personalitzats per a cada client. En aquest cas, el filtre implementat és un filtre HEPA H13 circular de 60mm de diàmetre amb un marc de PP, el grau d'eficiència H13 garanteix una captura del 99,97% de les partícules de 0,3 micres. [28]

Per tal d'optimitzar al màxim l'aspiració, cal determinar el gruix del filtre HEPA desenvolupant un estudi específic segons les característiques de l'aspirador on s'implementa el sistema de filtració ciclònica. En aquest cas, es proposa un dimensionament genèric amb 5mm de gruix.

- **Iman de Neodimi Ø10x2mm N42**

Els imants utilitzats per assegurar la subjecció del dipòsit es compren a l'engròs al distribuïdor alemany Supermagnete a través de la seva pròpia plataforma de compres online. Els imants de Neodimi seleccionats són de grau N42, amb una temperatura de treball màxima de 80°C. La força exercida per l'iman és entorn els 1,3 kg [29].

- **Volandera ISO 7089 M05**

La volandera de M5 utilitzada per unir el dipòsit amb el filtre central és d'acer inoxidable, un ferromagnètic capaç d'interactuar amb el camp magnètic de l'iman, experimentant una força d'atracció.

La volandera és distribuïda per Noralem [30], una empresa situada a l'àrea metropolitana de Barcelona.

13.3 MATERIALS DE FABRICACIÓ

Una vegada establerts els requisits es pot valorar quin material és el més apropiat per satisfer les necessitats especificades. El procés de selecció pot ser molt llarg si es volen considerar els resultats comparatius de totes les variables que poden tenir efecte en el producte.

Segons els requisits determinats anteriorment, tots els components en comparteixen la majoria, excepte la vàlvula antiretorn, que té requisits més específics pel major grau de flexibilitat que requereix. La resta, per tal de complir amb els principis de l'ecodisseny, seran fabricats amb un mateix material, ja que la unificació de material facilita la separació en el procés de reciclatge al final de la vida útil.

Per tal de seleccionar un material comú per la resta de components s'han prioritzat les següents característiques:

- Resistència a la degradació fotoquímica, resultats de l'exposició al sol.
- Estabilitat dimensional a 70°C.
- Transparència i capacitat de pigmentació.
- Resistència a l'impacte
- Duresa del material.
- Facilitat per ser injectat.
- Reciclable.

Segons l'estudi d'estat de l'Art, els materials comunament usats en la injecció de components i carcasses d'aspiradors solen ser l'ABS, el Policarbonat (PC), el Polipropilè amb addició de fibra de vidre (PPGF) i el High Impact Polystyrene (HIPS) [31].

El material de fabricació s'ha determinat en funció dels resultats de la següent taula comparativa, els valors s'han obtingut de bases de dades de propietats de materials com Matweb [32], MekeltFrom [33] i Omnexus [34] :

Característiques	Materials			
	ABS	PC	PP(20%GF)	HIPS
Transparència	Si	Si	No	Si
Resistència UV	poc	Bastant	Bastant	poc
Temperatura de deflexió tèrmica @1.8MPa (°C)	76	130	138	85
Mòdul de Young (GPa)	2.1	2.3	4.0	1.9
Mòdul de Flexió (GPa)	2.5	2.3	4.0	1.9
Resistència a tracció UTS (MPa)	40	66	71	32
Elongació en el trencament (%)	50	110	3.3	40
Resistència a impacte (J/m)	230	440	83	45
Duresa Rockwell R	100	119	111	100
Preu material base (€/kg)	0,92	1,23	0,69	0,92

Taula 25. Taula comparativa de materials (font pròpia)

El material que s'ajusta millor als requisits establerts és el Policarbonat (PC), que destaca per la seva major resistència a l'impacte, elongació al trencament i millor comportament quan és sotmès a altes temperatures. També és un material transparent en el seu estat natural i presenta bona resistència a la degradació fotoquímica. Dels materials considerats, el PC presenta una rigidesa mitjana respecte a la resta, però amb una capacitat de deformació prèvia al trencament molt superior.

Per altra banda, per la fabricació de la vàlvula antiretorn s'ha seleccionat el termoplàstic SEBS en forma de làmina per ser tallada mitjançant tall per làser. El SEBS proporciona la flexibilitat, resistència a la degradació fotoquímica necessària per satisfer els requisits del component. A continuació es mostren les propietats més rellevants.

Propietats	Material	
	SEBS Shore A50	SEBS Shore A90
Òptiques	Graus de transparència i fàcilment pigmentat	
Resistència UV	Molt bona	
Tèrmiques	Rang de comportament elàstic de -40°C a 100°C	
Resistència a tracció UTS (MPa)	4.0	8.48
Elongació en el trencament (%)	850	550
Duresa Shore A	50	90
Preu material base (€/kg)	1,10	

Taula 26. Comparativa de propietats del material SEBS: Shore A50 vs Shore A90

Per determinar el grau de duresa Shore A del SEBS, resulta especialment difícil dur a terme anàlisis d'elements finits pel fet que el material té un comportament altament elàstic que requereix una anàlisi no lineal, i per altra banda, és necessari crear un perfil de material específic per a cada tipus de SEBS, ja que no està disponible en la base de materials de Solidworks.

Per aquestes raons, es proposa un mètode de selecció experimental el qual consisteix en injectar SEBS A50 i A90 en un motlle fabricat amb una impressora 3D F3+ de i resina High Temp V2 [35] de Formlabs. Aquest material ha estat desenvolupat per suportar elevades temperatures, especialment com a element estàtic, sense estar sotmès a càrregues. Tot i així, és ideal per fer prototips motlles 3D que treballen a pressions baixes, sent capaç de suportar cicles curts d'injecció sense patir degradació.

La màquina d'injecció suggerida és la injectora manual Holypress [36], desenvolupada per Holymaker. Aquesta injectora manual permet testear prototips de motlles injectant peces petites, amb un volum no superior a 16 cm³, amb diversos termoplàstics. En aquest cas, SEBS de Shore A50 i A90.

Aquesta metodologia de prototipat ràpid, implementada en un procés iteratiu, permet obtenir resultats ràpidament duent a terme proves experimentals que d'altra manera no serien possibles, o bé serien molt costoses. L'obtenció del motlle requereix menys de 24 h d'impressió, estant determinada la durada d'un cicle iteratiu pel temps de disseny CAD i temps d'execució de les proves.

13.4 TEST EXPERIMENTAL DE SELECCIÓ DE MATERIAL

En aquest apartat es mostren breument els resultats experimentals de les proves dutes a terme amb un prototip de motlle d'injecció imprès en 3D. Tal com s'especifica en l'apartat anterior, l'objectiu és determinar el millor material a través de proves experimentals. Per fer-ho, s'ha injectat la vàlvula antiretorn amb SEBS 50A i 90A en un motlle d'injecció imprès en 3D.

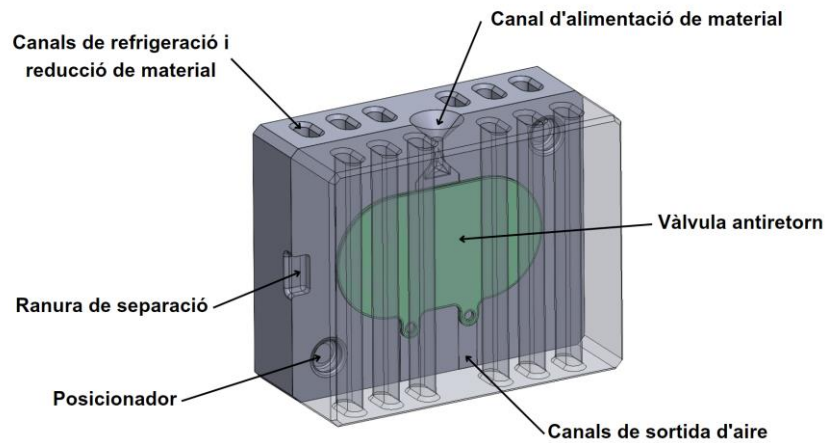


Figura 75. Disseny de motlle d'injecció imprès en 3D per la vàlvula antiretorn (font pròpia)

Les peces injectades permeten determinar que el gruix de 1,5mm proporciona un bon equilibri entre la rigidesa i la capacitat de flexió del component amb SEBS Shore 50A, tot i que altres proves amb variacions de gruix i geometria són necessàries optimitzar el disseny per les condicions de treball reals, on la força que determina la flexió del material és la generada pel flux d'aire que és aspirat.

14. ESTUDI D'ELEMENTS FINITS

En aquest apartat es realitzen simulacions d'elements finits per tal de determinar que els components dissenyats són capaços de suportar els esforços aplicats. Les anàlisis d'interès són aquells que permeten simular l'efecte de forces aplicades que poden suposar la ruptura o deformació permanent del material. Com que en el mòdul de filtració ciclònica els elements són estàtics i no hi ha actuadors o elements motors, l'origen de les forces tan sols poden ser les següents:

- Forces aplicades per l'usuari en el procés d'ús, muntatge o desmuntatge.
- Impactes per caiguda.

A continuació es presenten casos hipotètics on l'usuari pot aplicar forces considerables a causa d'un ús inapropiat del producte:

1. Moment i força de compressió aplicada a les pestanyes laterals de l'embocadura en el procés de muntatge i desmuntatge

En aquest cas es considera la possibilitat que l'usuari apliqui un moment de major magnitud del necessari en l'embocadura en cas que s'equivoqui de sentit de gir. Per tal de fer una estimació de la magnitud del moment aplicat i de les forces de compressió, generades per augmentar la subjecció, s'han pres resultats d'un estudi que analitza el moment de torsió i les forces màximes aplicades en un cilindre de diferent diàmetre per la mà humana.

Gender	Direction	Handle diameter (mm)	Measured torque (Nm)
Male ($n = 6$)	Outward	57.8	5.3 ± 1.3
		83.2	4.9 ± 2.1
	Inward	57.8	7.2 ± 1.7
		83.2	6.0 ± 1.9
Female ($n = 6$)	Outward	57.8	2.2 ± 1.5
		83.2	2.4 ± 1.4
	Inward	57.8	2.9 ± 2.5
		83.2	2.3 ± 2.0
Gender, direction, diameter pooled			4.2 ± 2.5

Taula 27. Moment torçor mesurat en funció del sexe, direcció i diàmetre

Font: Seo, N. J., Armstrong, T. J., Ashton-Miller, J. A., & Chaffin, D. B. (2007). *The effect of torque direction and cylindrical handle diameter on the coupling between the hand and a cylindrical handle*. *Journal of Biomechanics* [37]

Com que el diàmetre exterior de l'embocadura és de 85 mm, s'han pres de referència els valors corresponents a la maneta de 83.2 mm. Se suposa que podria donar-se el cas que s'apliqués un moment a l'embocadura de 2Nm i una força de compressió de 10N a cada pestanya de subjecció. De manera que les condicions de simulació són les següents:

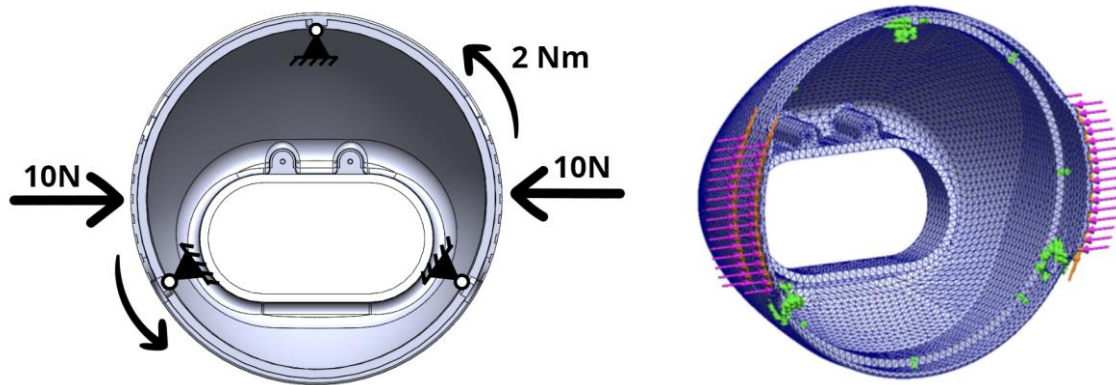


Figura 76. Diagrama de cos lliure: Fixacions, forces i moments aplicats en l'embocadura (font pròpia)

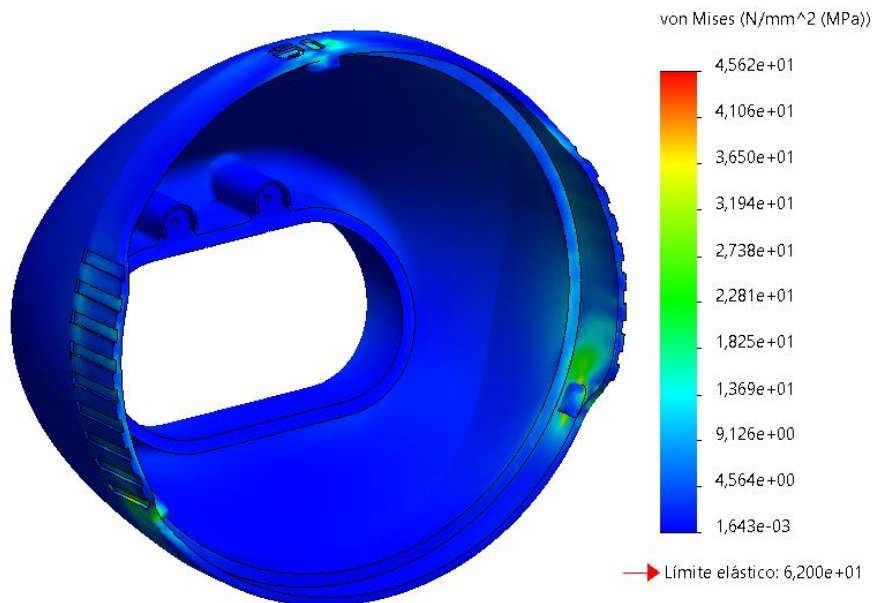


Figura 77. Tensions màximes (MPa) concentrades entorn les pestanyes de fixació de l'embocadura (font pròpia)

Les tensions màximes són de 45 MPa. Aquestes es troben en les arestes de les ranures de subjecció que no estan arrodonides. En general, les tensions generades a la perifèria dels elements de subjecció són d'entorn els 30 MPa, magnitud força inferior al límit elàstic del PC, que en aquest cas, s'ha pres el valor de 62 MPa del perfil de material de la base del Solidworks.

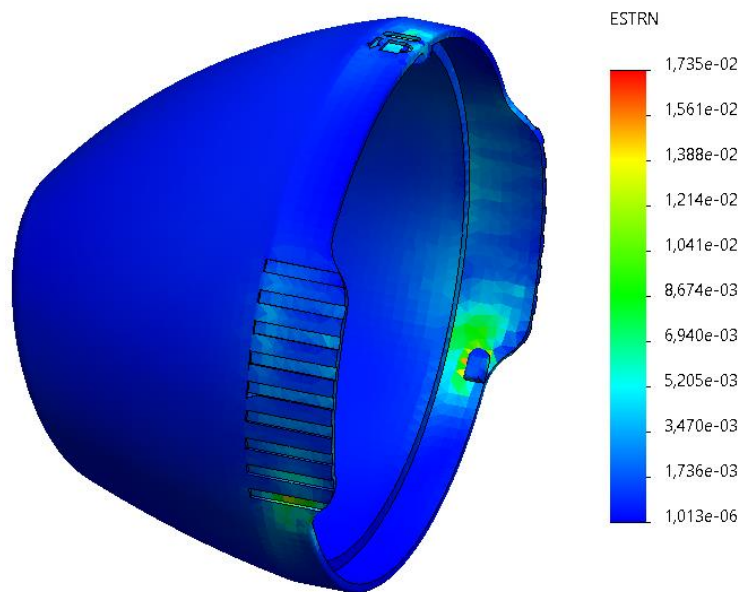


Figura 78. Deformació unitària del material (font pròpia)

La deformació unitària de ser, idealment, inferior a la deformació màxima en el límit elàstic del material per evitar produir deformacions permanents. En aquest cas, els valors màxims són d'un allargament de l'1,7% i també es troben en cantells vius. A la perifèria de les pestanyes de subjecció, la deformació es troba entorn l'1%. Un valor molt inferior al 110% d'allargament en ruptura.

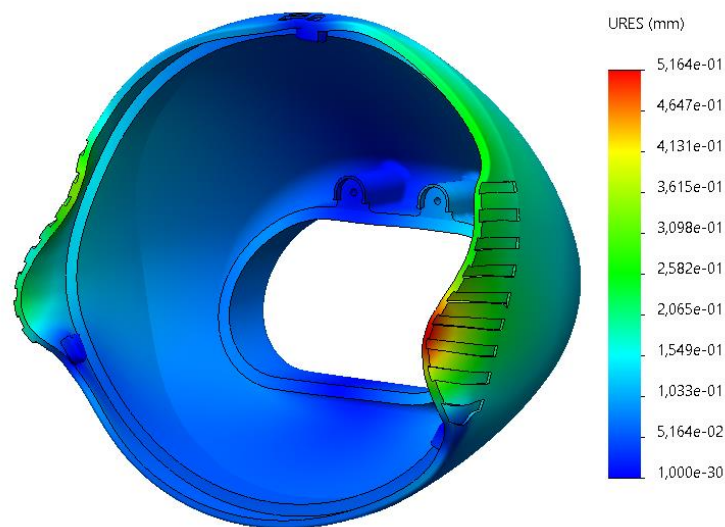


Figura 79. Desplaçaments màxims de deformació del material (mm) (font pròpia)

Els desplaçaments màxims en les aletes són de 0,5 mm. Aquests valors són aproximats, ja que en cas de deformació, l'embocadura interacciona amb la carcassa i delimita els desplaçaments màxims.

Segons els resultats obtinguts, es pot concloure que els esforços aplicats no suposen el trencament ni la deformació plàstica de l'embocadura. Les tensions màximes són inferiors al límit elàstic del material i l'elongació del material és inferior a l'1% de l'elongació en el trencament.

2. Moment torçor transmès de l'embocadura a la carcassa exterior

La situació analitzada anteriorment també influeix en la carcassa exterior. En aquest cas, a la carcassa se li transmet un moment torçor d'igual magnitud. A continuació es mostren els resultats de l'efecte que té aquest moment en les pestanyes d'encaix.

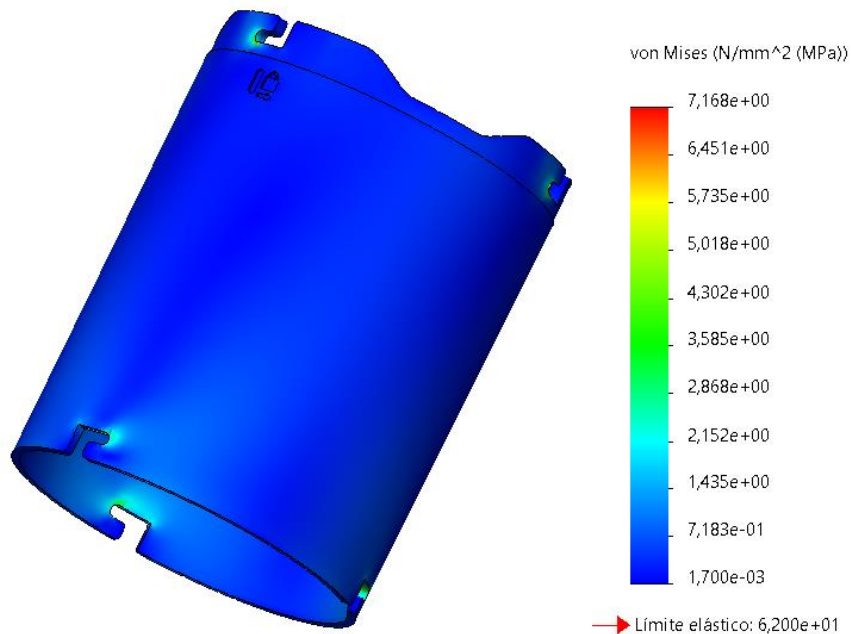


Figura 80. Tensions màximes en les guies de fixació generades por un moment torçor de 2Nm (font pròpia)

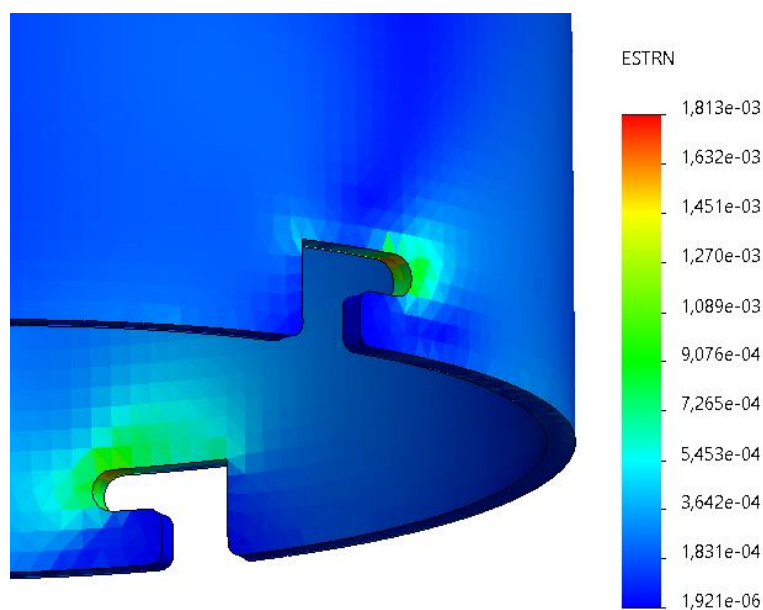


Figura 81. Deformació unitària màxima del 0,18% resultant d'un moment de 2Nm (font pròpia)

Els efectes que té el moment aplicat en la carcassa exterior són pràcticament negligibles, amb tensions i deformacions unitàries molt inferiors als límits del material.

3. Flexió de les guies de fixació de l'embocadura

Per determinar si les guies de fixació són capaces de suportar forces de tracció entre la carcassa exterior i l'embocadura, de manera que les guies de fixació treballen a flexió. En aquest cas, s'ha aplicat una càrrega total de 100N en les superfícies que es torben en contacte amb la pestanya de fixació de l'embocadura.

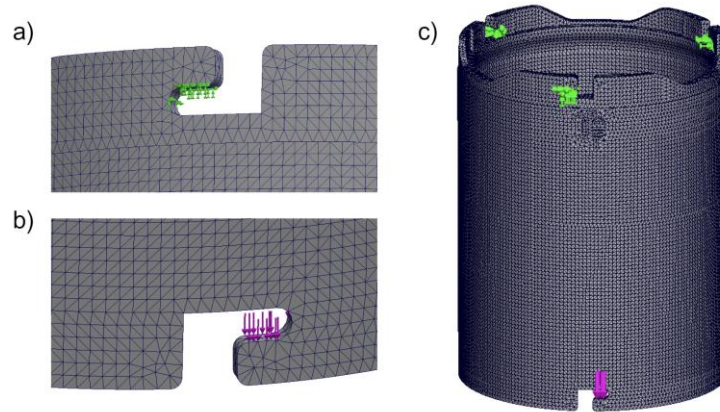


Figura 82. Condicions de simulació: a) Fixacions del model; b) Aplicació de forces; c) Resolució de malla (font pròpia)

Els resultats de les tensions són favorables, assolint valors màxims de 21 MPa en la intersecció de la guia amb el model.

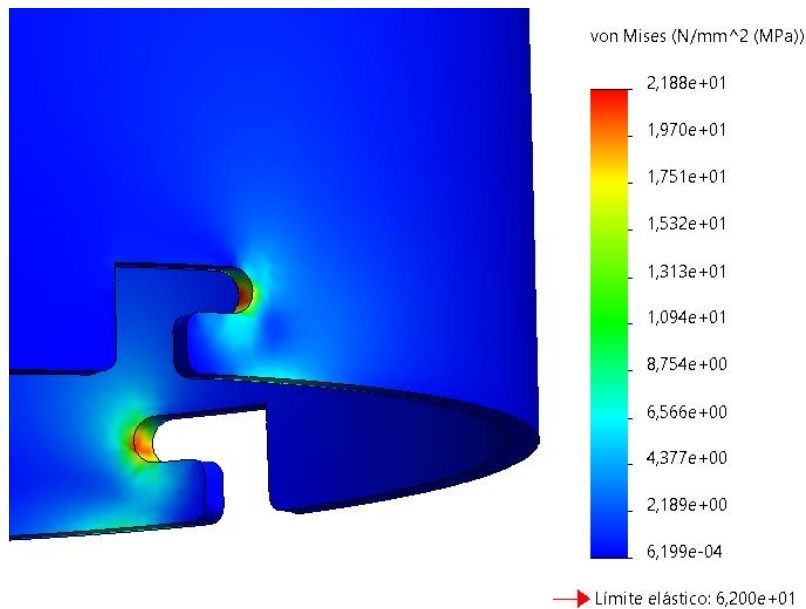


Figura 83. Tensions màximes en les guies de fixació amb una càrrega de 100N (font pròpia)

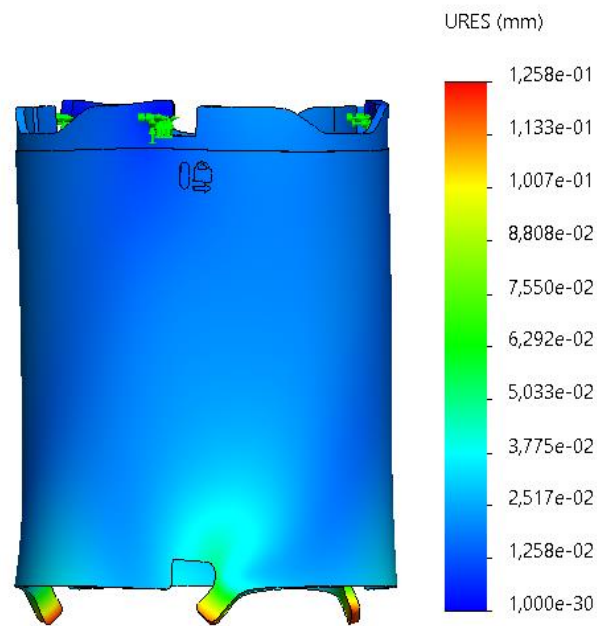


Figura 84. Deformació màxima (mm) de les guies de fixació de la carcassa exterior (font pròpia)

La deformació del material resultaria imperceptible a simple vista, amb una desviació màxima de tan sols 0,125 mm. Es pot concloure que aquest component és capaç de suportar càrregues superiors a les esperades en la seqüència d'ús normal.

4. Desplaçament de les pestanyes de fixació del disc estabilitzador del filtre central.

En el muntatge del disc estabilitzador cal aplicar una força des de la part inferior del disc per tal flexionar les pestanyes de subjecció amb una fletxa màxima de 0,4mm per tal d'encaixar-les en el filtre central.

Per tal d'analitzar aquesta situació es planteja un estudi on es defineix un desplaçament prescrit de les pestanyes en la direcció desitjada. En funció d'aquest desplaçament, es calculen les tensions màximes i les deformacions unitàries del material.

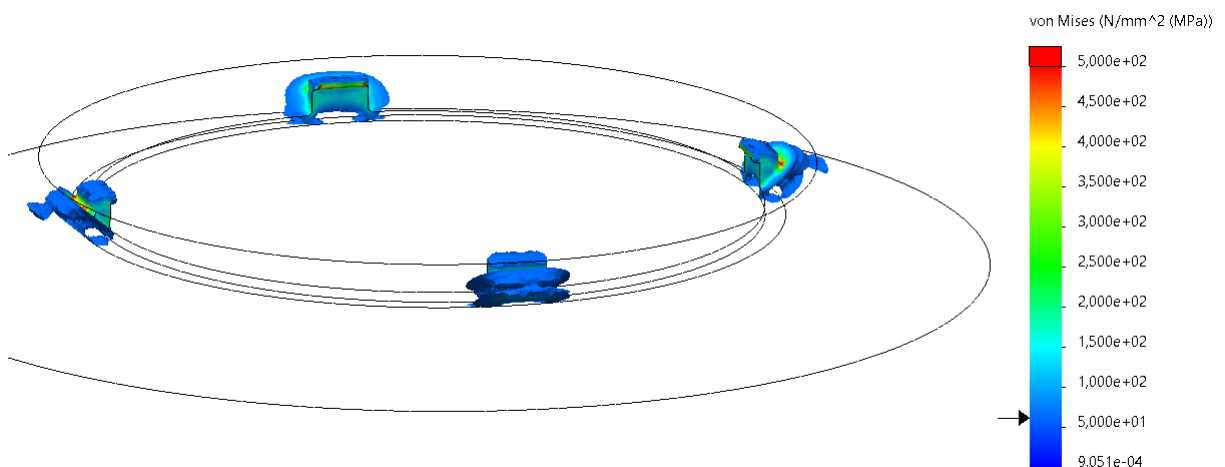


Figura 85. Iso-superfície: Tensions superiors al límit elàstic, generades pel desplaçament prescrit de la fletxa màxima de flexió (font pròpia)

Les simulacions de tensions suggereixen que el PC es trencaria o es deformaria permanentment en cas de flexionar les pestanyes 0,4 mm, ja que les tensions originades són molt superiors al límit elàstic. En la Figura 63 es mostren les Iso-superfícies de 62 MPa, de manera que la regió amb color es troba en tensions superiors al límit elàstic.

Per altra banda, els resultats de deformació unitària mostren elongacions molt menors a les que serien necessàries per produir el trencament del material, amb entorn el 110%. En aquest cas, l'elongació en la secció d'unió de les pestanyes amb el disc és d'entorn el 7%, mentre que en regions puntuals s'han calculat elongacions del 25%.

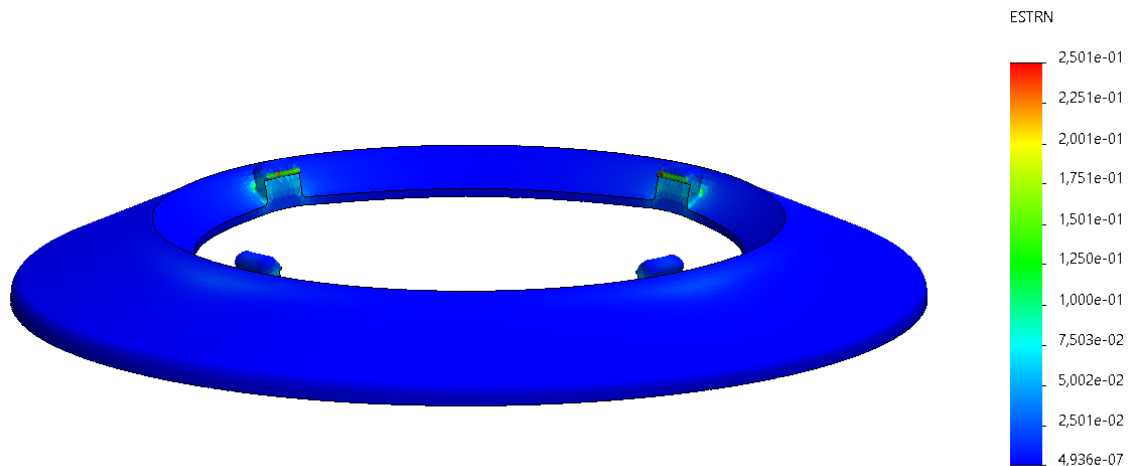


Figura 86. Deformacions unitàries generades pel desplaçament prescrit de la fletxa màxima de flexió. (font pròpia)

La interpretació que es fa d'aquests resultats és que l'aplicació permanent del desplaçament prescrit seria capaç de produir deformacions plàstiques en el material. Però tenint en compte que aquestes tensions seran presents en un breu instant de temps, l'estructura cristal·lina del material no tindrà temps de reestructurar-se i adquirir una nova forma, de manera que s'espera que hi hagi suficient retorn elàstic de les pestanyes per garantir una correcta fixació del component.

15. ANÀLISI DE FLUIDS DEL DISSENY FINAL

En aquest apartat es mostren els resultats de l'anàlisi feta al *Solidworks Flow Simulator*. L'objectiu és validar el disseny final des del punt de vista aerodinàmic per garantir que el comportament del flux d'aire és el desitjat. També permet observar els efectes de les millores que s'han implementat.

- Trajectòries de Fluid 6 kPa

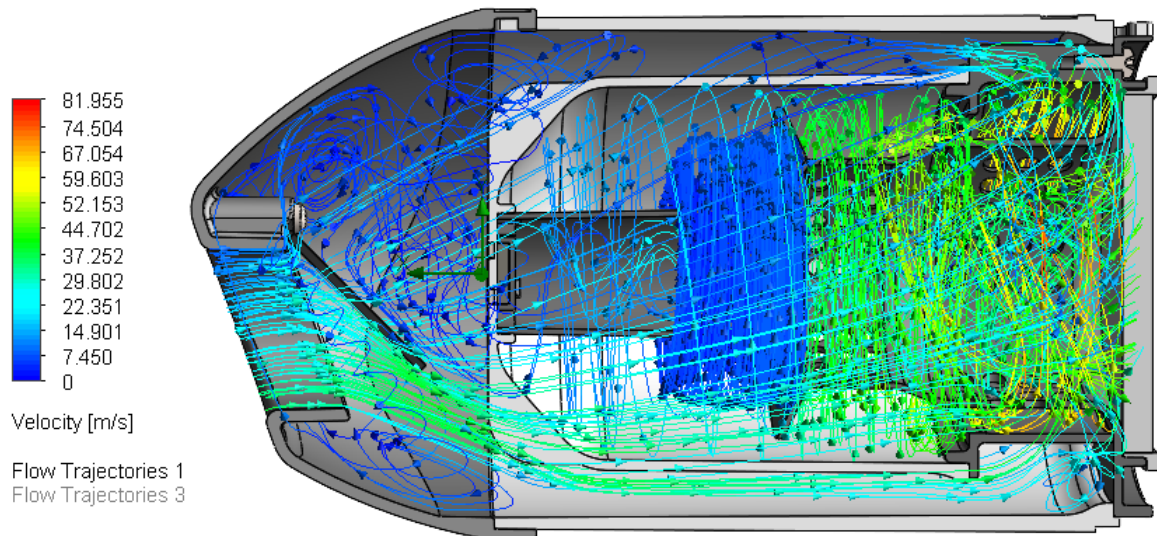


Figura 87. Trajectòries de fluid i velocitat màxima (m/s) amb diferencial de pressió de 6 kPa. (font pròpia)

- Trajectòries de Fluid 20 kPa

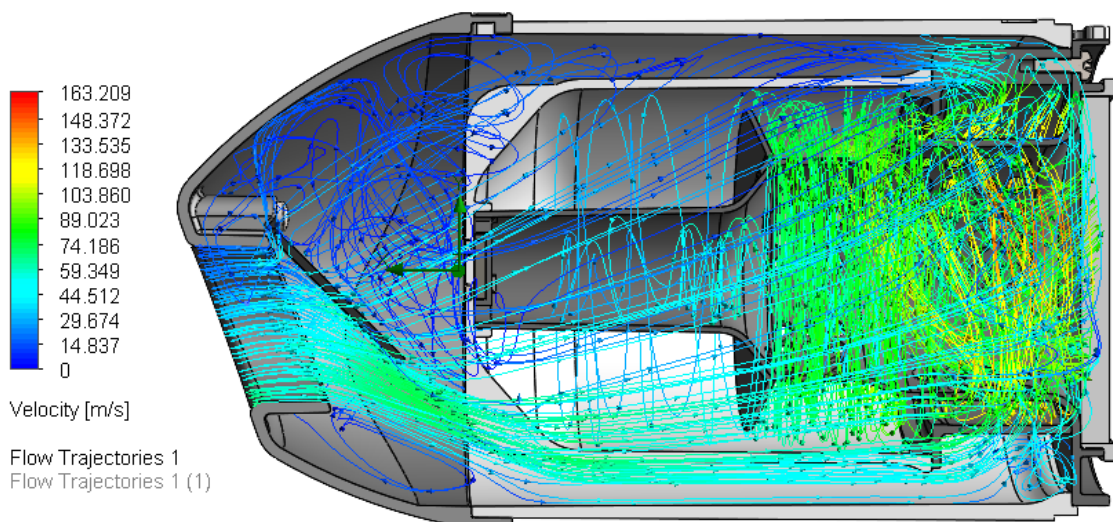


Figura 88. Trajectòries de fluid i velocitat màxima (m/s) amb diferencial de pressió de 20 kPa. (font pròpia)

- Talls de secció 6 kPa

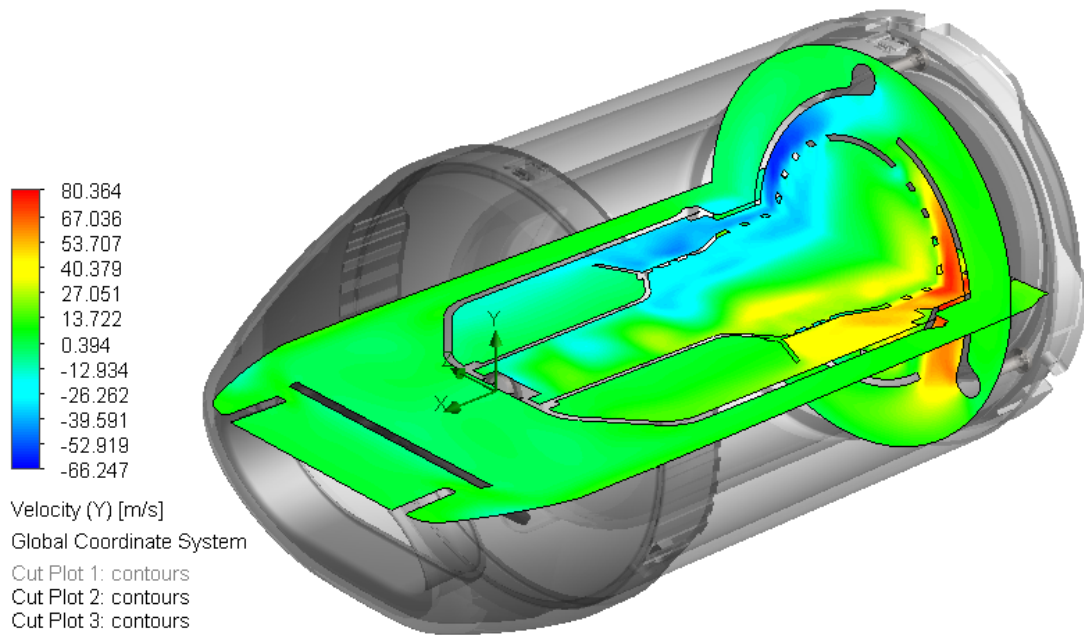


Figura 89. Velocitat (Y) en talls de secció del disseny final amb 6 kPa (font pròpia)

- Talls de secció 20 kPa

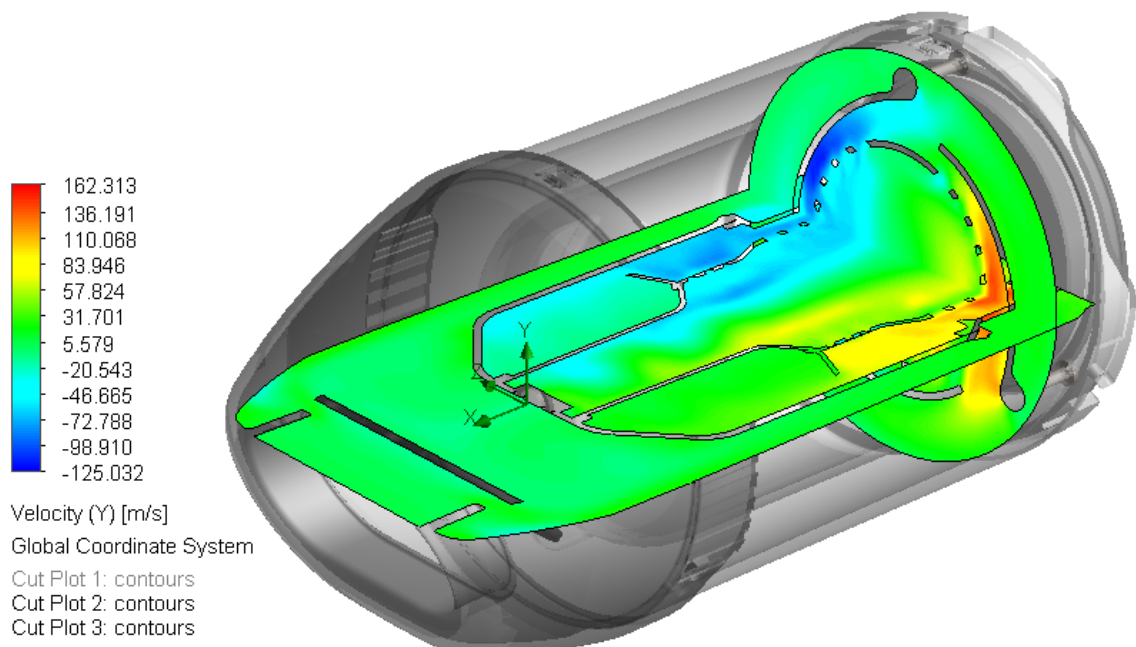


Figura 90. Velocitat (Y) en talls de secció del disseny final amb 20 kPa (font pròpia)

Tal com mostren els resultats, les velocitats del cicló en la simulació de 6 kPa són similars a les assolides en el disseny ciclònic 4. Si recuperem la Taula 12, podem aproximar les forces g experimentades per les partícules. En aquest cas, el radi mitjà del cicló es troba entorn els 25 mm.

Radi cicló (mm)	$a_{\text{centrípeta}} \text{ (m/s}^2\text{)}$	G_s	V cicló (m/s)
5	774990	79000	62,25
10	774990	79000	88,03
15	774990	79000	107,82
20	774990	79000	124,50
25	774990	79000	139,19
30	774990	79000	152,48
35	774990	79000	164,70

Taula 28. Càlcul de velocitat tangencial del cicló en funció del radi (font pròpia)

L'acceleració centrípeta màxima experimentada per les partícules, en les condicions de diferencial de pressió mínim de 6 kPa, és entorn 2.600 g. Per tal d'assolir acceleracions g pròximes a les que assoleix una aspiradora Dyson, la velocitat de l'aire hauria de ser gairebé 140 m/s, un valor superior als 80 m/s obtinguts. Per altra banda, quan el diferencial de pressió és de 20 kPa, les acceleracions centrípeta màximes assoleixen valors d'entorn els 107.000g a les entrades del deflector d'aire, valors notablement superiors als assolits en el sistema ciclònic de Dyson.

Dels resultats de simulació CFD del disseny final podem concloure que el diferencial de pressió generat per la turbina tindrà un efecte notable en la capacitat de retenció de partícules del sistema, ja que afecta directament a la velocitat del flux del cicló i, per tant, afecta exponencialment l'acceleració centrípeta experimentada per les partícules. Per altra banda, acord amb els resultats experimentals duts a terme amb el model Ciclònic 4, el disseny demostra ser versàtil i capaç d'executar eficaçment la funció principal independentment del diferencial de pressió aplicat.

Per a futurs processos de desenvolupament, es proposa dur a terme proves experimentals que permetin establir objectivament el percentatge de retenció de partícules del disseny final. Els resultats obtinguts poden ser comparats amb els resultats corresponents a l'estudi de partícules realitzat en la fase de desenvolupament del model Ciclònic 4. En la Figura 46 es pot observar que el percentatge de retenció calculat és del 86%.

16. PROPOSTA ESTÈTICA DEL PRODUCTE

Finalment, en aquest apartat es fa una proposta estètica del producte mitjançant el programa de renderitzat *Photoview 360* de *Solidworks*. En aquest cas, s'ha optat per colors neutres, tot i que tots els components excepte la carcassa exterior i el dipòsit, que han de ser transparents, poden ser pigmentats de qualsevol color en el procés d'injecció.

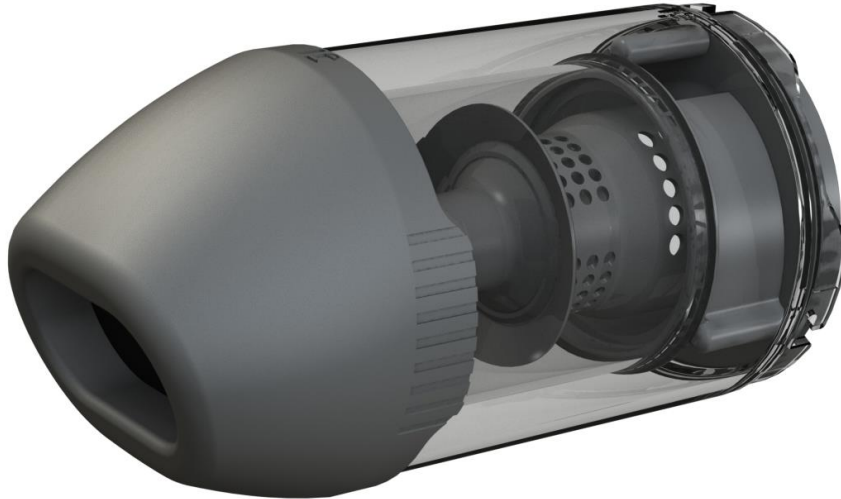


Figura 91. Renderitzat de vista lateral-frontal del producte (font pròpia)

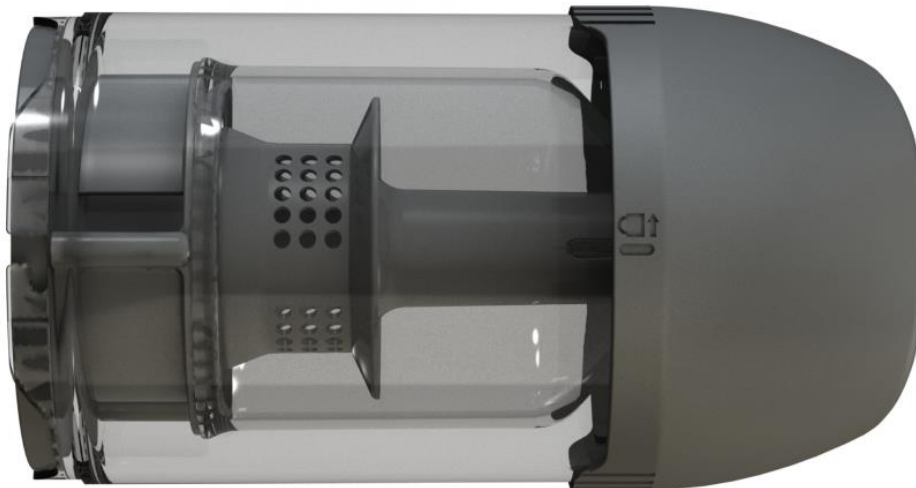


Figura 92. Renderitzat de vista superior del producte (font pròpia)



Figura 93. Renderitzat de vista lateral-posterior del producte (font pròpia)

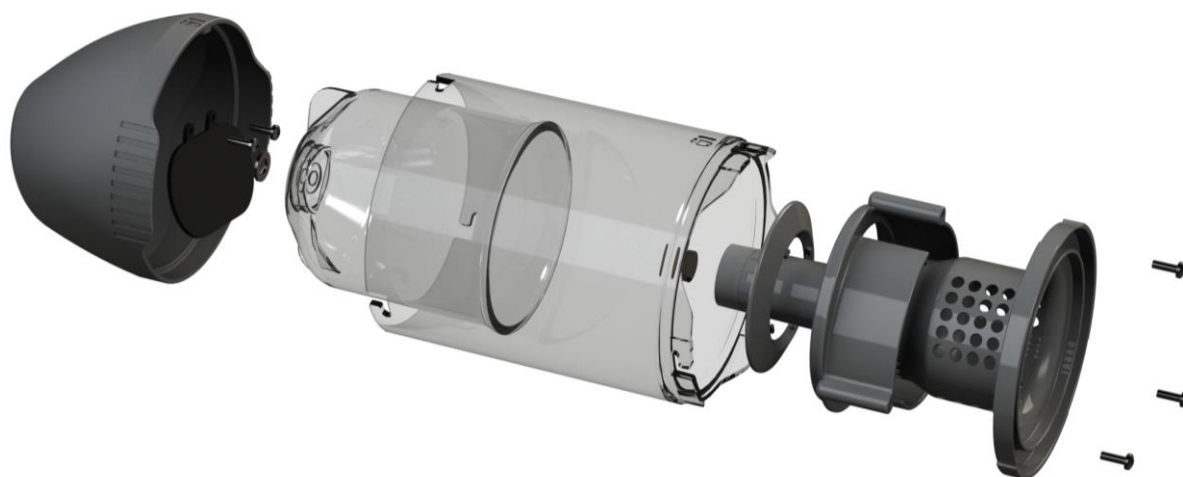


Figura 94. Renderitzat de vista esclatada del producte (font pròpia)

17. PRESSUPOSTOS

Aquest apartat té l'objectiu de presentar una estimació dels costos associats al projecte d'enginyeria dut a terme per assolir desenvolupament d'un sistema de filtració ciclònica per aspiradors manuals. A continuació, es presenten taules detallades que contemplen els costos associats a diferents aspectes del projecte, des de la investigació inicial fins a la fabricació dels components.

De totes maneres, és important tenir en compte que els valors presentats són estimacions i podrien variar segons les noves necessitats i especificacions que poden sorgir en etapes més avançades de desenvolupament, segons els proveïdors seleccionats i els preus dels materials en el mercat.

Per tal de determinar el cost associat al material, al procés de fabricació i als motlles d'injecció i útils necessaris, s'han pres com a referència els valors proporcionats pel calculador en línia de costos de fabricació *CustomPartNet*. [38]

Aquesta eina de càlcul determina els costos en funció de les característiques formals i materials del component que es vol calcular. Per tal d'obtenir un cost unitari, és necessari indicar el nombre d'unitats que es volen fabricar. En aquest cas, es contempla la fabricació de 10.000 mòduls de filtració ciclònica.

17.1 PROJECTE D'ENGINYERIA

En aquest apartat es presenten els costos associats al desenvolupament del projecte. Aquests costos requereixen una inversió inicial per tal de dur a terme les fases de desenvolupament necessàries per obtenir un nou producte.

La taula que es mostra a continuació presenta les etapes de desenvolupament desglossades en les tasques principals. El cost associat a cada tasca és calculat en funció de les hores dedicades, considerant un cost de 30€/h.

Concepte	Temps (h)	Preu (€/h)	Cost Total (€)
Estat de l'Art			
Recerca i anàlisi de referents	22	20	440€
Anàlisi de Forats i Famílies	9	20	180€
Estudi previ de condicions de fluids			
Recerca d'informació i càlculs previs	12	20	240€
Disseny Conceptual			
Representació gràfica d'idees inicials (sketch)	18	20	360€
Comparació i avaluació de dissenys conceptuals	18	30	540€
Disseny Bàsic (1a iteració)			
Modelat 3D de configuracions de disseny	25	30	750€
Anàlisi paramètrica de fluids	25	30	750€
Estudi de partícules	18	30	540€
Prototipat funcional de les configuracions de disseny	32	30	960€
Proves experimentals i anàlisi de resultats	20	30	600€
Disseny Bàsic (2a iteració)			
Disseny conceptual de possibles millores	16	20	320€
Modelat 3D amb millores aplicades	10	30	300€
Simulacions CFD i anàlisi de partícules	25	30	750€
Prototip funcional i avaluació de resultats	30	30	900€
Disseny Final			
Definició d'unions entre components i seqüència d'us	32	30	960€
Modelat 3D de mòduls i components	30	30	900€
Selecció de materials	22	30	660€
Anàlisi d'elements finits	20	30	600€
Prototip funcional del disseny final	35	30	1.050€
Conclusions i propostes de millora	20	30	600€
Altres tasques			
Càlcul de Pressupostos	15	20	300€
Plànols de Fabricació	25	20	500€
Desenvolupament de documentació tècnica	150	20	3.000€
TOTAL	629 h		13.200€

Taula 29. Costos associats al desenvolupament del projecte (font pròpia)

17.2 COSTOS DE MATERIAL

En aquest apartat es presenten els costos de material i d'elements comercials necessaris per la fabricació d'un sistema de filtració ciclònica.

Marca	Component	Material	Preu unitari (€)	Unitats	Preu Total
1	Embocadura	PC	0,42€	1	0,42€
2	Vàlvula Antiretorn	SEBS 50A	0,01€	1	0,01€
3	Carcassa Exterior	PC	0,57€	1	0,57€
4	Dipòsit Intern	PC	0,27€	1	0,27€
5	Deflector d'aire	PC	0,189€	1	0,19€
6	Filtre Central	PC	0,204€	1	0,20€
7	Estabilitzador	PC	0,025€	1	0,03€
8	Cargols REMFORM Ø2,5x8	Acer	0,016€	5	0,08€
9	Filtre HEPA	HEPA	8,000€	1	8,00€
10	Iman 10x2mm	NdFeB	0,300€	1	0,30€
11	Arandela M5	Acer Inox	0,130€	1	0,13€

Cost d'un producte	10,07€
---------------------------	---------------

Taula 30. Cost de material d'un sistema d'aspiració ciclònica (font pròpia)

17.3 COSTOS DE PRODUCCIÓ

En la taula adjunta es mostren els costos associats al procés de fabricació pròpia de cada component.

Component	Nombre d'unitats a fabricar	Cost total (€)	nº de components per conjunt	Cost unitari (€)
Embocadura	10.000	4.631€	1	0,46€
Vàlvula Antiretorn	10.000	3.300€	1	0,33€
Carcassa Exterior	10.000	2.406€	1	0,24€
Dipòsit Intern	10.000	2.329€	1	0,23€
Deflector d'aire	10.000	3.780€	1	0,38€
Filtre Central	10.000	2.794€	1	0,28€
Estabilitzador	10.000	1.447€	1	0,14€
Total		20.687€		2,07€

Taula 31. Costos associats al procés de fabricació (font pròpia)

17.4 FABRICACIÓ DE MOTLLES

El cost de fabricació dels motlles i utilatges necessaris per la fabricació del producte és un cost d'inversió inicial que ha de ser repercutit en el producte final. A continuació es mostra el cost associat al producte.

Component	Nombre d'unitats a fabricar	Cost de motlles i utilitatges (€)	Cost unitari (€)
Embocadura	10.000	19.767€	1,98€
Vàlvula Antiretorn	10.000	-	-
Carcassa Exterior	10.000	19.774€	1,98€
Dipòsit Intern	10.000	13.293€	1,33€
Deflector d'aire	10.000	13.900€	1,39€
Filtre Central	10.000	21.372€	2,14€
Estabilitzador	10.000	8.522€	0,85€
Total		96.628€	9,66€

Taula 32. Costos de motlles d'injecció i utilitatges (font pròpia)

18. PRESSUPOST FINAL

Per tal de determinar el total d'inversió total necessària cal tenir en compte també els costos estructurals. En aquest cas, s'hi destina un 50% del total de costos fixos. A continuació es mostren els costos finals d'inversió, corresponents al desenvolupament del projecte i a la fabricació de motlles i els costos associats a la fabricació de 10.000 unitats.

Concepte	Cost d'inversió (€)	Costos fixos per unitat (€)	Costos fixos per 10.000 unitats (€)	Cost final per 10.000 unitats (€)
Projecte d'enginyeria	13.200			13.200
Material		9,79	97.900	97.900
Procés de fabricació		2,07	20.687	20.687
Motlles i utilitatges	96.628			96.628
Costos estructurals (50% de costos fixos)		5,93	59.293,5	59.293,5
Total	109.828€	17,79€	177.880,5€	287.708,5€

Taula 33. Cost total a repercutir en el preu de venda de 10.000 unitats (font pròpia)

Tal com es mostra en la Taula 33, el cost a repercutir al producte per cobrir la inversió inicial i les despeses de fabricació és de 287.708€. Per tant, tenint en compte que es volen fabricar **10.000** sistemes de filtració ciclònica, el cost unitari ha de ser de **28,77 €**.

Una vegada establert el cost mínim d'amortització es pot calcular el preu de venda P.V.P. del producte. En aquest cas, es proposa establir un benefici del **15%**. Cal tenir en compte que el preu de venda es pot veure condicionat segons l'estratègia comercial definida, ja que el sistema de filtració ciclònica pot ser venut com un mòdul separat que l'usuari pot implementar en el seu aspirador, o bé pot ser integrat en la nova gamma d'aspiradors del fabricant i venut conjuntament, sent un mòdul integrat al producte.

Concepte	Amortització de costos per 10.000 unitats (€)	Matge de benefici (%)	PVP (€)
Costos a repercutir al PVP	28,77 €	15	33,09

Taula 34. PVP d'un sistema de filtració ciclònica (font pròpia)

CONCLUSIONS

En el transcurs d'aquest projecte, s'han dut a terme tres iteracions de disseny per tal de desenvolupar un sistema de filtració ciclònica que assolís satisfactòriament els objectius plantejats. D'aquests, destaca especialment l'assoliment de l'objectiu principal, que consisteix a desenvolupar un sistema ciclònic capaç de retenir les partícules aspirades sense patir pèrdues de succió provocades per la saturació del filtre HEPA.

La metodologia de disseny iteratiu ha permès provar diferents dissenys, avaluar-los i aplicar millores en funció dels resultats obtinguts de forma àgil, facilitant el procés d'optimització del disseny i el compliment dels objectius. El *Solidworks Flow Simulator* ha resultat de gran ajuda per determinar el correcte funcionament de diferents dissenys en les etapes inicials de desenvolupament, permetent així descartar geometries o solucions tècniques que no s'ajusten als objectius establerts. D'altra banda, les tecnologies d'impressió 3D, usades en les fases de prototipatge, han estat fonamentals per establir un mètode d'avaluació experimental del funcionament del producte.

Els resultats experimentals més significatius s'han aconseguit en el disseny final, tot i que els resultats obtinguts en el prototip ciclònic 4, desenvolupat en la segona iteració, han estat els primers a oferir resultats notablement satisfactoris en ser capaços de capturar la majoria de partícules aspirades. Les millores aplicades al disseny final han consolidat l'assoliment de l'objectiu principal, ja que és capaç de retenir el 90% de les partícules aspirades sense fer ús del filtre HEPA. Pel que fa a la usabilitat del producte, s'ha pogut experimentar la seqüència d'ús mitjançant el prototip del disseny final. Es conclou que l'accessibilitat al filtre intern es pot millorar, tot i que cal tenir en compte que l'acumulació de desviacions dimensionals, resultants del mateix procés d'impressió 3D, no permet validar les toleràncies establertes en els plànols de fabricació i empitjoren notablement l'experiència de muntatge i desmuntatge.

Els resultats obtinguts permeten extreure propostes de millora a implementar en futures iteracions de disseny. Per optimitzar l'eficiència del sistema de filtració ciclònica per a un aspirador en concret, cal conèixer la potència proporcionada a la turbina i la seva corba de rendiment. Amb aquesta informació, es poden realitzar anàlisis paramètriques que permetin optimitzar el disseny en les condicions de treball reals. També és possible millorar l'estanquitat del sistema implementant juntes tòriques en les unions principals dels components. Això permetria reduir el soroll i evitar possibles pèrdues de flux. Des del punt de vista de la seqüència d'ús, es considera necessari dissenyar accessoris per l'embocadura d'aspiració que permetin aspirar a regions de difícil accés, o bé modificar l'embocadura d'aspiració perquè puguin acoblar-se accessoris existents.

El sistema desenvolupat ha de ser integrat en un altre mòdul que generi un diferencial de pressió per fer possible l'aspiració. No obstant això, tal com ho demostren les proves experimentals i els resultats de l'anàlisi de fluids, les contribucions d'aquest mòdul de filtració poden anar més enllà dels aspiradors manuals, ja que el sistema dissenyat és efectiu treballant en un ampli rang de pressions. Aquest sistema ciclònic pot ser fàcilment redimensionat i adaptat a aspiradors domèstics i industrials, amb diferents prestacions, que no disposen de tecnologia ciclònica. En futures línies de desenvolupament, s'obren noves possibilitats on la implementació d'aquesta tecnologia pot oferir grans avantatges, com per exemple, evitar la pèrdua de material en pols, d'impressió 3D SLS, aspirat durant el postprocés de les peces impreses.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aspiradora de mano Dyson V7TM | Dyson. (n.d.-b). Recuperat (Febrer, 2023) <https://www.dyson.es/aspiradoras/de-mano/dyson-v7-handheld/informacion-general-de-las-novedades>
- [2] Mi Vacuum Cleaner Mini (EU) | Xiaomi España. (n.d.). Xiaomi España. Recuperat (Febrer, 2023) <https://www.mi.com/es/product/mi-vacuum-cleaner-mini-eu/>
- [3] X-TOUCH | Aspiradores de mano | Rowenta. (n.d.). Recuperat (Febrer, 2023) <https://www.rowenta.es/p/x-touch/2211400907>
- [4] Brigii. (2023, April 23). Brigii 3in1 Handheld Vacuum M1 gray. Recuperat (Febrer, 2023) <https://www.brigii.com/products/brigii-3in1-handheld-vacuum-m1-gray>
- [5] Aspiradora de mano sin cable Shark WandVac 2.0 WV270EU | Shark España. (n.d.). Recuperat (Febrer, 2023) <https://sharkclean.es/productos/aspiradora-de-mano-sin-cable-shark-wandvac-2-0-una-bateria-wv270eu-zidWV270EU>
- [6]ROIDMI Official Site. (n.d.). *ROIDMI P1 Pro Portable Vacuum*. Recuperat (Febrer, 2023) <https://roidmi.com/products/roidmi-p1-pro-portable-vacuum>
- [7] Brigii. (2023b, April 23). Brigii Mini Vacuum Cleaner Y120pro. Recuperat (Febrer, 2023) <https://www.brigii.com/products/brigii-mini-vacuum-cleaner-y120pro>
- [8] NASA Glenn Research Center. (2022, June 24). *Drag of a Sphere - Glenn Research Center* | NASA. Glenn Research Center | NASA. Recuperat (Març, 2023) <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-of-a-sphere/>
- [9] Air Properties Definitions. (n.d.-c). Recuperat (Març, 2023) <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/airprop.html>
- [10] Anita. (2022). Insight into the technical aspects of vacuum cleaners. V. Brøndum. Recuperat (Març, 2023) <https://broendum.com/en/insight-into-the-technical-aspects-of-vacuum-cleaners/>
- [11] High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/>
- [12] Clear Resin. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/es/store/materials/clear-resin/>
- [13] Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
- [14] Form 2: Una impresora 3D SLA de escritorio asequible. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/es/3d-printers/form-2/>
- [15] Form 3: Industrial-Quality Desktop SLA 3D Printer. (n.d.-b). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/3d-printers/form-3/>
- [16] Form 3L: The First Affordable Large SLA 3D Printer. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/3d-printers/form-3l/>

- [17] 4 Ways LFS 3D Printing Produces Better Parts. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/blog/benefits-of-lfs-3d-printing/>
- [18] Durable Resin 1 L. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Abril, 2023) <https://formlabs.com/es/store/materials/durable-resin/>
- [19] Guide to 3D Printing Tolerances, Accuracy, and Precision. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Maig, 2023) <https://formlabs.com/blog/understanding-accuracy-precision-tolerance-in-3d-printing/>
- [20] 300BL Aspirador industrial compacto monofásico certificado Atex Z22. (n.d.). Delfin. Recuperat (Maig, 2023) <https://www.delfinvacuums.com/es/aspiradores-industriales/aspirador-industrial-compacto-monofasico-certificado-atex-z22300-bl>
- [21] www.solidperfil3d.com. (2023, June 14). Impresoras 3D Formlabs - SolidPerfil3D. SolidPerfil3D. Recuperat (Maig, 2023) <https://solidperfil3d.com/>
- [22] Polti Forzaspira C130_Plus - Aspirador sin bolsa ciclónico con filtro HEPA : Amazon.es: Hogar y cocina. (n.d.). Recuperat (Maig, 2023) https://www.amazon.es/Polti-Forzaspira-C130_Plus-Aspirador-cicl%C3%B3nico/dp/B01KXM1A62
- [23] UNE-EN 20286-1:1996 Sistema ISO de tolerancias y ajustes. (n.d.). Recuperat (Maig, 2023) <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0010935>
- [24] CELO Industrial Fasteners. (n.d.). REMFORM® cabeza alomada TORX Plus® | Tornillos para plástico | RF81TP. Recuperat (Maig, 2023) <https://www.celofasteners.com/es/tornillo-remform/790-tornillo-remform-cabeza-alomada-torx-plus-rf81tp.html>
- [25] Hebert, E. (2023, May 2). REMFORM®. REMINC & CONTI Fasteners—The Licensor of Genuine TAPTITE® Screws. Recuperat (Maig, 2023) <https://taptite.com/es/products/remform-original>
- [26] CELO Industrial Fasteners. (n.d.-a). CELO Industrial Fasteners. Recuperat (Maig, 2023) <https://www.celofasteners.com/en/>
- [27] Shenzhen Filtstar Filtration Technology Co., Ltd. - Filter, Air Filter. (n.d.).Alibaba.com. Recuperat (Maig, 2023) <https://filtstar.en.alibaba.com/>
- [28] What is a HEPA filter? | US EPA. (2023, March 13). US EPA. Recuperat (Maig, 2023) <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-hepa-filter>
- [29] Disco magnético Ø 10 mm, alto 2 mm, Especificaciones Técnicas. (2023, June). Supermagnete. Recuperat (Maig, 2023) <https://www.supermagnete.es/imanedisco-neodimio?length-or-diameter=10.00,10.00&height=1.50,2.00&lifting-force-kg=0.00,0.98>
- [30] Kg, N. N. (n.d.). Arandela acero inoxidable A2 acabado natural | norelem.es. Recuperat (Juny, 2023) <https://norelem.es/es/Produkt%C3%BCbersicht/Sistema-flexible-de-piezas-est%C3%A1ndar/07000/Tuercas-tornillos-arandelas-de-apoyo-elementos-de-seguridad/Arandelas-versi%C3%B3n-media-DIN-EN-ISO-7089-A/Arandela-acero-inoxidable-A2-acabado-natural/p/07300-105>

- [31] External Structure Materials & Durability (Desktop Version). (n.d.). Recuperat (Juny, 2023) <https://www.ristenbatt.com/xcart/External-Structure-Materials-and-Durability.html>
- [32] Online Materials Information Resource - MatWeb. (n.d.). Recuperat (Juny, 2023) <https://www.matweb.com/index.aspx>
- [33] MakeltFrom.com: Material Properties Database. (n.d.). Recuperat (Juny, 2023) <https://www.makeitfrom.com/>
- [34] Polymer Properties & Chemical Resistance of Plastics. (n.d.). Recuperat (Juny, 2023) <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties>
- [35] High Temp Resin 1 L. (n.d.). Formlabs. Recuperat (Juny, 2023) <https://formlabs.com/store/materials/high-temp-resin/>
- [36] Holipress - Holimaker. (2022, November 7). Holimaker. Recuperat (Juny, 2023) <https://holimaker.fr/holipress/>
- [37] Seo, N. J., Armstrong, T. J., Ashton-Miller, J. A., & Chaffin, D. B. (2007). The effect of torque direction and cylindrical handle diameter on the coupling between the hand and a cylindrical handle. *Journal of Biomechanics*, 40(14), 3236–3243. Recuperat (Juny, 2023) <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.04.023>
- [38] Injection Molding Cost Estimator. (n.d.). Recuperat (Juny, 2023) <https://www.custompartnet.com/estimate/injection-molding/>

AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu sincer agraïment al director d'aquest Treball Final de Grau, Joan Josep Aliau Pons, per la seva guia, suport i orientació al llarg d'aquest projecte. La seva experiència i coneixement han estat essencials per al meu creixement professional i per al desenvolupament d'aquest treball, especialment els plànols de fabricació.

També vull agrair enormement a SolidPerfil3D Initiatives S.L. La seva col·laboració i suport han estat fonamentals per aconseguir els recursos, les instal·lacions i els materials necessaris per a la realització dels prototips utilitzats en aquest projecte.

A més, vull reconèixer el suport i l'ajuda de la Laura Ferreiro Masó que ha treballat juntament amb mi durant aquest projecte. La seva disposició a compartir els seus coneixements i proporcionar un espai de treball excel·lent per dur a terme el desenvolupament del projecte ha estat inestimable.