



DISEÑO Y CÁLCULO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA CENTRAL DE ASPIRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

FECHA	28/09/20
ALUMNO	GRACIA CASANI, JESÚS
CODIRECTORES	MIGUEL ÁNGEL JIMENEZ BELLO JUAN MANZANO JUÁREZ

Tabla de contenido

1.	Introducción	6
1.1.	Funcionamiento y elementos principales de cualquier aspiradora manual	6
1.2.	En qué consiste un sistema de aspiración centralizada	7
1.3.	Objetivos del trabajo	8
2.	Antecedentes	9
3.	Metodología	10
4.	Normativa.....	11
5.	Condiciones ambientales y de diseño	12
6.	Diseño de la distribución de los conductos mediante resultados obtenidos por CFD.....	13
6.1.	Soluciones alternativas.....	13
6.2.	Proceso empleado.....	17
6.2.1.	Modelos experimentales.....	17
6.2.2.	Modelo teórico.....	18
6.2.3.	Modelo 1: 1 conducto secundario con sección invariable	21
6.2.4.	Modelo 2: 2 conductos secundarios sin variación de sección	24
6.2.5.	Modelo 3: 6 conductos secundarios sin variación de sección	26
6.2.6.	Modelo 4: 6 boquillas con variación de sección	30
6.2.7.	Modelo 5: Incorporación de colectores individuales en cada conducto secundario. 33	
6.2.8.	Modelo 6: Ampliación de sección conducto general	37
6.2.9.	Modelo 7: Reducción de la sección del conducto secundario.	40
6.3.	Conclusión	42
6.4.	Diseño final y consulta fabricación.....	43
6.4.1.	Diseño de componentes.....	43
6.4.2.	Ejemplo de diseño, simulación y ensamblaje para una ebanistería.	49
7.	Colector de polvo general	58
7.1.	Soluciones alternativas.....	58
7.1.1.	Filtro desechable / Mantenimiento	58
7.1.2.	Filtro tejido / Fieltro	58
7.2.	Proceso empleado.....	60
7.2.1.	Diseño de filtro de mangas.....	60
7.2.2.	Diseño del colector de polvo	64
7.3.	Diseño final y consulta fabricación.....	64
8.	Cálculo de la demanda de presión generada por las pérdidas del sistema y potencia necesaria del compresor	67

8.1.	Soluciones alternativas de compresores.....	67
8.2.	Proceso empleado.....	68
8.2.1.	Boquilla.....	68
8.2.2.	Conductos rectos.....	69
8.2.3.	Conductos curvos.....	71
8.2.4.	Conducto corrugado.....	72
8.2.5.	Separador ciclónico.....	72
8.2.6.	Colector de polvo general con filtro de mangas.....	75
8.2.7.	Unión de conducto secundario a conducto general.....	77
8.2.8.	Resumen de valores de caídas de presión de los componentes.....	79
8.3.	Equilibrado.....	79
8.3.1.	Equilibrado por diseño.....	79
8.3.2.	Equilibrado por compuertas.....	79
8.3.3.	Procedimiento para equilibrado por diseño.....	80
8.4.	Cálculo por método de presión dinámica.....	80
8.4.1.	Cálculo en conductos secundarios.....	80
8.4.2.	Cálculo del compresor.....	81
8.5.	Diseño final y consulta fabricación.....	83
9.	Presupuesto.....	85
9.1.	Presupuesto del trabajo del diseño y cálculo.....	85
9.2.	Componentes de distribución.....	86
9.3.	Colector de polvo general.....	88
9.3.1.	Filtros de mangas.....	88
9.3.2.	Fabricación del colector de polvo general.....	88
9.4.	Compresor.....	89
9.5.	Presupuesto total de un sistema de aspiración centralizada para que trabajen 6 operadores simultáneamente.....	90
10.	Pliego de condiciones.....	91
10.1.	Pliego De Condiciones General.....	91
10.2.	Objeto Del Presente Proyecto.....	91
10.3.	Condiciones De Los Materiales Y Ejecución.....	91
10.3.1.	Separador ciclónico.....	91
10.3.2.	Colector General de Polvo.....	92
10.3.3.	Ensamblaje del sistema de aspiración centralizada.....	93
11.	Bibliografía.....	95
11.1.	Libros.....	95

11.2.	Páginas web.....	95
12.	Anexos.....	96
12.1.	Anexo 1: Capturas simulaciones de flujo del sistema completo.....	96
12.1.	Anexo 2: Planos del separador ciclónico.....	102
12.1.	Anexo 3: Planos del colector de polvo	103
12.2.	Anexo 4: Plano distribución de conductos.....	104

Listado de Tablas

Tabla 1 Datos de entrada del modelo 1 del CFD.....	22
Tabla 2 Datos de entrada del modelo 2 del CFD.....	24
Tabla 3 Datos de entrada del modelo 3 del CFD.....	26
Tabla 4 Datos de entrada del modelo 3 después del error generado por el CFD.....	27
Tabla 5 Velocidades en modelo 3.	27
Tabla 6 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 3.....	28
Tabla 7 Datos de entrada del modelo 4 del CFD.....	30
Tabla 8 Valor de velocidades en las distintas entradas del modelo 6.	30
Tabla 9 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 4.....	31
Tabla 10 Datos de entrada del modelo 5 del CFD.....	33
Tabla 11 Valor de velocidades en las distintas entradas del modelo 5.	35
Tabla 12 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 5.....	36
Tabla 13 Datos de entrada del modelo 6 del CFD.....	37
Tabla 14 Valor de velocidades en las distintas entradas del modelo 6.	37
Tabla 15 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 6.....	38
Tabla 16 Datos de entrada del modelo 7 del CFD.....	40
Tabla 17 Velocidades en las boquillas de entrada del modelo 7.	40
Tabla 18 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 7.....	41
Tabla 19 Propiedades mecánicas del acero designado para los conductos	43
Tabla 20 Lista de conductos lineales según su diámetro nominal.....	44
Tabla 21 Datos de entrada del modelo 1 para la empresa de ebanistería	51
Tabla 22 Datos de entrada del modelo 2 para la empresa de ebanistería	54
Tabla 23 Datos de entrada del modelo 3 para la empresa de ebanistería	55
Tabla 24 Resumen de filtros de tela y sus características.....	61
Tabla 25 Mangas filtrantes de poliéster disponibles en (https://mercaspiracion.com/34-filtros) 21/08/2020	63
Tabla 26 Resultado del número de mangas necesarias según las dimensiones de los filtros de mangas.	63
Tabla 27 Comparación de los resultados válidos.	64
Tabla 28 Tamaños de conductos rectos con su correspondiente factor de pérdida por unidad de longitud	70
Tabla 29 Factor de corrección de Conductos Corrugados	72
Tabla 30 Datos obtenidos de la simulación del separador ciclónico con 330 m ³ /h de caudal en el punto 2	74
Tabla 31 Propiedades de los materiales empleados en filtros de mangas (Fuente: Cooper, D. and Alley, F., 2002.).....	76
Tabla 32 Resumen de valores de caídas de presión de los componentes.....	79
Tabla 33 Cálculo de presiones del sistema completo	82
Tabla 34 Costes derivados del diseño y cálculos.....	85
Tabla 35 Conjunto de componentes	87
Tabla 36 precios publicados de filtros de mangas y variantes disponibles.....	88
Tabla 37 Precio del coste de la fabricación del módulo del colector de polvo general.....	88
Tabla 38 Lista de compresores y sus respectivos precios	89
Tabla 39 Costes derivados del rediseño.....	90
Tabla 40 Costes de componentes	90
Tabla 41 Costes derivados de la mano de obra y transporte.....	90
Tabla 42 Coste total de la fabricación e instalación.....	90

Listado de Figuras

Figura 1 Diagrama de funcionamiento elemental de cualquier aspiradora de uso manual.....	6
Figura 2 Sistema central de aspirado para el hogar (foto: inkodu.ee).....	7
Figura 3 Ejemplo de aplicación en la industria, absorción de virutas y emulsiones (foto: delfinvacuums.com).....	7
Figura 4 Negocio con aspiradoras industriales individuales (tradicional).....	8
Figura 5 Negocio con sistema de aspiración centralizada	8
Figura 6 Nave industrial con instalación del sistema de aspiración centralizada (fuente: https://www.schenckprocess.com)	12
Figura 7 Ejemplo de instalación de conductos de aspiración centralizada por la empresa VAC-U-MAX donde se aprecia un conducto central donde convergen el resto de los conductos.....	13
Figura 8 Representación de la instalación de uno de los conductos ramificados por la empresa VAC-U-MAX	14
Figura 9 Clean-Out Port o punto de limpieza, es un acceso para mantenimiento y extracción de posibles obstrucciones del conducto general. Imagen extraída de la web de VAC-U-MAX.....	15
Figura 10 Recomendaciones para la instalación del punto de limpieza o Rod-Out-Ports (ROP) en los conductos principales según la web de VAC-U-MAX.....	16
Figura 11 Modelo impreso en 3D de la distribución sin variación de sección en el conducto general.....	17
Figura 12 Modelo impreso 3D con sección variable a medida que se incorporan el resto de las distribuciones.....	17
Figura 13 Ventana de configuración de ajustes del solver.	19
Figura 14 Ejemplo de modelado 3D del modelo 3 con 6 conductos de entrada.	20
Figura 15 Edición del croquis de la línea central del conducto con las medidas referenciadas en función de la longitud entre los conductos secundarios y el diámetro de la sección volumétrica del flujo.....	21
Figura 16 Configuración de malla: malla tetraédrica 3D de 1 mm no adaptativa. Tipo de flujo: aire.	22
Figura 17 resultado de velocidades en la simulación: velocidad flujo de entrada 1: 45,5 m/s ..	23
Figura 18 resultado de presiones en la simulación: presión de vacío: -126 mmH ₂ O.....	23
Figura 19 Captura de pantalla de la introducción de datos para la simulación del sistema de conductos con dos aberturas al ambiente y una salida con un flujo de volumen de 660 m ³ /h. 24	24
Figura 20 Captura resultado simulación: Velocidad Entrada 1: 47,12 m/s; Velocidad entrada 2: 40.13 m/s	24
Figura 21 Captura resultado simulación: Presión de vacío entrada 1: -134.57 mmH ₂ O; Presión de vacío entrada 2: -97,9 mmH ₂ O.....	25
Figura 22 Captura resultado simulación: flujo másico del Modelo 2.....	25
Figura 23 Captura de pantalla de configuración de condiciones de contorno del simulador de flujo del modelo 3	26
Figura 24 Mensaje de error en el solver: existe una divergencia detectada en uno de los nodos próximos a la salida del conducto general.....	26
Figura 25 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 3. Con la lectura de la velocidad en la Entrada 1: 72,15 m/s	27
Figura 26 Gráfica de velocidades en modelo 3.	28
Figura 27 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 3.	28

Figura 28 Gráfica de presiones en modelo 3.....	29
Figura 29 Modelado de la variación de sección en las uniones del conducto general.	30
Figura 30 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 4 la lectura de la velocidad en la entrada 1.	30
Figura 31 Grafica con comparación de velocidades de los modelos 3 y 4.....	31
Figura 32 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 4.	31
Figura 33 Grafica con comparación de presiones estáticas de los modelos 3 y 4.	32
Figura 34 Captura del modelado con la incorporación de separador ciclónico en cada tubería	33
Figura 35 Captura de pantalla de configuración de condiciones de contorno del simulador de flujo del modelo 5.	33
Figura 36 Diseño del separador ciclónico básico para simulación en cada entrada, vista seccionada.....	34
Figura 37 Vistas del diseño del separador ciclónico para cada entrada: izquierda: vista seccionada; derecha: vista completa.	34
Figura 38 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 5 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 12,96 m/s.	35
Figura 39 Gráfica con la comparación de velocidades entre los datos obtenidos del modelo 3 y 5.....	35
Figura 40 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 5.	36
Figura 41 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 3 y 5.	36
Figura 42 Captura del modelado con la incorporación de separadores ciclónicos en cada tubería	37
Figura 43 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 6 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 6,14 m/s	37
Figura 44 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo 5 y 6 .	38
Figura 45 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 6 con la lectura de la presión en la entrada 1: -2,31 mmH ₂ O	38
Figura 46 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 5 y 6	39
Figura 47 Ejemplo de pistón con un peso, genera la misma presión en las paredes del cilindro.	39
Figura 48 Captura del modelado con la incorporación de separadores ciclónicos en cada tubería	40
Figura 49 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 7 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 8,15 m/s	40
Figura 50 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo 6 y 7.	41
Figura 51 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 7 con la lectura de la presión en la entrada 1: -4,07 mmH ₂ O.	41
Figura 52 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 6 y 7.	42
Figura 53 Tubería de acero galvanizado de 32mm y 2 mm de pared	43
Figura 54 Pieza de unión de conducto secundario al conducto general (primera imagen seccionada, segunda renderizado con textura de PVC).....	44
Figura 55 codo de 45º Instalado en conducto secundario DN40 (izquierda), codo de 90º Instalado en conducto general DN110(derecha).....	45
Figura 56 Tapa para punto de limpieza en el extremo del conducto general.	45
Figura 57 Ejemplo del soporte de tubería tipo anillo.....	46
Figura 58 Funcionamiento de un separador ciclónico	47

Figura 59 Diseño del separador ciclónico M40 (cerrado en la imagen izquierda, abierto en la imagen derecha) con 3 clips de cierre incorporados.	48
Figura 60 Ensamblaje conducto secundario con unión al conducto general.....	50
Figura 61 Ensamblaje sistema de distribución a analizar.....	51
Figura 62 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 1 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 75 m/s	52
Figura 63 Gráfica con la comparación de velocidades entre las entradas del modelo 1.....	52
Figura 64 Gradiente de presiones estáticas en la simulación del modelo 1.....	53
Figura 65 Grafica comparación de presiones estáticas en modelo 1.	53
Figura 66 Gradiente de presiones totales en modelo 1.....	54
Figura 67 Gráfica de comparación de velocidades de los modelos 1 y 2.....	55
Figura 68 Gráfica de comparación de presiones de los modelos 1 y 2	55
Figura 69 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo 1, 2 y 3.	56
Figura 70 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 1, 2 y 3.	56
Figura 71 Gráfico del resultado aritmético de las presiones sacadas del CFD según el caudal total introducido como dato en la salida del sistema	57
Figura 72 Grafica no cuantificada representando la línea de descenso de caudal a consecuencia de la acumulación de polvo en los filtros de mangas	59
Figura 73 Ejemplo de otro colector de polvo industrial con mecanismo de vibrado de los filtros para su autolimpieza (filterworkshop(indrofiltermachine.com)).....	59
Figura 74 Grafica de comportamiento de un ciclo de filtro de mangas.....	60
Figura 75 Ejemplo de chapa perforada para la instalación de los filtros de mangas en el colector de polvo general con $N_{mangas} = 6$	62
Figura 76 Representación para el cálculo de la superficie de tejido del filtro de mangas.....	63
Figura 77 Ejemplo de producto publicado en la web del proveedor.....	63
Figura 78 Apariencia externa del colector de polvo para un caudal de 1980 m ³ /h (izquierda). Vista renderizada y seccionada (derecha)	65
Figura 79 Cajón de polvo con ruedas giratorias de goma para deposición de la acumulación de polvo.....	65
Figura 80 Renderizado de colector general explosionado con extracción del cajón de polvo...	66
Figura 81 Compresor peripheral bypass	67
Figura 82 Compresor canal lateral	67
Figura 83 Compresor etapas tangenciales	67
Figura 84 Boquillas con abertura sencilla	68
Figura 85 Diagrama de pérdida por fricción en conductos lineales.....	69
Figura 86 Diagrama de rugosidad de conducto	70
Figura 87 Pérdida de carga según el radio de curvatura y el diámetro del conducto.	71
Figura 88 Gráfico con estimación lineal de tipo exponencial de la pérdida de carga de un conducto curvo.....	71
Figura 89 Configuración de malla para simulación del flujo de aire.	72
Figura 90 Configuración de condiciones de contorno.	72
Figura 91 Resultado simulación DN 40: Velocidad del flujo representada con flechas en m/s (Izq: Vista completa/ Der: Vista seccionada)	73
Figura 92 Resultado simulación presión total DN 40, 50, 63	74
Figura 93 Modificación Figura 74 de la gráfica de comportamiento de un ciclo de filtro de mangas	77
Figura 94 Tabla de pérdidas en uniones.	78

Figura 95 Ensamblaje conducto secundario	81
Figura 96 Gráfico de presiones estáticas acumuladas en el conducto secundario.....	81
Figura 97 Ensamblaje sistema de aspiración centralizada	82
Figura 98 Gráfico de presiones estáticas acumuladas en el sistema	82
Figura 99 Compresor seleccionado	83
Figura 100 Características técnicas de los productos ofertados por Hoffman and Lamson con las líneas trazadas del motor que se busca para el ejemplo visto anteriormente.....	84
Figura 101 Gradiente de velocidades DN 90. Lectura de la velocidad en la entrada 1: 15,21 m/s	96
Figura 102 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo DN90 y DN110.....	96
Figura 103 Presiones estáticas del modelo DN90. Lectura de la velocidad en la entrada 1: -14,39 mmH ₂ O	97
Figura 104 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos DN90 y DN110.	97
Figura 105 Gradientes de presiones totales del modelo DN90.	97
Figura 103 Presiones estáticas del modelo DN90. Lectura de la velocidad en la entrada 1: -14,39 mmH ₂ O	99

1. Introducción

1.1. Funcionamiento y elementos principales de cualquier aspiradora manual

Para familiarizar al lector con los elementos de los que se hablará durante todo el texto y la importancia de una buena elección de estos, en este apartado se describirán los elementos más relevantes junto al proceso interno común de cualquier tipo de aspirador de uso manual.

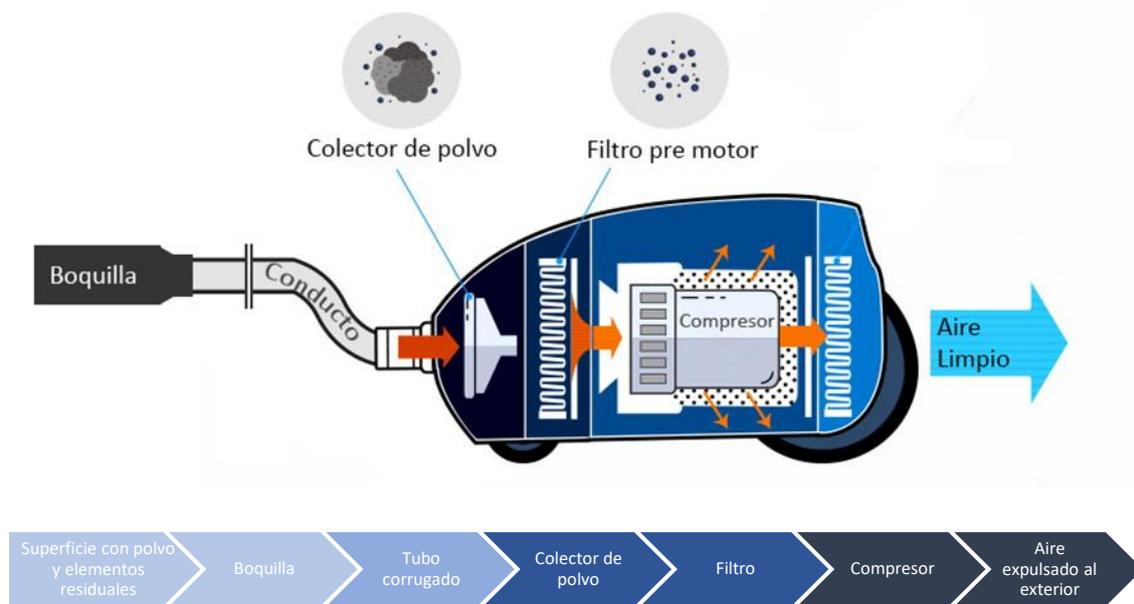


Figura 1 Diagrama de funcionamiento elemental de cualquier aspiradora de uso manual.

Como se muestra en la Figura 1, el funcionamiento consiste en generar a través de un compresor una presión negativa en la boquilla a través del sistema que permite la absorción de polvo u otros elementos residuales a fin de sustraerlos de una superficie que se desea limpiar y almacenarlos en un colector de polvo gracias a uno o varios filtros.

Tanto el colector de polvo, filtro y compresor pueden ser de distintas formas y formatos, su elección dependerá de la presión y caudal que necesite el sistema para satisfacer los requisitos deseables en la boquilla con unas condiciones de contorno determinadas.

1.2. En qué consiste un sistema de aspiración centralizada

La aspiración centralizada es un tipo de aspirador que se distingue en la generación de vacío por múltiples boquillas canalizadas a un único colector de polvo y compresor. Esto puede permitir en algunos casos, un ahorro en el gasto de fabricación y uso respecto al método convencional de múltiples sistemas de aspirado al centralizar la generación de vacío y conseguir una mayor eficiencia eléctrica y mecánica al compartir gastos de fabricación, resistencias eléctricas y pérdidas de succión del mismo sistema.

Este sistema se puede aplicar en distintos entornos como los hogares (Figura 2) o la industria (Figura 3).



Figura 2 Sistema central de aspirado para el hogar (foto: inkodu.ee)



Figura 3 Ejemplo de aplicación en la industria, absorción de virutas y emulsiones (foto: delfinvacuums.com)

1.3. Objetivos del trabajo

En éste trabajo se prediseñará un sistema central de aspirado con la finalidad de poder desarrollar a partir de un diseño primario un modelo adaptativo que permita el rediseño de otros sistemas de aspiración centralizada (ver Figura 5) en función de las necesidades de futuros clientes, en el que todas sus boquillas (o entradas) de aspirado proporcionen la misma potencia de aspiración independientemente del uso del resto. Todo esto garantizando un rendimiento similar al de cualquier aspirador de uso industrial convencional e individual (Ver

Figura 4).

Por tanto, será necesario:

- Conocer la demanda de **caudal** de diseño y una **presión de absorción** orientativa para la aspiración en la entrada de cada una de las boquillas.
- Hallar la **distribución y configuración** óptima del sistema para que todas las boquillas ofrezcan una fuerza de aspiración similar con las mínimas pérdidas y con geometrías simples.
- La **superficie y material del filtro de mangas** necesaria por caudal.
- Calcular la **caída de presión** producida por el sistema con el fin de elegir junto con el caudal de diseño el **compresor** adecuado mediante catálogos para abastecer al conjunto de boquillas con la fuerza de aspiración necesaria según la demanda del cliente.

Por último, se generará un presupuesto que incluirán los costes de diseño, fabricación, de instalación.



Figura 4 Negocio con aspiradoras industriales individuales (tradicional)



Figura 5 Negocio con sistema de aspiración centralizada

2. Antecedentes

El método de limpieza más efectivo y menos abrasivo para limpieza de partículas en superficies es el aspirador. Estos aparatos tienen un formato industrial con más potencia y con mayor volumen que en los hogares puesto que se presupone un uso más intenso.

Pero cada vez más, parece que la industria recurre a la aspiración centralizada que permite reducir ruido ambiental perjudicando menos a los trabajadores, ahorrar tiempo y costes, además de simplificar equipos y una mayor eficiencia energética para la limpieza de partículas en el área de trabajo.

Además, centralizar la aspiración permite expulsar los gases absorbidos al exterior evitando la recirculación de partículas de aire mejorando la calidad de la misma en el interior.

Actualmente, la oferta de estos sistemas en España es reducida y teniendo en cuenta que cada vez existe una mayor tendencia y conciencia en las empresas de simplificar y maximizar eficiencias. Es posible que la demanda de este tipo de soluciones crezca en los próximos años superando la actual oferta.

3. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo se seguirá el siguiente procedimiento:

- Búsqueda de elementos comunes (factores como caudales, presiones y distribución de conductos y componentes) entre los productos ya existentes en el mercado y que, por tanto, son el “común denominador” de una efectividad ya demostrada y una garantía de funcionalidad que otorgarán el punto de partida a desarrollar en los siguientes apartados.
- Comprensión y análisis de la mecánica de fluidos detrás de la distribución de conductos observados de otros sistemas de aspiración centralizada.
 - Diseño a pequeña escala de un modelo impreso en 3D que proporcione información empírica básica sobre el funcionamiento y comportamiento de la distribución de un sistema de aspiración centralizada con la finalidad de comprender el problema físico a desarrollar.
 - Desarrollo de dicha distribución de sistema de aspiración centralizada a través de un proceso de iteración de modelos de flujos volumétricos simulados mediante un simulador de flujo computarizado (CFD del inglés Computational Fluid Dynamics) el cual hace uso del Método de Elementos Finitos (MEF) y de las ecuaciones de Navier-Stokes.
- Diseño de componentes del sistema de aspiración centralizada a excepción del compresor y cálculo particularizado de las pérdidas de presión de cada componente mediante tablas experimentales o mediante cálculo de presión total del diseño por CFD.
- Diseño de un sistema de aspiración centralizada para un modelo de negocio concreto y cálculo de la caída de presión estática total que deberá suplir la presión de vacío de un compresor adecuado para ello.

4. Normativa

La normativa existente sobre Aparatos electrodomésticos y análogos de Seguridad se recoge en las siguientes normas:

- **UNE-E N 60335-2-69, Julio 2013.** Aparatos electrodomésticos y análogos Seguridad.

Concretamente en la Parte 2-69: Requisitos particulares para aspiradores que funcionan en mojado o en seco, incluyendo los cepillos con motor para uso industrial y comercial.

Esta norma reconoce el nivel aceptado internacionalmente de protección contra riesgos tales como eléctricos, mecánicos, térmicos, de fuego y de radiación en aparatos funcionando en uso normal teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante. Esta norma también incluye situaciones anormales que puedan esperarse en la práctica y tiene en cuenta la forma en la que los fenómenos electromagnéticos puedan afectar la seguridad del funcionamiento de los aparatos.

La norma tiene en cuenta los requisitos de la Norma IEC 60364, en la medida de lo posible de forma que sea compatible con las reglas de instalación cuando el aparato se conecta a la red de alimentación. Sin embargo, las reglas de instalación nacionales pueden ser diferentes.

También trata de la seguridad de los aspiradores eléctricos que funcionan a motor, incluidos los aspiradores mochila y los extractores de polvo para succión en mojado, succión en seco, o succión en mojado y en seco, destinados a uso comercial en interior o exterior con o sin accesorios.

Esta norma trata también de la seguridad de los sistemas de aspiración centralizados, excluida la instalación del sistema.

NOTA: Debe ponerse atención sobre el hecho de que requisitos adicionales sobre la instalación segura de los sistemas de aspiración centralizados **no** están incluidos en esta norma, pero es necesario tenerlos en consideración.

- **UNE-EN IEC 62885-8, abril 2020.** Aparatos de limpieza de superficies Parte 8: Aspiradores en seco para uso comercial. Métodos de medida de la aptitud para la función.

Esta parte de la Norma IEC 62885 se aplica a las mediciones de aptitud para la función de los aspiradores en seco que funcionan con la red, comprendidos los aspiradores de filtro de agua, para uso comercial. Los requisitos relativos a la construcción y a los ensayos cubiertos por este documento son aplicables en adición a los requisitos aplicables a los aspiradores aplicables para uso comercial de la Norma IEC 60335-2-69.

Este documento tiene por objeto especificar las características esenciales de la aptitud para la función de los aspiradores en seco para uso comercial que tienen un interés para los usuarios y describir los métodos de medición de dichas características.

5. Condiciones ambientales y de diseño

En aspiradoras centrales no puede existir una configuración universal que se adapte a todo tipo de instalaciones. Si existen en cambio, elementos comunes y comportamientos físicos que se deben estudiar y evaluar para configurar el sistema central de aspirado al negocio donde se desea aplicar.

Se deberá por tanto tener en cuenta factores y condiciones ambientales como el tipo de empleo al que será sometido, tipo de partículas que se absorberán (abrasivas, finas, gruesas, etc...) posibles cargas estáticas, tamaño de la instalación, usuarios simultáneos, altitud y humedad ambiental que se deberán tener en cuenta para un diseño con las menores pérdidas de presión y coste económico posible que garantice su funcionalidad y bajo mantenimiento durante años.

El diseño será basado en parte por los productos comerciales que operan actualmente en diversas industrias y de los que ya se presupone que la funcionalidad está garantizada.

En ellos, se puede distinguir cuatro elementos fundamentales que forman parte de cualquier aspiradora de uso común (Ver Figura 6)

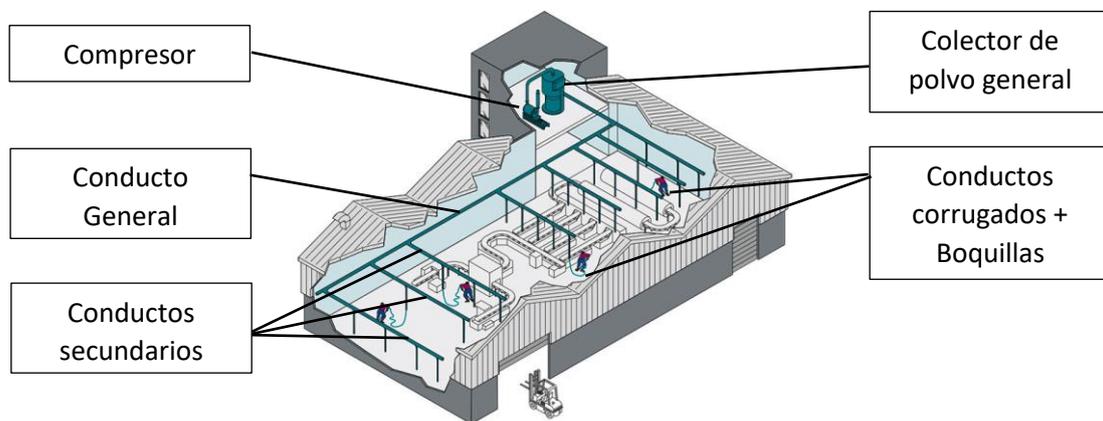


Figura 6 Nave industrial con instalación del sistema de aspiración centralizada (fuente: <https://www.schenckprocess.com>)

El diseño que propone este trabajo debe cumplir que todos los operarios o usuarios cuenten con la misma fuerza de aspirado en cada boquilla. Por lo que se debe hallar la distribución óptima del sistema para que todas las boquillas cumplan con este requisito.

Se ha observado, además, en diversas fichas técnicas de los principales aspiradores industriales de uso individual del mercado que la aspiración de dichas aspiradoras suele oscilar entre las siguientes características técnicas:

- Caudal: 250 – 400 m³/h
- Presión: 620 – 2200 mmH₂O
- Potencia: 1,3 – 4 CV

6. Diseño de la distribución de los conductos mediante resultados obtenidos por CFD

6.1. Soluciones alternativas

En este apartado se estudiará la distribución de tuberías y conductos que parten desde el colector de polvo y que se van bifurcando hasta las boquillas, dando servicio a un número de usuarios simultáneamente.

Es importante analizar las distintas configuraciones y diámetros que se deberán aplicar dependiendo del número de operarios/usuarios que van a hacer uso del servicio de forma simultánea.

En varias empresas observadas, donde operan con este servicio, se genera vacío en una tubería central y uniforme (Conducto general) y de ésta, se ramifican en línea de manera uniformemente distribuida a tuberías de menor diámetro (conductos secundarios) que conducen hasta las respectivas boquillas o tomas de entrada. En las siguientes ilustraciones se puede ver el ejemplo de esta práctica (Ver Figura 7 y Figura 8).



Figura 7 Ejemplo de instalación de conductos de aspiración centralizada por la empresa VAC-U-MAX donde se aprecia un conducto central donde convergen el resto de los conductos.

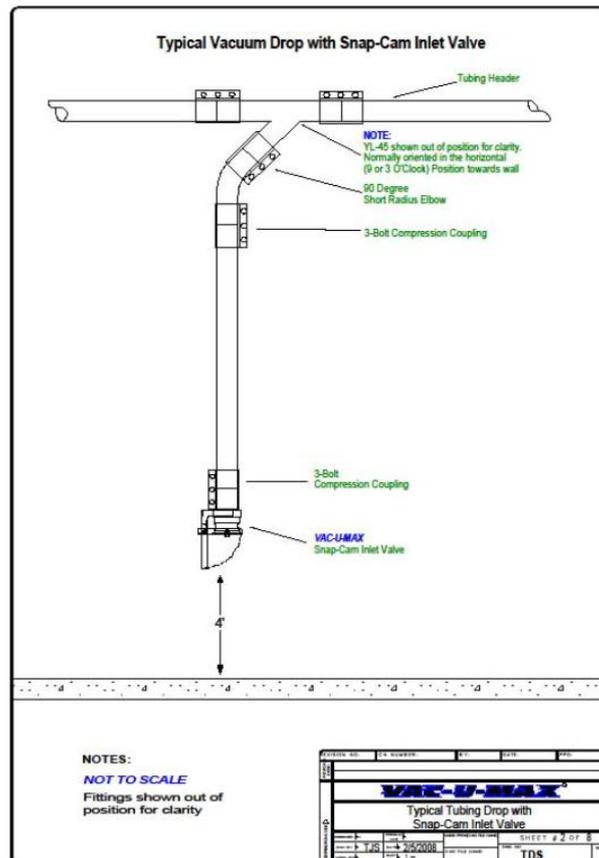


Figura 8 Representación de la instalación de uno de los conductos ramificados por la empresa VAC-U-MAX

En las distintas empresas observadas, se aconseja una serie de prácticas comunes para su instalación:

- Evitar codos con aristas vivas optando preferiblemente por codos curvados para evitar que la acumulación de partículas en el interior de estos.
- Las uniones a otros conductos se deben realizar a 30 o 45º en dirección favorable a la corriente principal o conducto general.
- Es recomendable, por tanto, instalar dos codos de 45º para un giro de 90º que un sólo codo de 90º como se observa en la Figura 8.
- Para evitar la generación de corrientes estáticas en el aire y partículas que puedan generar posibles incendios o daños al personal que se encuentre próximo al conducto, se deberá en tramos de largo recorrido utilizar acero en lugar de PVC.

“El PVC es un material no conductor y, como tal, acumulará electricidad estática del aire y los desechos que lo atraviesan. De hecho, la tubería de PVC almacena electricidad estática de manera tan efectiva que se convierte en un condensador muy potente y peligroso. Cuanto mayor es el diámetro de la tubería de PVC, mayor es su almacenamiento estático y potencial. No es posible conectar a tierra de manera efectiva una tubería de PVC con un cable de conexión a tierra externo (o interno). El mismo problema con la acumulación estática existe con el uso de una manguera de vacío no estática: potencial peligro de ignición de polvo y molestias o lesiones para el operador.

La tubería de PVC también tiene características de flujo de aire deficientes con sus codos de radio corto. Las repisas internas en cada junta pueden permitir que el material se acumule y

obstruya el flujo de aire. Además, el PVC no se conoce como un material muy resistente al desgaste en un entorno industrial.” (Texto extraído y traducido de *VAC-U-MAX Position Statement on the Use of PVC Pipe for Central Vac Systems*)

- Para mantenimiento y limpieza de los conductos principales, recomiendan la instalación de puntos de limpieza en los extremos de estos conductos (Ver Figura 9 y Figura 10). Son unos accesos normalmente cerrados con una tapa que permiten el mantenimiento y posible extracción de algún posible objeto que obstruya dicho conducto.

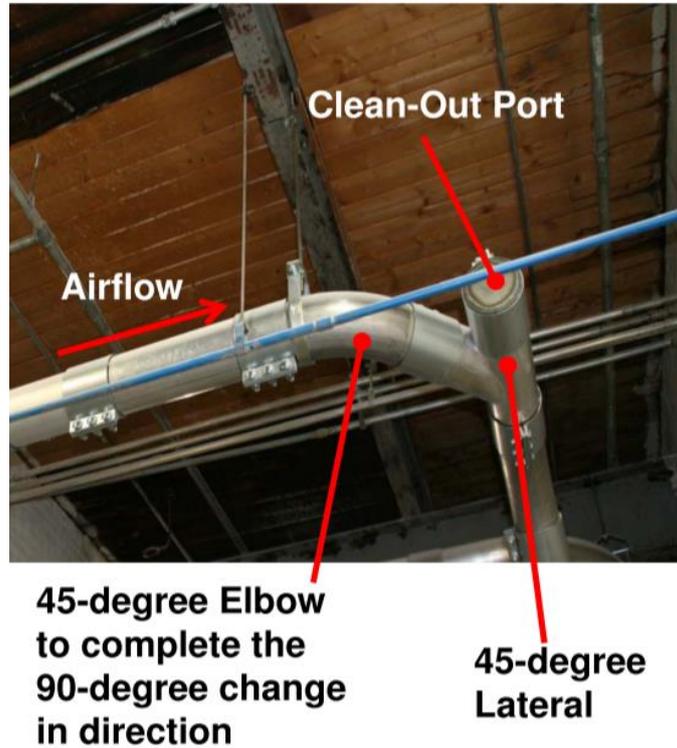


Figura 9 Clean-Out Port o punto de limpieza, es un acceso para mantenimiento y extracción de posibles obstrucciones del conducto general. Imagen extraída de la web de VAC-U-MAX

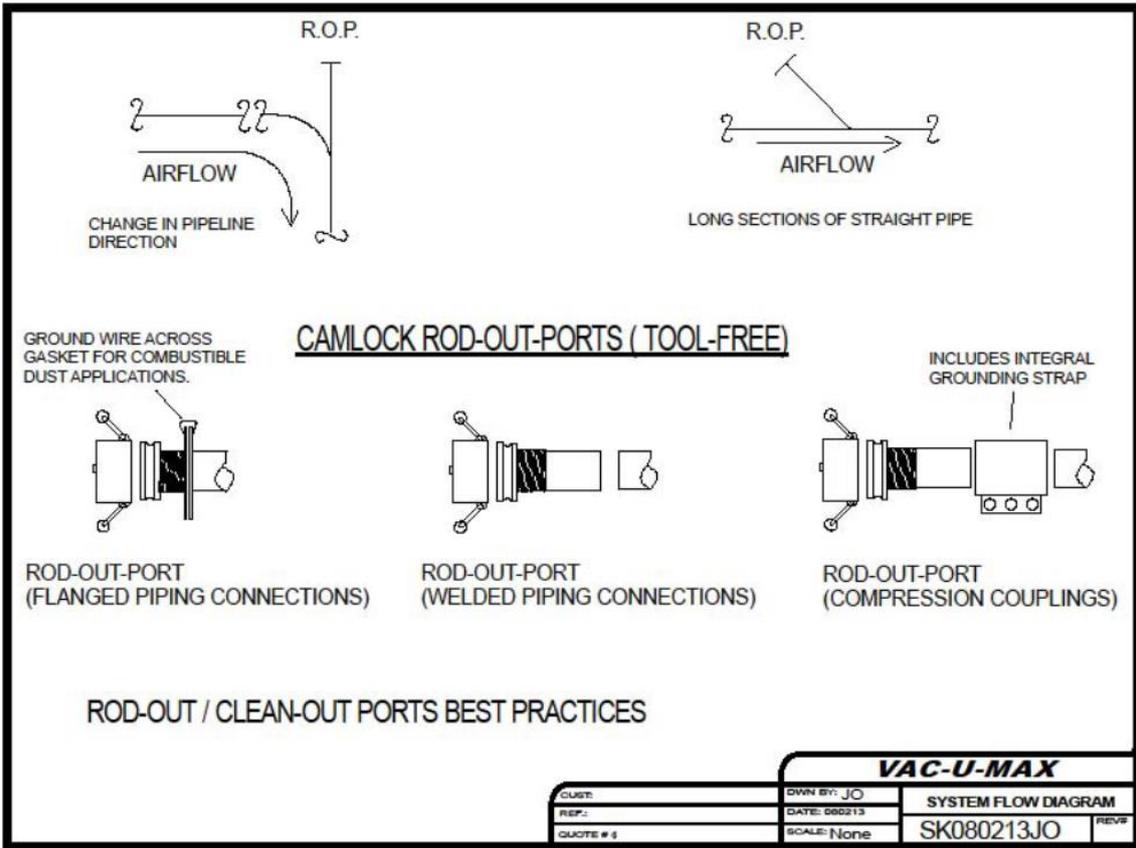


Figura 10 Recomendaciones para la instalación del punto de limpieza o Rod-Out-Ports (ROP) en los conductos principales según la web de VAC-U-MAX

6.2. Proceso empleado

6.2.1. Modelos experimentales

Para la comprensión de la influencia del conducto principal con el conjunto de los conductos secundarios con la distribución observada en instalaciones realizadas por otras empresas, se realiza una impresión 3D de varios modelos a escala de una distribución de aspiración centralizada acoplables a una aspiradora doméstica con el fin de comprobar experimentalmente la fuerza de aspiración en cada boquilla y contrastar empíricamente los resultados.



Figura 11 Modelo impreso en 3D de la distribución sin variación de sección en el conducto general.

En el primer modelo impreso que se ilustra en la Figura 11, se utilizó el mismo diámetro en el conducto central que en los conductos secundarios. Al testarlo, se comprobó que la potencia de absorción era decreciente conforme las ramas se encontraban a mayor distancia del adaptador del aspirador. Esto sucede porque por ley de la conservación de la masa los caudales se suman y como la sección del conducto general no varía, la velocidad se multiplica por cada unión del conducto secundario al general, provocando que por principio de Bernoulli la fuerza de succión se incremente en los conductos secundarios próximos a la salida del conducto general.



Figura 12 Modelo impreso 3D con sección variable a medida que se incorporan el resto de las distribuciones

Se decide por tanto imprimir el modelo mostrado en la Figura 12, cuya sección del conducto general se incrementa a medida que se unen los conductos secundarios en dirección del flujo del aire. De esta forma, la velocidad en la unión del conducto general se reduce a medida que se incorpora el flujo de los conductos secundarios y la presión de vacío resulta prácticamente equivalente en todas las entradas.

Comprobados estos dos modelos, la cuestión a resolver es:

¿Qué distribución y geometría de los conductos aplican en las industrias que fabrican este tipo de instalaciones para que tengan la forma vista en la Figura 2, Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 y no la vista en la Figura 12 pero sin desequilibrio de presiones y caudales como sucede en la Figura 11? y porqué.

6.2.2. Modelo teórico

A continuación, se procede a diseñar mediante simulación de flujo por método elementos finitos (MEF) una distribución que satisfaga la distribución uniforme de caudales entre los conductos secundarios.

De esta forma se irán iterando modelos de flujo continuamente y desechando los resultados no satisfactorios y mejorando continuamente el resultado.

Dicha simulación de flujo computacional (CFD) se realiza modelando previamente el volumen de flujo mediante diseño asistido por ordenador (CAD), es decir, se modelará en 3D el espacio interno de los conductos sin tener en cuenta el resto de los parámetros: conductos, codos y boquillas no se modelan en este apartado puesto que para el cálculo sólo es necesario indicar que las paredes del volumen de flujo tienen un coeficiente de rozamiento estándar (Ver Figura 14 y Figura 15).

Tras el modelado, se configura y se crea un mallado integral del volumen (Figura 16) no adaptativo y tras indicar al ordenador el tipo de fluido que es (aire a 20°C), el ordenador obtiene mediante MEF el cálculo de las variables primitivas de velocidad y presión (CFD).

Este método especial de cálculo de flujo se basa en una formulación Variacional del problema de Navier-Stokes en espacios de funciones apropiados, y determina aproximaciones "discretas" en ciertos subespacios de dimensiones finitas ("espacios de prueba") que consisten en funciones polinómicas por partes. Por este enfoque, la discretización hereda la mayor parte de la estructura rica del problema continuo, que, por un lado, proporciona una alta flexibilidad computacional y por otro, facilita un análisis riguroso de errores matemáticos.

El modelo establecido para el flujo viscoso incompresible de Newton es el famoso sistema de ecuaciones de Navier-Stokes:

$$\partial_t v - \nu \Delta v + v \cdot \nabla v + \nabla p = f \quad [1]$$

$$\nabla \cdot v = 0 \quad [2]$$

En alguna región $\Omega \times (0, T)$ con las condiciones iniciales y límite apropiadas.

Se concentra en flujos "laminar", es decir, en flujos con el número de Reynolds en el rango $1 \leq Re \leq 105$, donde $Re \sim v^{-1} / \nu$.

La solución numérica de este sistema implica varias dificultades típicas:

- Estructura de flujo complicada \Rightarrow mallas finas.
- $Re \gg 1 \Rightarrow$ mallas localmente refinadas y anisótropas en capas límite.
- Efectos no lineales dominantes \Rightarrow problemas de estabilidad.
- Restricción $\nabla \cdot v = 0 \Rightarrow$ solución implícita.

- Cantidades sensibles ⇒ mallas adaptadas a la solución.

Una predicción precisa del fluido requiere el uso de una gran potencia computacional, particularmente para la extensión de 3D, de flujos estacionarios a flujos no estacionarios, y desde resultados cualitativos hasta resultados cuantitativamente precisos.

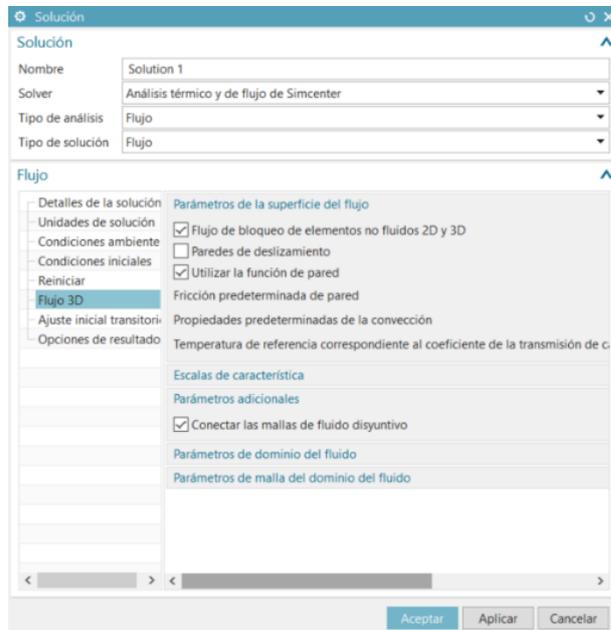


Figura 13 Ventana de configuración de ajustes del solver.

Existen en la actualidad varios programas informáticos capaces de realizar dichas operaciones. En este trabajo, se ha hecho uso del módulo de diseño y preprocesamiento/postprocesamiento de NX CAE Nastran, un reconocido y avanzado solver por elementos finitos para simular el flujo de aire que circula por el interior de conductos diseñados.

Se activará en las opciones de configuración del CFD las operaciones la función de pared que añade las fórmulas para el coeficiente de arrastre en los extremos del mallado (Ver en Figura 13), simulando así el rozamiento generado por las paredes internas de la tubería.

Se añadirán además dos tipos de condiciones de contorno:

- Una condición de contorno del flujo en la salida del tubo general.

Esta condición es un flujo volumétrico impuesto de salida donde se impone el caudal que absorbe teóricamente el compresor. Como lo que se desea es que en todos los conductos de entrada circule el mismo caudal, este debe imponerse en la salida y será el producto del caudal de diseño de cada boquilla (Se utilizará un valor intermedio de lo visto en las fichas comerciales de las aspiradoras industriales de uso individual: $330 \text{ m}^3/\text{h}$. Ver apartado 5. Condiciones ambientales y de diseño) por la cantidad de conductos secundarios. (Ver Figura 19)

- Condición de contorno del flujo en los conductos de entrada.

Esta condición consta de una apertura en cada extremo del conducto secundario. Esto implica que esa cara está en contacto con el aire ambiente, es decir, el fluido (aire) a velocidad 0 y presión atmosférica. (Ver Figura 19)

Para todas las simulaciones que a continuación se muestran, se ha utilizado el mismo caudal de diseño por conducto secundario ($330 \text{ m}^3/\text{h}$).

La primera modelización consiste en la distribución de una única entrada (un simple conducto) con un mallado más reducido para mayor precisión de los resultados (Ver Figura 15).

En los siguientes modelos, se irá incrementando el número de entradas, configuraciones y dimensiones. Se tomará nota de los datos ofrecidos por el simulador en cada una de las entradas y se comparará con el modelo anterior con un breve análisis de los datos.

Se recuerda que este subapartado no trata de simular un modelo definitivo. Por lo que las longitudes y diámetros de los modelos CAD que a continuación se muestran son estimados a valores inspirados en los reales. Este apartado trata de dar una explicación a cómo conseguir una distribución uniforme de caudales y presiones en los conductos secundarios modificando las dimensiones de la distribución.

El modelado parte de un croquis con medidas adaptativas que ajustarán el modelo según el diámetro interno de los conductos y número de conductos secundarios o servicios, de forma que para modificar el modelo completo solo se tendrán que cambiar estos parámetros en una hoja de datos del software de diseño (Ver Figura 14) y ejecutar de nuevo la simulación en su respectivo módulo del propio software.

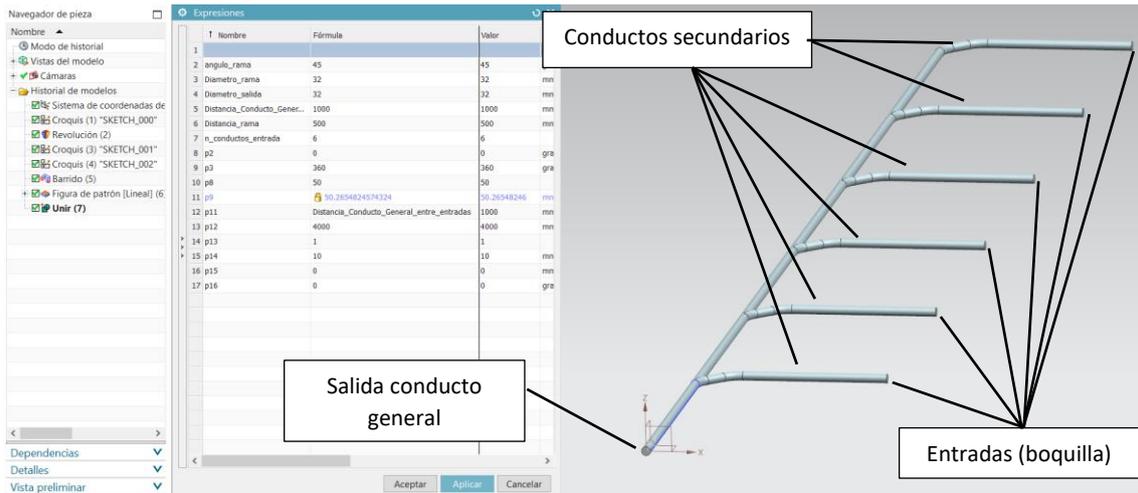


Figura 14 Ejemplo de modelado 3D del modelo 3 con 6 conductos de entrada.

6.2.3. Modelo 1: 1 conducto secundario con sección invariable

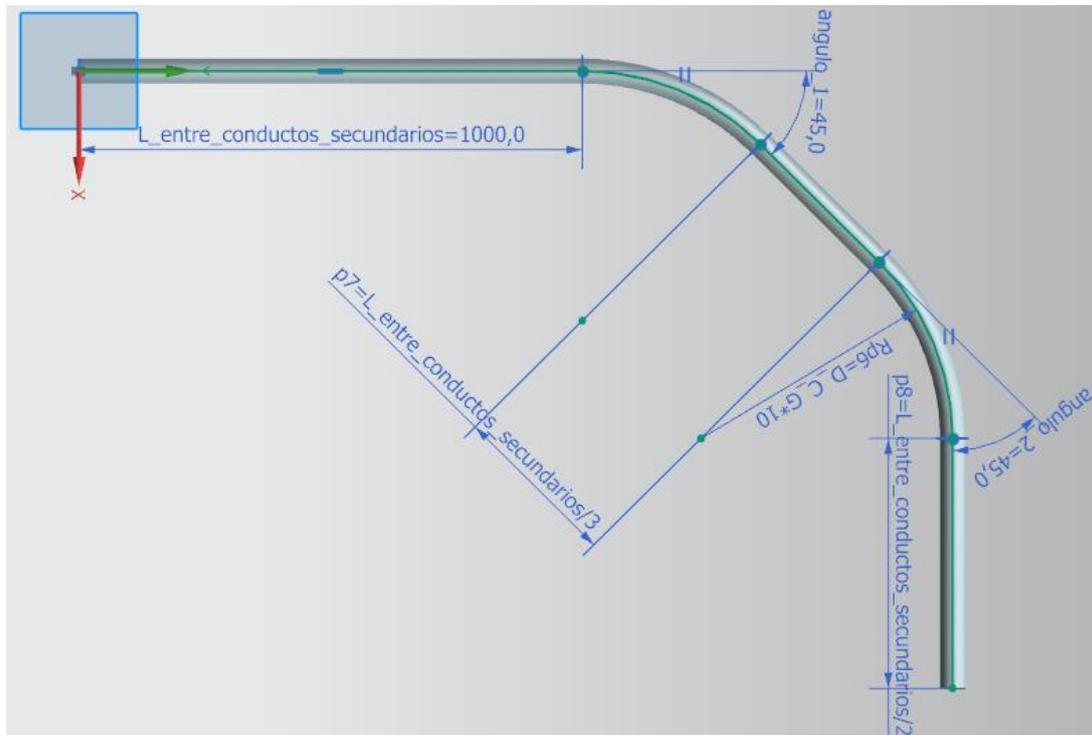


Figura 15 Edición del croquis de la línea central del conducto con las medidas referenciadas en función de la longitud entre los conductos secundarios y el diámetro de la sección volumétrica del flujo.

En este primer modelo, se simulará un único conducto curvado de 50 mm de diámetro interno. Dicho conducto incorpora dos codos de 45° con un radio de curvatura 10 veces superior al diámetro interno del conducto. La longitud entre codos es la tercera parte de la longitud que separa la salida del conducto del primer codo de 45 de 1 metro y la longitud entre la entrada del conducto y el segundo codo de 45° es la mitad de la longitud entre la salida y el primer codo (Ver Figura 15).

Una vez modelado el conducto, se introduce en el módulo de simulación del propio software de diseño y se crea un mallado del modelo creado.

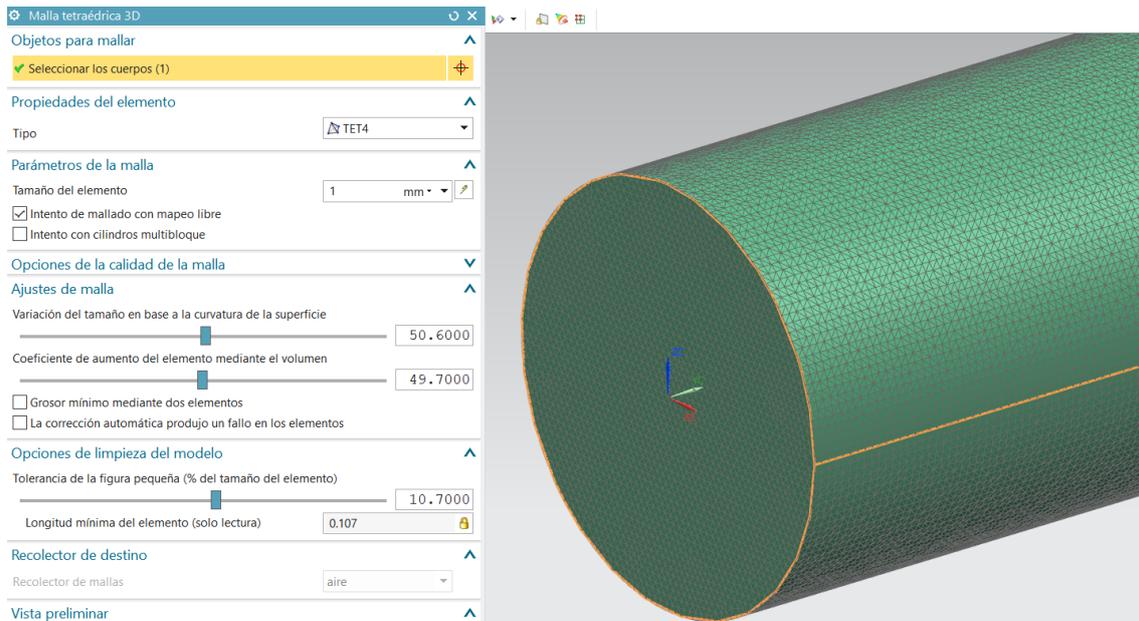


Figura 16 Configuración de malla: malla tetraédrica 3D de 1 mm no adaptativa. Tipo de flujo: aire.

El mallado para el cálculo de esta simulación es de tipo tetraédrica, puesto que es uno de los principales métodos de generación de mallas no estructuradas que resuelve este tipo de problemas físicos de forma satisfactoria sin entrar en técnicas complejas como sería en el caso del uso de otras mallas cuadriláteras o hexaédricas.

Se utiliza en este caso un mallado de 1 mm de tamaño del elemento (Ver Figura 16). Un mallado bastante fino puesto que será necesario un resultado de alta precisión para comparación del resultado de la velocidad de entrada con la teórica de salida al ser el primer modelo simulado.

A medida que el modelo aumente de tamaño también se hará en el tamaño de mallado con el fin de que los tiempos de procesamiento del simulador no se disparen. Esto hará que la solución sea menos precisa y el software devolverá un resultado con menor resolución aumentando así el error.

Sin embargo, para este apartado es suficiente, puesto que la finalidad de estas simulaciones es aprender sobre el comportamiento del flujo con distintos modelos de distribución de conductos y encontrar una solución satisfactoria para que todos los conductos secundarios tengan una distribución lo más homogénea posible de valores de presiones y caudales. De esta forma se agilizarán los tiempos y permitirá la realización de múltiples simulaciones en menos tiempo.

Nº Conductos secundarios	1
Ø Conductos secundarios	50 mm
Caudal total en la salida del conducto general	330 m ³ /h
Ø Salida conducto general	50 mm
Tamaño mallado	1 mm

Tabla 1 Datos de entrada del modelo 1 del CFD

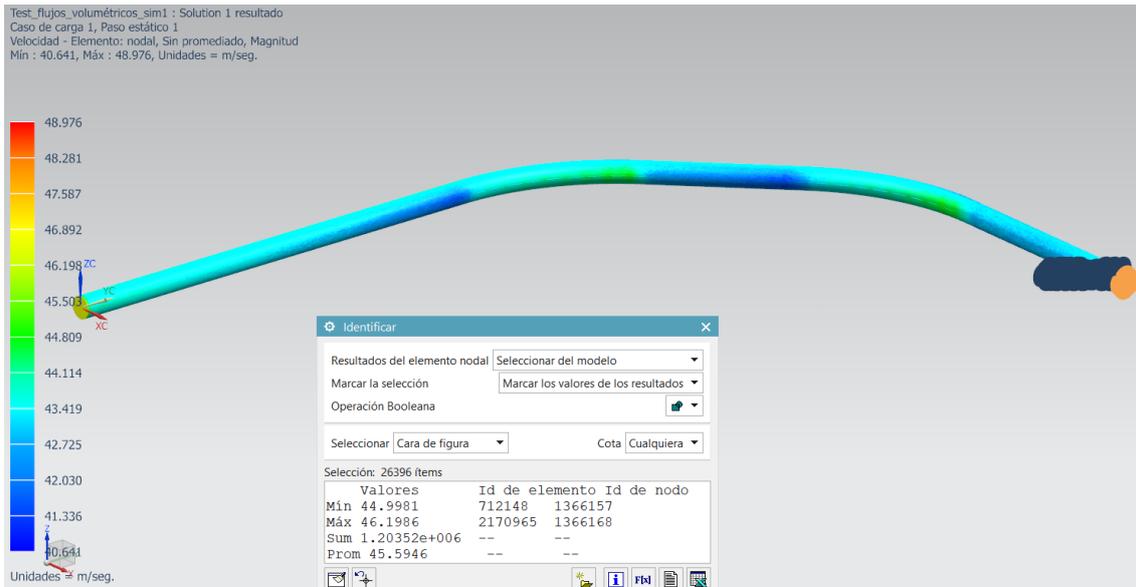


Figura 17 resultado de velocidades en la simulación: velocidad flujo de entrada 1: 45,5 m/s

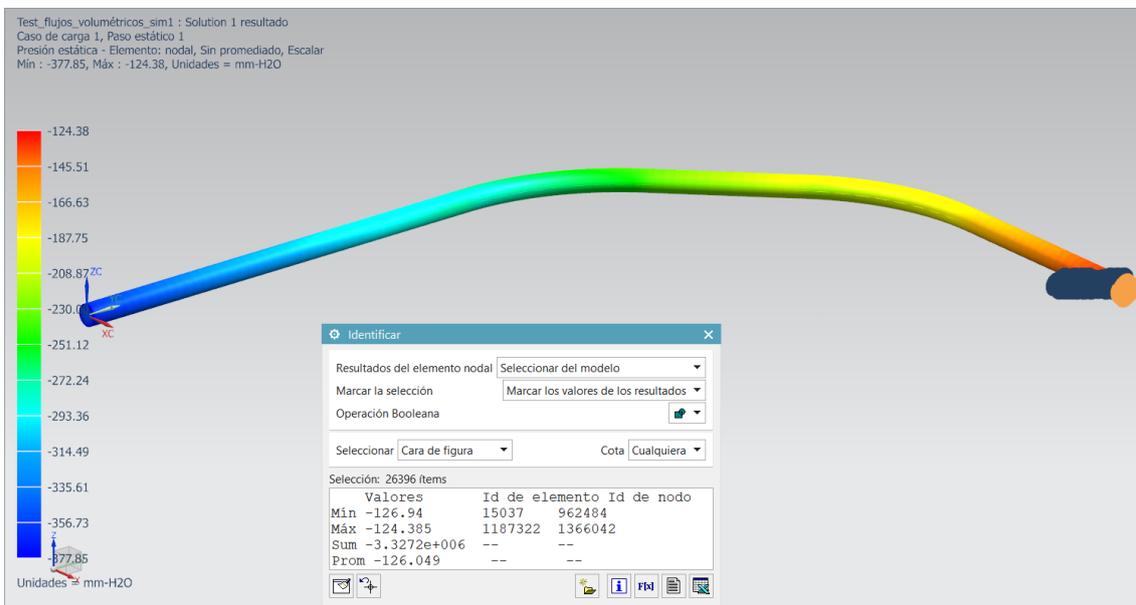


Figura 18 resultado de presiones en la simulación: presión de vacío: -126 mmH₂O

Si se contrasta el resultado de la velocidad en la Figura 17 (45,5 m/s) con la velocidad teórica en la salida del conducto:

$$V_{SALIDA} = \frac{Q}{A} = \frac{330 \frac{m^3}{h} \cdot h}{(2 \cdot 1000 \text{ mm})^2 \cdot \pi \cdot 3600 \text{ s}} = 46,69 \frac{m}{s} \quad [3]$$

Podemos ver como el software ha tenido en cuenta la resistencia de las paredes del conducto, disminuyendo también la presión estática de absorción a -126 mmH₂O. (Ver Figura 18)

6.2.4. Modelo 2: 2 conductos secundarios sin variación de sección

En este segundo modelo se añade una segunda entrada o conducto secundario y se evidencia el problema observado con el modelo impreso en 3D (Figura 11) al incorporar múltiples entradas a un conducto general: La suma de caudales sin variación de la sección en el conducto general provoca un incremento de la velocidad aguas abajo de la convergencia de los conductos. Generando a su vez una disminución de la presión estática (aumento de la presión de vacío) en la unión de la entrada 1 por efecto Venturi.

Nº Conductos secundarios	2
Ø Conductos secundarios	50 mm
Caudal total en la salida del conducto general	660 m ³ /h
Ø Salida conducto general	50 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 2 Datos de entrada del modelo 2 del CFD

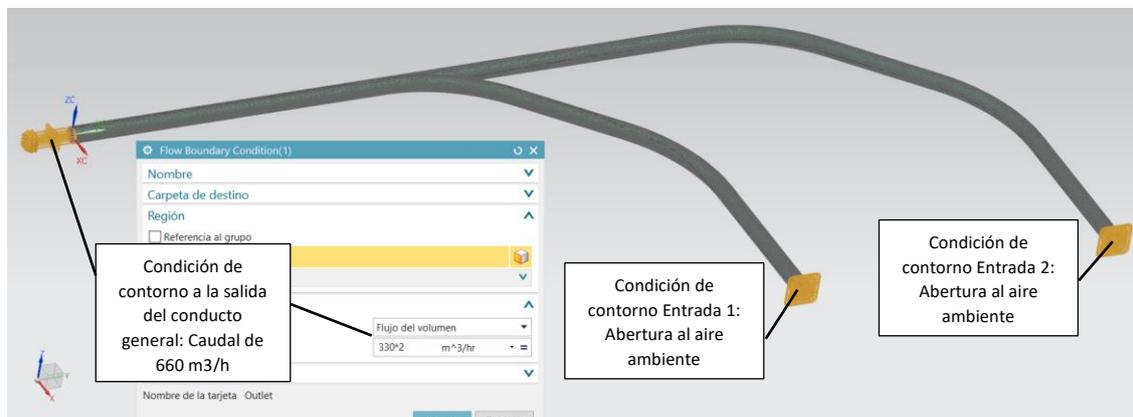


Figura 19 Captura de pantalla de la introducción de datos para la simulación del sistema de conductos con dos aberturas al ambiente y una salida con un flujo de volumen de 660 m³/h

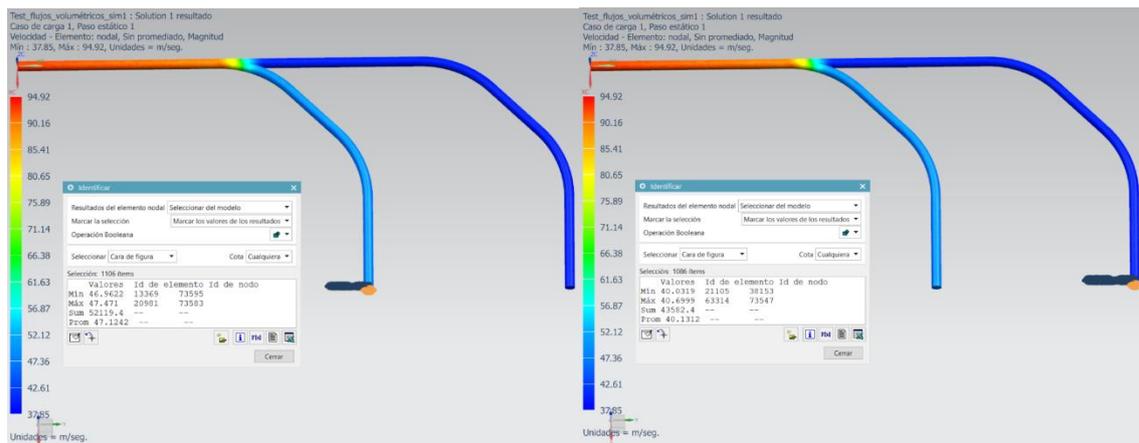


Figura 20 Captura resultado simulación: Velocidad Entrada 1: 47,12 m/s; Velocidad entrada 2: 40.13 m/s



Figura 21 Captura resultado simulación: Presión de vacío entrada 1: -134.57 mmH₂O; Presión de vacío entrada 2: -97,9 mmH₂O

El conducto perteneciente a la entrada 1, aumentará su velocidad a 47,12 m/s (Ver Figura 20), alrededor de 2 m/s más en comparación con la Figura 17 del Modelo 1: 1 conducto secundario con sección invariable y generará una presión de vacío de -134.57 mmH₂O como se muestra en la Figura 21, por lo que aumenta la fuerza de succión 8,57 mmH₂O respecto al modelo 1 (Ver Figura 18).

Este incremento de la fuerza de succión en la primera entrada viene inducido por la incorporación de la segunda entrada en un conducto general sin variación de sección. Que, por el contrario, tiene una velocidad y una presión de aspiración inferior al del Modelo 1 (40.13 m/s y -97,9 mmH₂O frente a 45,5 m/s y -126 mmH₂O respectivamente). Y esta diferencia es la que a lo largo de este subapartado se buscará la forma de reducir sin recurrir a la variación de sección del conducto general.

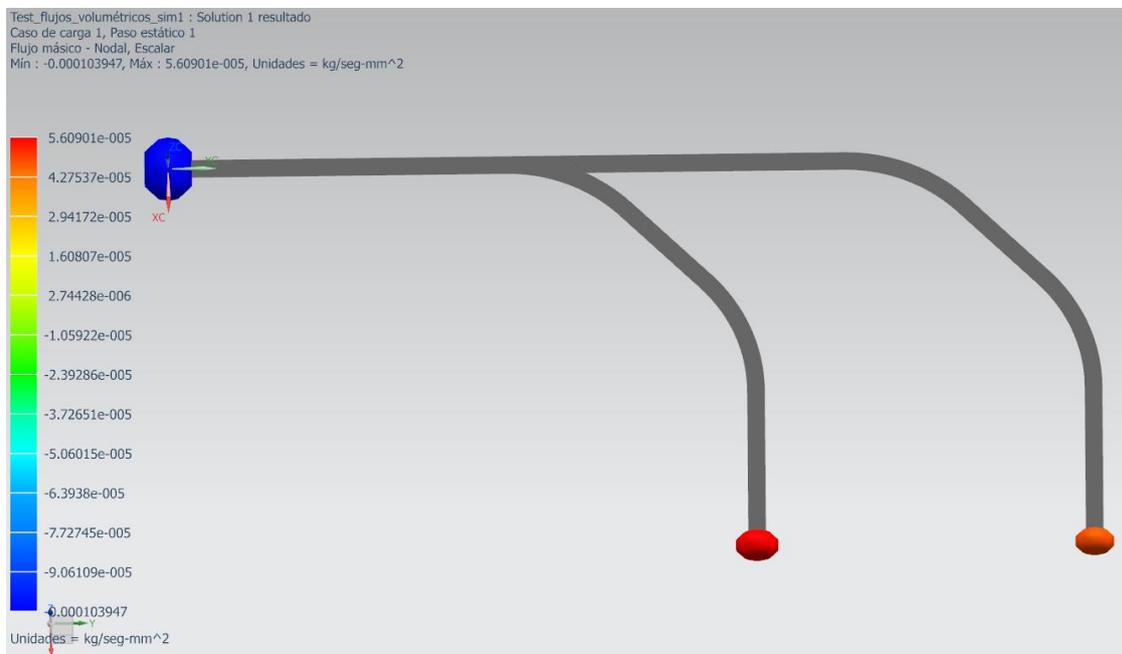


Figura 22 Captura resultado simulación: flujo másico del Modelo 2

En la Figura 22 se observa gráficamente la diferencia de absorción entre los dos conductos.

6.2.5. Modelo 3: 6 conductos secundarios sin variación de sección

En este modelo se consideran 6 entradas o conductos secundarios con la finalidad de poder tener una estimación más precisa de la variación de velocidades y presiones entre conductos secundarios y analizar con más detalle las repercusiones en el conducto general (Ver Figura 23).

Nº Conductos secundarios	6
∅ Conductos secundarios	50 mm
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
∅ Salida conducto general	50 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 3 Datos de entrada del modelo 3 del CFD

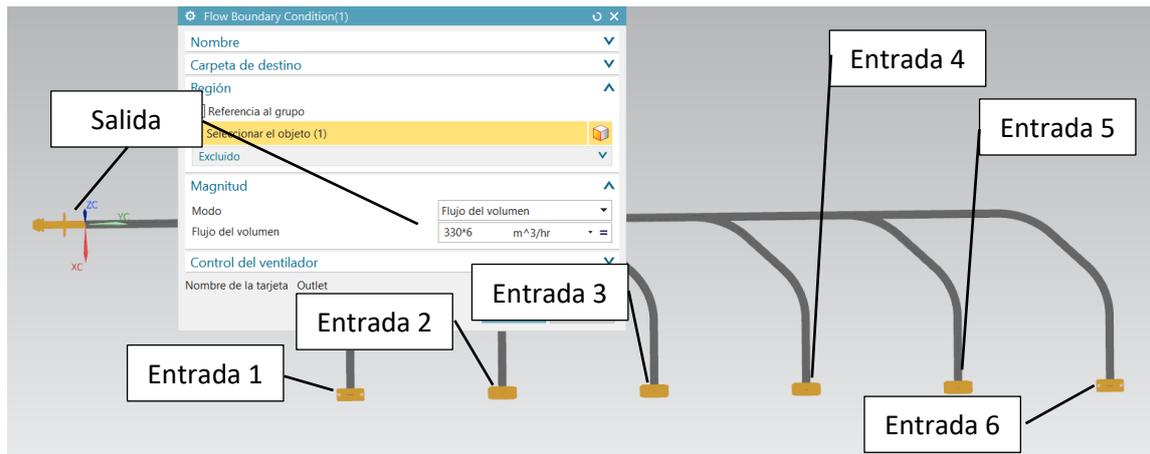


Figura 23 Captura de pantalla de configuración de condiciones de contorno del simulador de flujo del modelo 3

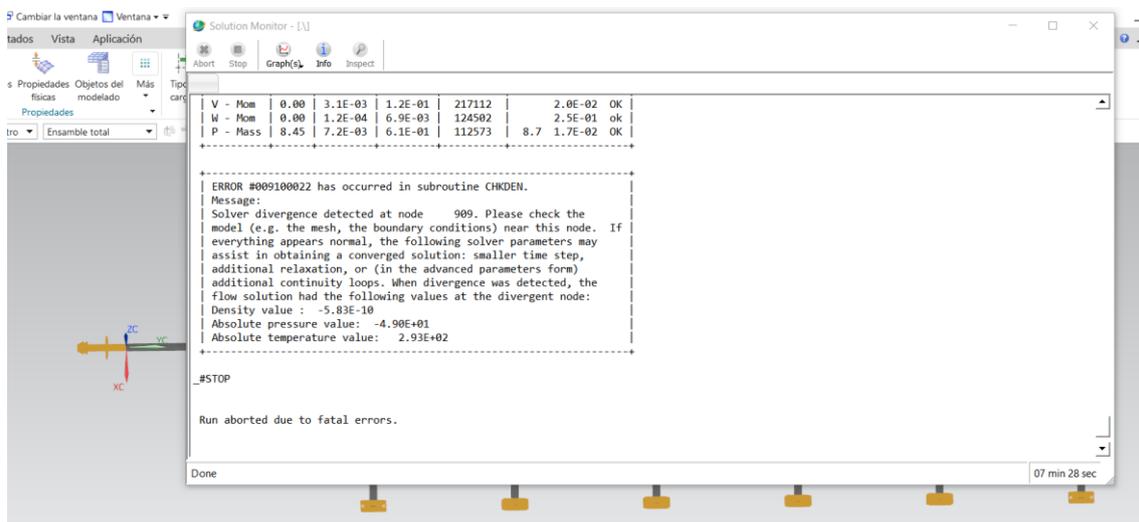


Figura 24 Mensaje de error en el solver: existe una divergencia detectada en uno de los nodos próximos a la salida del conducto general.

Como se aprecia en la Figura 24 existe un error en el cálculo por CFD. Esto es posible a que la velocidad en alguna parte del conducto general haya sobrepasado la velocidad del sonido (331,5 m/s), y esto sería posible, porque:

$$V_{\text{SALIDA CONDUCTO GENERAL}} = \frac{Q_{\text{TOTAL}}}{A} = \frac{6 \cdot 330 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \text{h}}{\left(\frac{50 \text{ mm}}{2 \cdot 1000 \text{ mm}} \text{ m}\right)^2 \cdot \pi \cdot 3600 \text{ s}} = 280,11 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad [4]$$

La diferencia de 50 m/s entre la velocidad del sonido y la teórica de salida del conducto general ha podido llegar a ser sobrepasada en algún punto del conducto general durante el proceso de iteración con el modelo de turbulencia usado. Esta variación en la densidad del flujo debe de dejar de considerar el aire incompresible a efecto de los cálculos. Y de ahí el error.

Nota: Si el proceso de iteración continuase sin tener en cuenta este elemento, la velocidad máxima detectada por ese elemento probablemente descendería y el CFD podría resolver.

Por lo que se prueba a realizar la simulación con un diámetro mayor:

Nº Conductos secundarios	6
Ø Conductos secundarios	60 mm
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
Ø Salida conducto general	60 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 4 Datos de entrada del modelo 3 después del error generado por el CFD

Efectivamente, tras aumentar 1 cm el diámetro de los conductos generales y secundarios (Tabla 4) el software ha dejado de devolver el error al disminuir la velocidad del sistema y ha resuelto sin ningún problema.

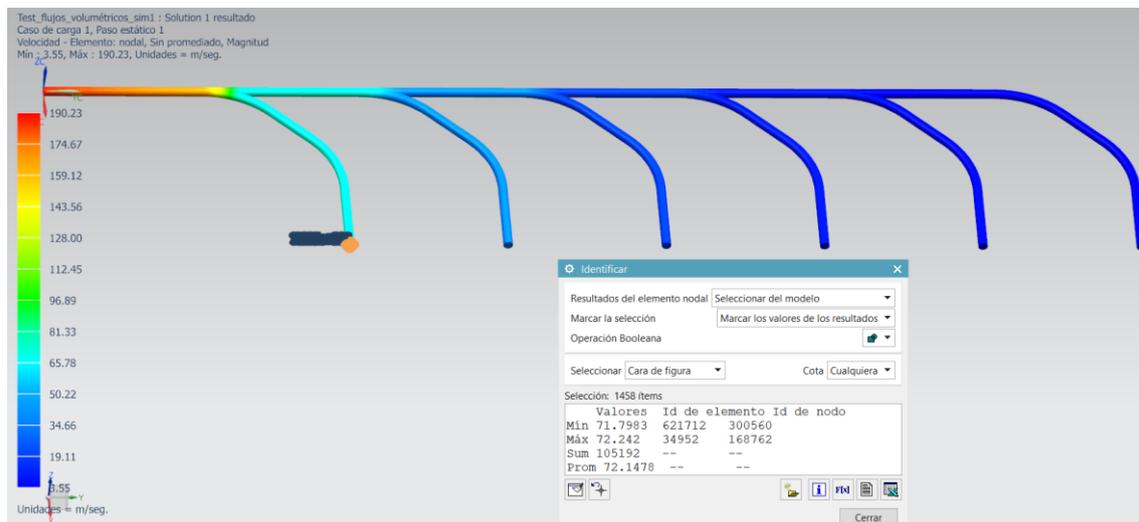


Figura 25 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 3. Con la lectura de la velocidad en la Entrada 1: 72,15 m/s

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	72,15	35,13	17,51	8,9	4,8	3,9

Tabla 5 Velocidades en modelo 3.

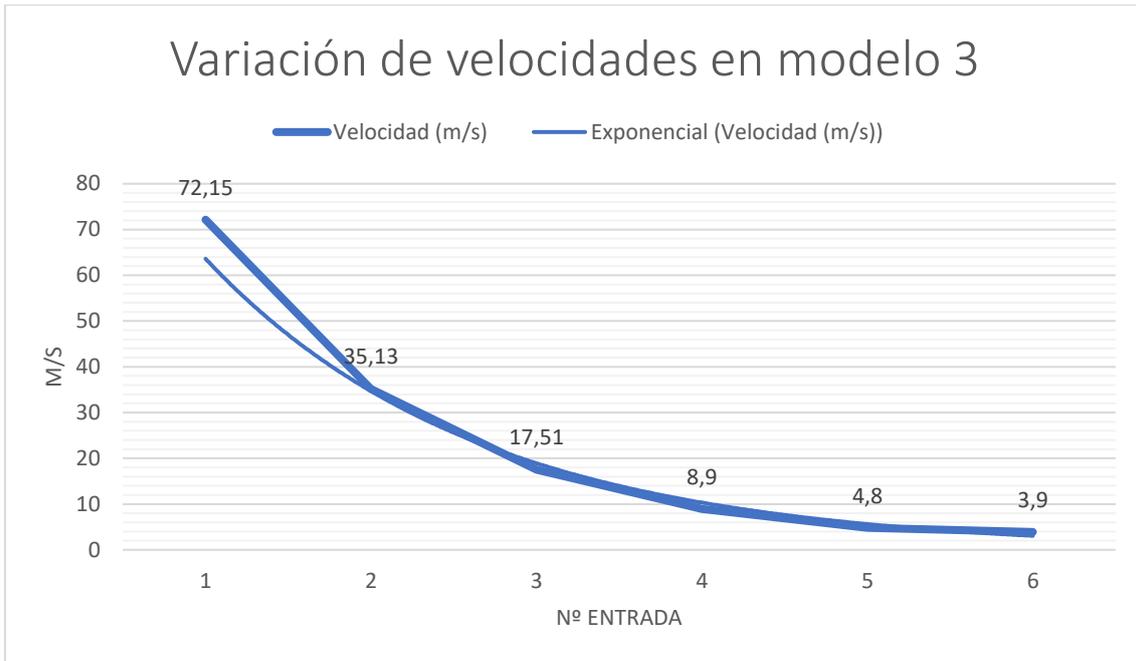


Figura 26 Gráfica de velocidades en modelo 3.

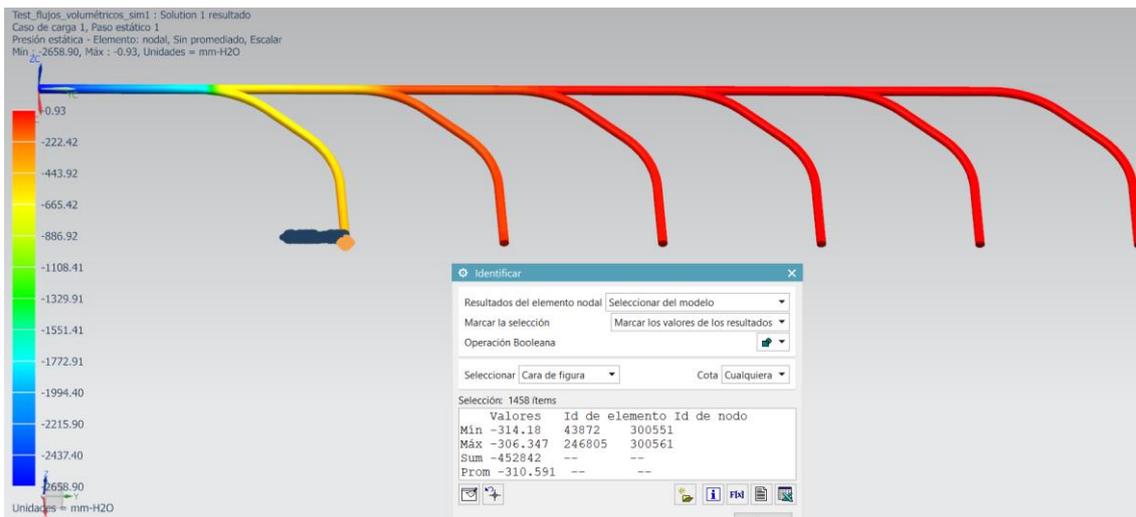


Figura 27 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 3.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-310,6	-75,52	-18,9	-4,89	-1,43	-0,94

Tabla 6 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 3

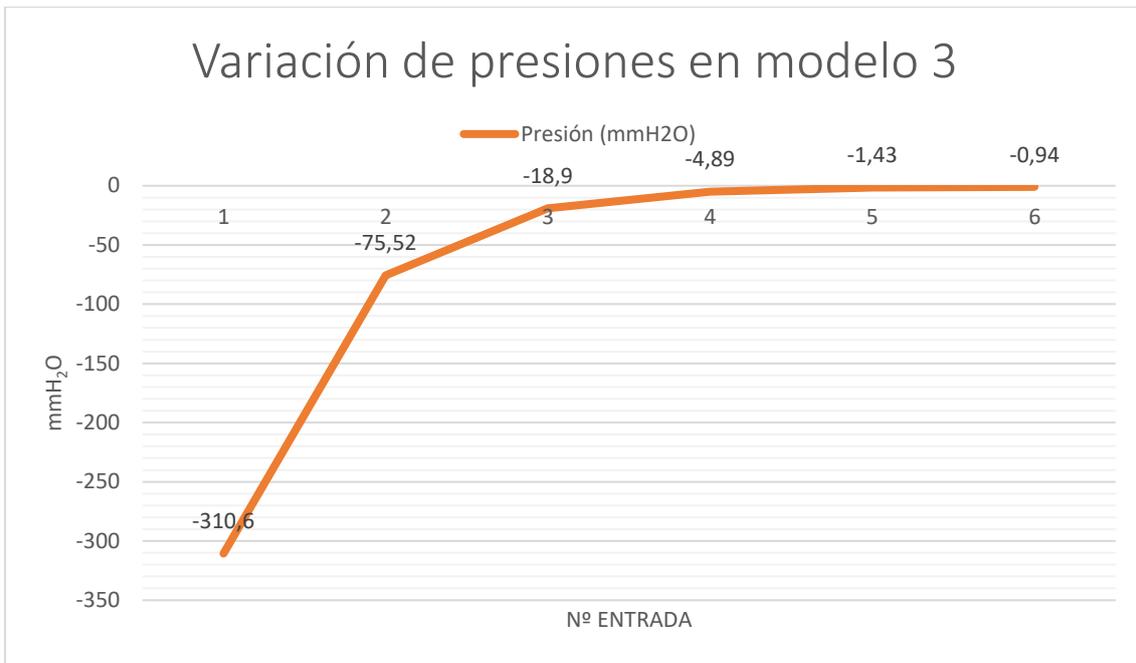


Figura 28 Gráfica de presiones en modelo 3.

Por los mismos motivos del modelo 2, al ampliar a 6 entradas el sistema en este modelo 3 , tanto las velocidades (Figura 25) como las presiones (Figura 27) decrecen de forma exponencial desde la entrada 1 hasta la 6ª (Ver gráficos en Figura 26 y Figura 28).

6.2.6. Modelo 4: 6 boquillas con variación de sección

En este modelado se suman las secciones de los conductos secundarios al conducto general a medida que se van incorporando a este como el segundo modelo impreso de la Figura 12.

Nº Conductos secundarios	6
Ø Conductos secundarios	60 mm
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
Ø Salida conducto general	360 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 7 Datos de entrada del modelo 4 del CFD

El resultado por tanto debe ser análogo por los mismos motivos que se razonaron.

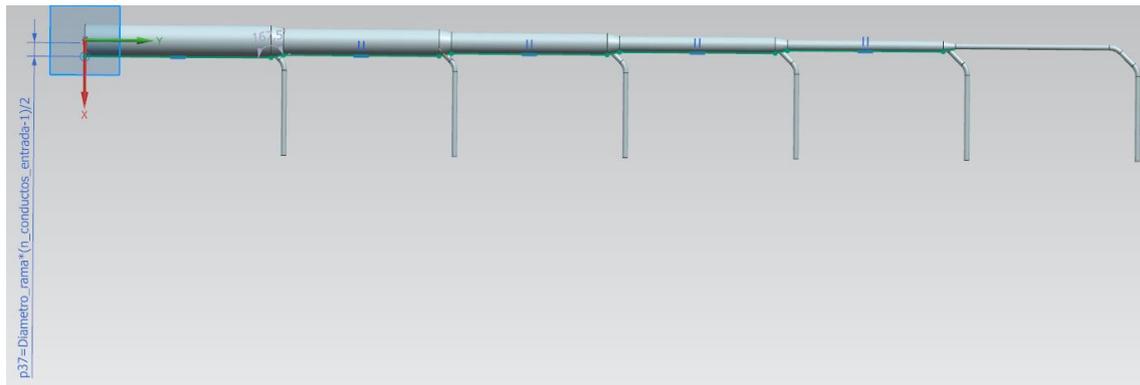


Figura 29 Modelado de la variación de sección en las uniones del conducto general.

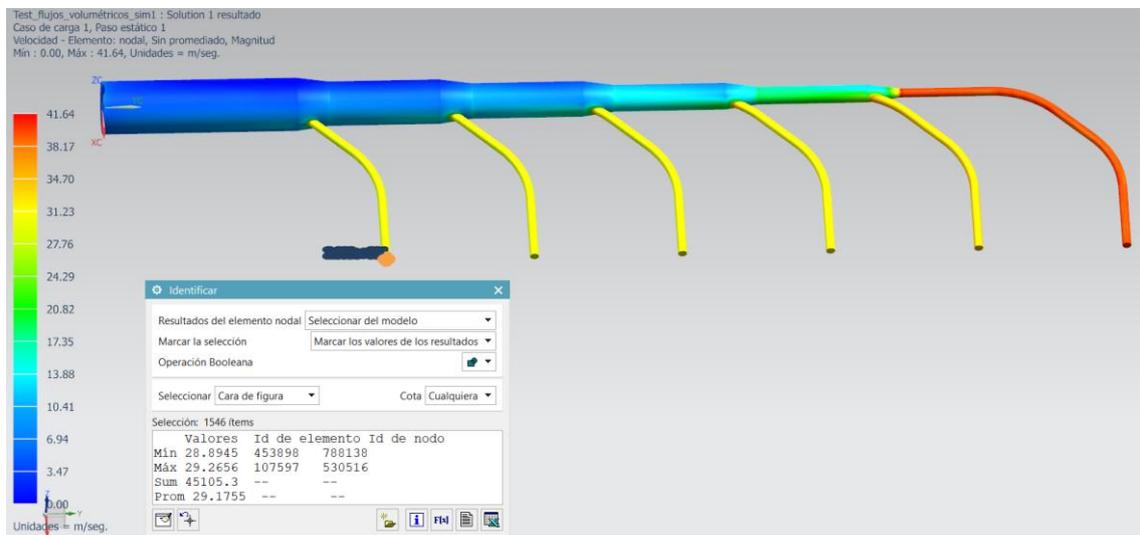


Figura 30 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 4 la lectura de la velocidad en la entrada 1.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	29,18	29,56	30,09	31,46	34,27	40,18

Tabla 8 Valor de velocidades en las distintas entradas del modelo 6.

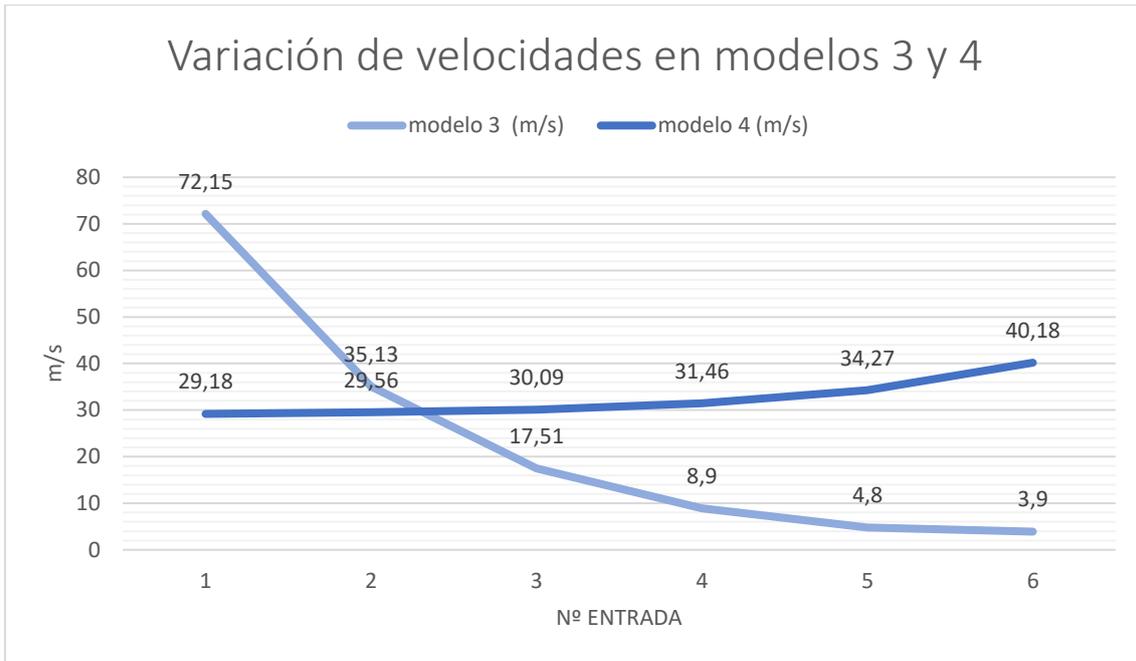


Figura 31 Grafica con comparación de velocidades de los modelos 3 y 4.

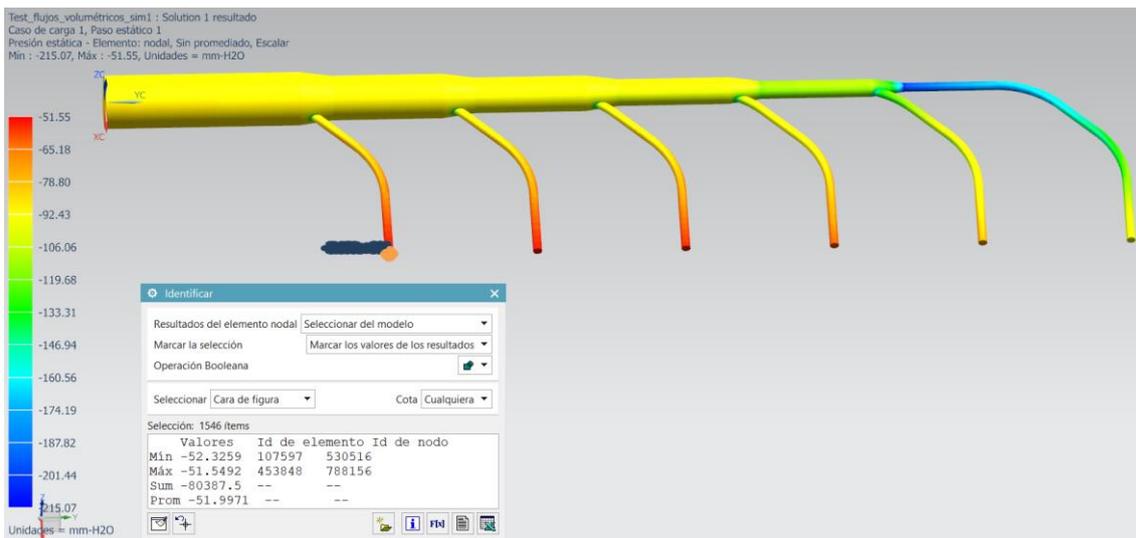


Figura 32 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 4.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-52	-53,35	-55,28	-60,5	-71,59	-98,18

Tabla 9 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 4

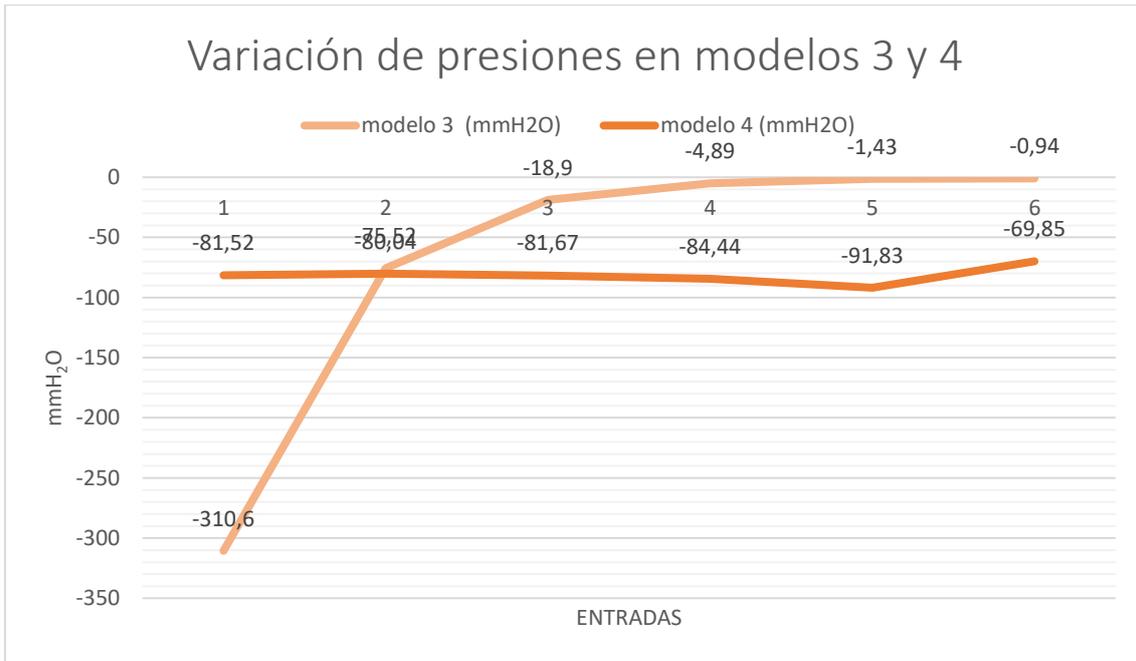


Figura 33 Grafica con comparación de presiones estáticas de los modelos 3 y 4.

Efectivamente, se consigue un equilibrio de velocidades (Figura 30 y Figura 31) y presiones (Figura 32 y Figura 33) en todos los conductos secundarios debido a la compensación del aumento de la sección por cada caudal incorporado desde los conductos secundarios.

A continuación, se seguirá iterando con otras Variaciones que proporcionen un resultado que logre la estabilización del sistema en velocidad y presión sin variación de sección en el conducto general.

6.2.7. Modelo 5: Incorporación de colectores individuales en cada conducto secundario.

En este modelo se decide incorporar en cada conducto secundario un separador ciclónico particular (Figura 34 (modelado sistema), Figura 35 (Simulación), Figura 36 y Figura 37 (Modelado separador ciclónico básico para simulación), que generará una resistencia homogénea en todos los conductos y además se aprovechará como un primer filtro para objetos más pesados y voluminosos que normalmente suelen tener más valor y de esta forma se pueda recuperar más fácilmente tras haberlo succionado por error.

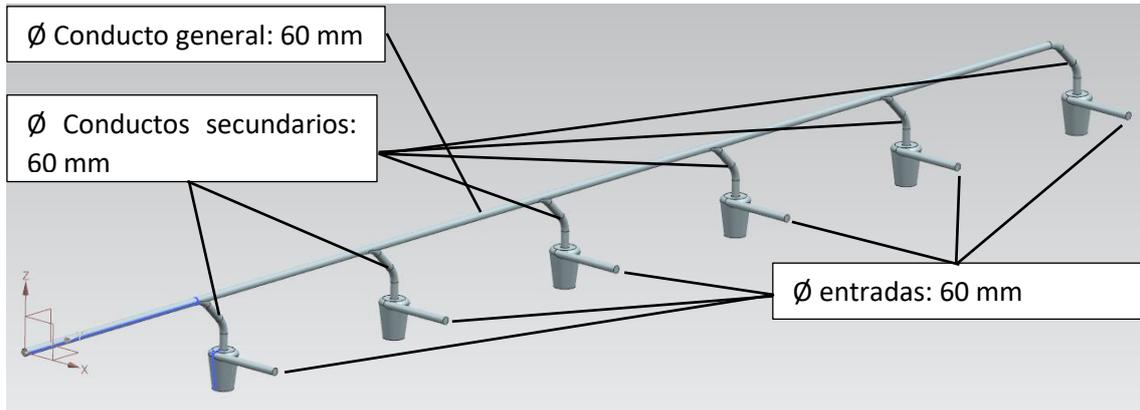


Figura 34 Captura del modelado con la incorporación de separador ciclónico en cada tubería

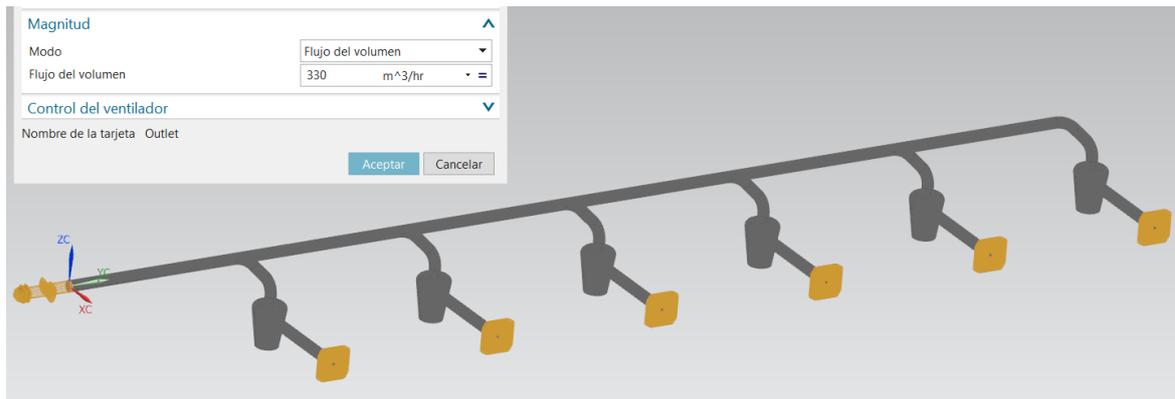


Figura 35 Captura de pantalla de configuración de condiciones de contorno del simulador de flujo del modelo 5.

Nº Conductos secundarios	6
Ø Conductos secundarios	60 mm
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
Ø Salida conducto general	60 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 10 Datos de entrada del modelo 5 del CFD

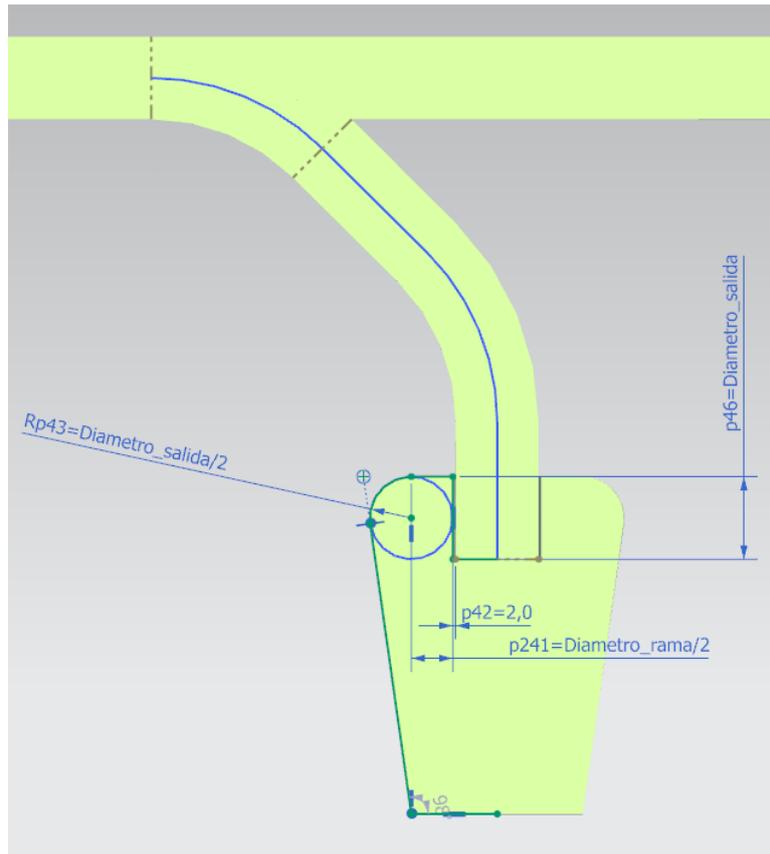


Figura 36 Diseño del separador ciclónico básico para simulación en cada entrada, vista seccionada.

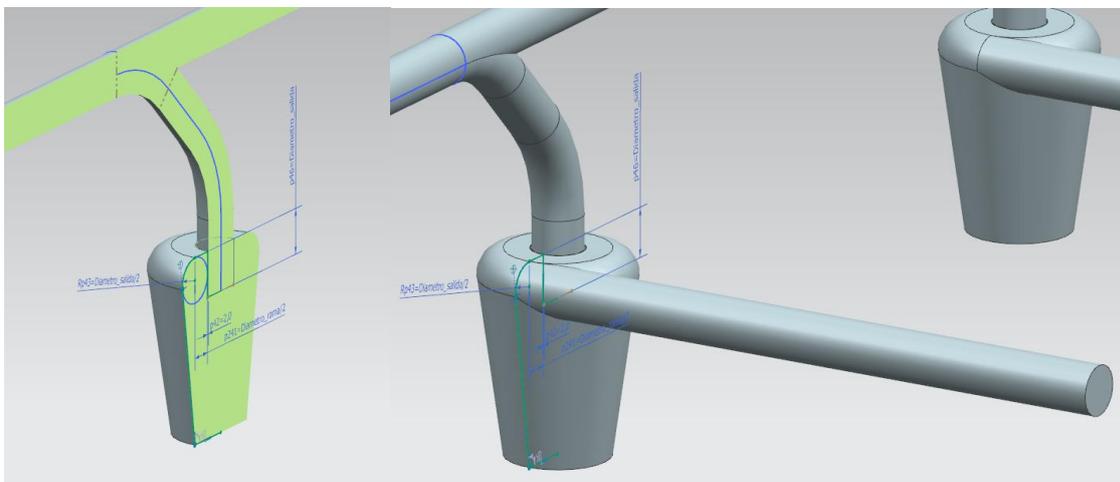


Figura 37 Vistas del diseño del separador ciclónico para cada entrada: izquierda: vista seccionada; derecha: vista completa.

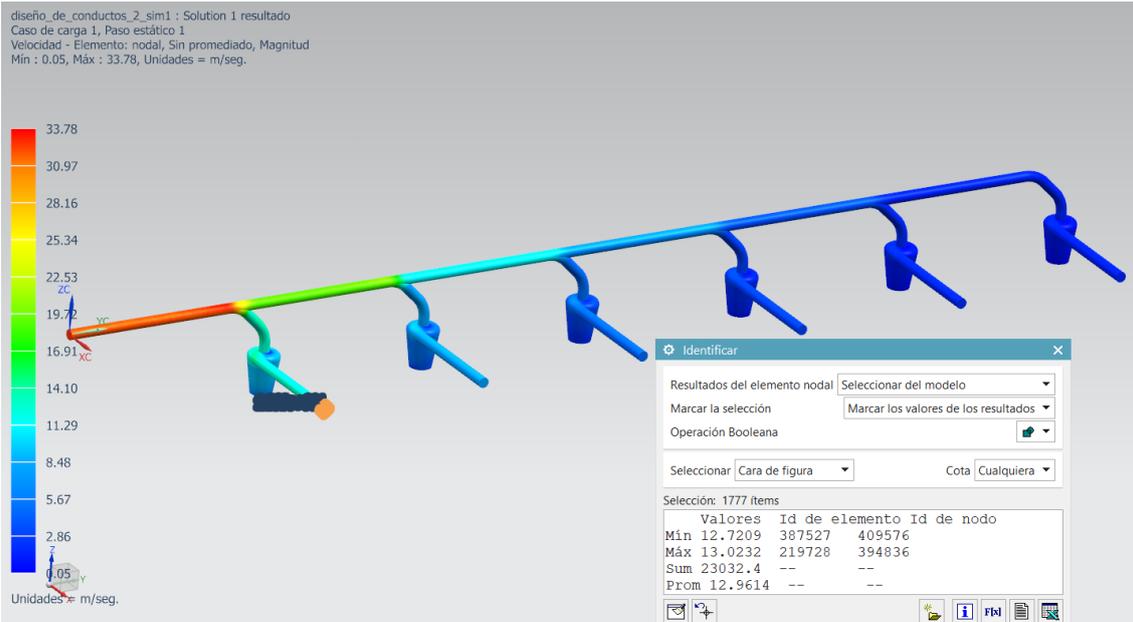


Figura 38 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 5 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 12,96 m/s.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	12,96	7,83	4,75	2,94	1,93	1,639

Tabla 11 Valor de velocidades en las distintas entradas del modelo 5.

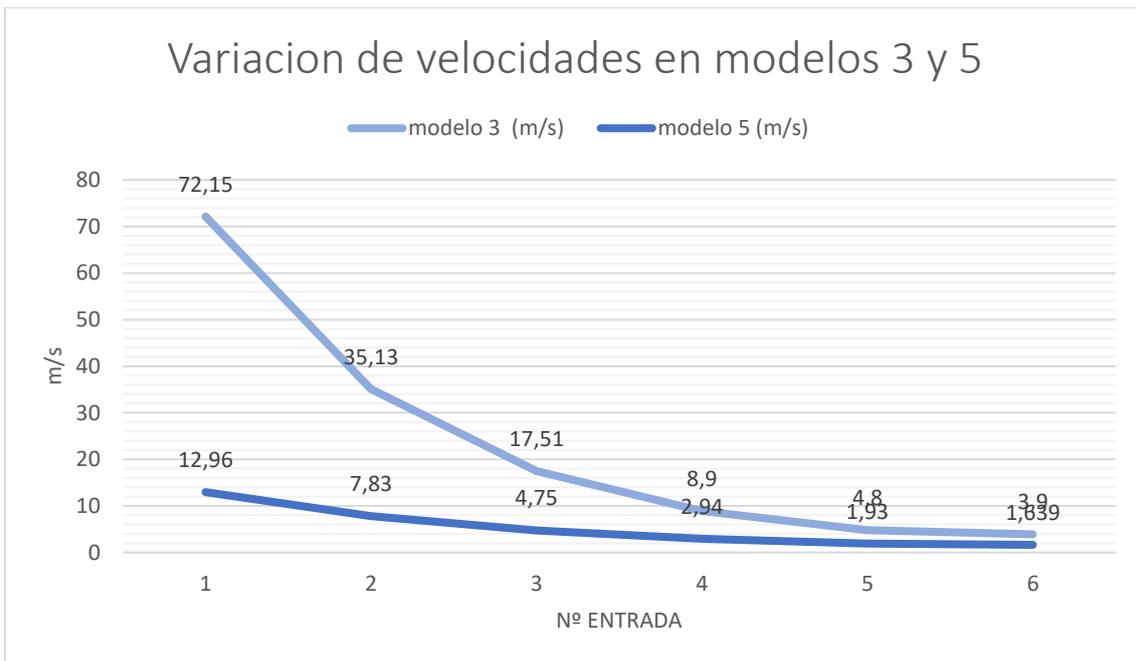


Figura 39 Gráfica con la comparación de velocidades entre los datos obtenidos del modelo 3 y 5.

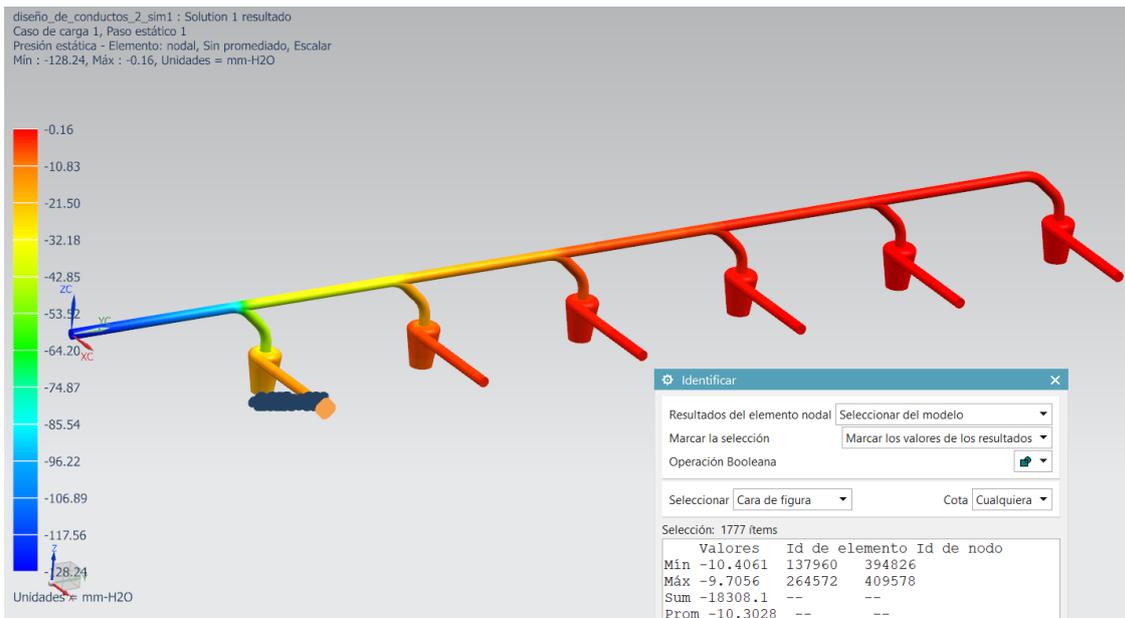


Figura 40 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 5.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-10,3	-3,76	-1,39	-0,53	-0,23	-0,16

Tabla 12 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 5.

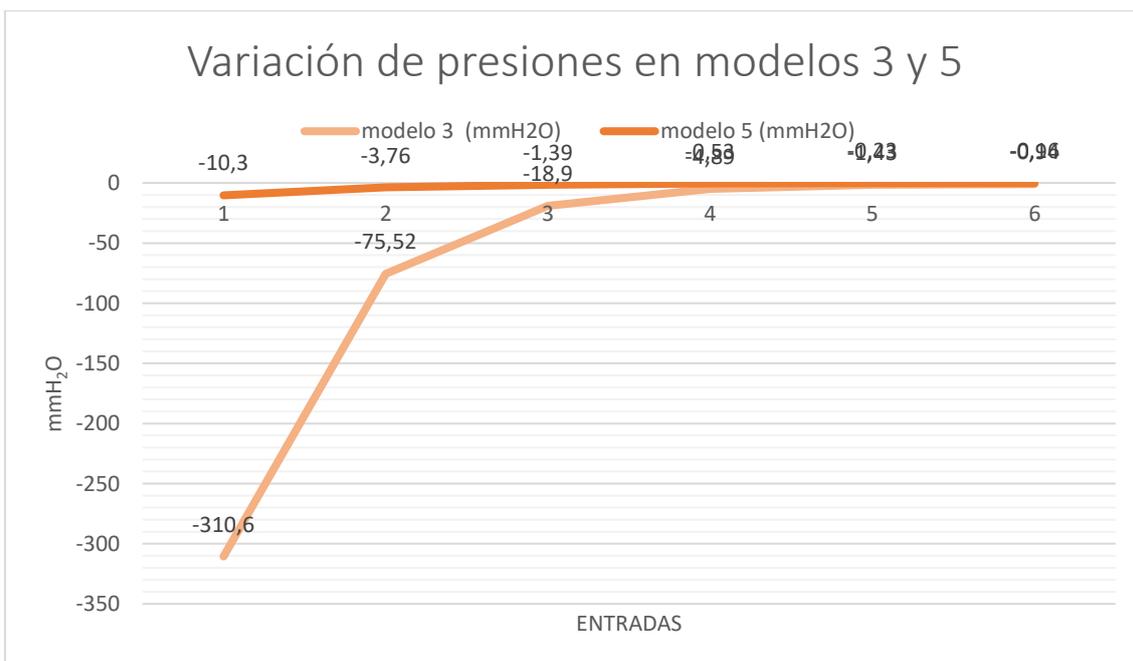


Figura 41 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 3 y 5.

La misma resistencia en todos los conductos provocada por los separadores ciclónicos generan una reducción de velocidad en los primeros conductos compensando las velocidades y provocando que se incremente ligeramente la velocidad en las últimas entradas como se aprecia en la gráfica de los datos recogidos del resultado de velocidades del CFD (Ver Figura 38 y Figura 39), mejorando así los resultados en pro del objetivo propuesto de igualar las velocidades y presiones (Ver Figura 40 y Figura 41) de todas las entradas.

6.2.8. Modelo 6: Ampliación de sección conducto general

Como se ha demostrado, reducir la velocidad a base de resistencias introducidas en los conductos secundarios ayuda a que tanto las presiones como los caudales se repartan entre dichos conductos secundarios.

La ampliación de la sección del conducto secundario reducirá la velocidad en esta sección (Ver Figura 42).

Para que el resultado sea notable, se duplicará el diámetro interno del conducto general como muestra la Tabla 13.

Nº Conductos secundarios	6
Ø Conductos secundarios	60 mm
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
Ø Salida conducto general	120 mm
Tamaño mallado	7,5 mm

Tabla 13 Datos de entrada del modelo 6 del CFD

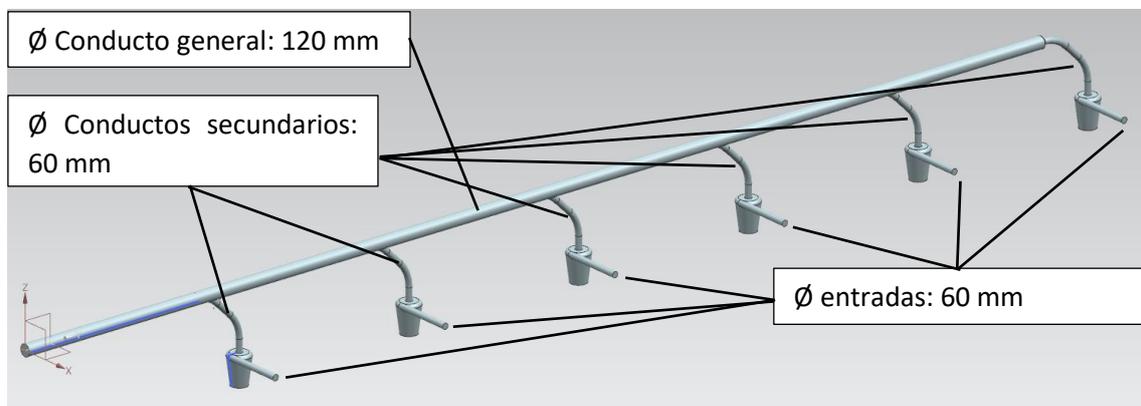


Figura 42 Captura del modelado con la incorporación de separadores ciclónicos en cada tubería



Figura 43 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 6 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 6,14 m/s

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	6,14	5,62	5,28	5,1	5,09	5,25

Tabla 14 Valor de velocidades en las distintas entradas del modelo 6.

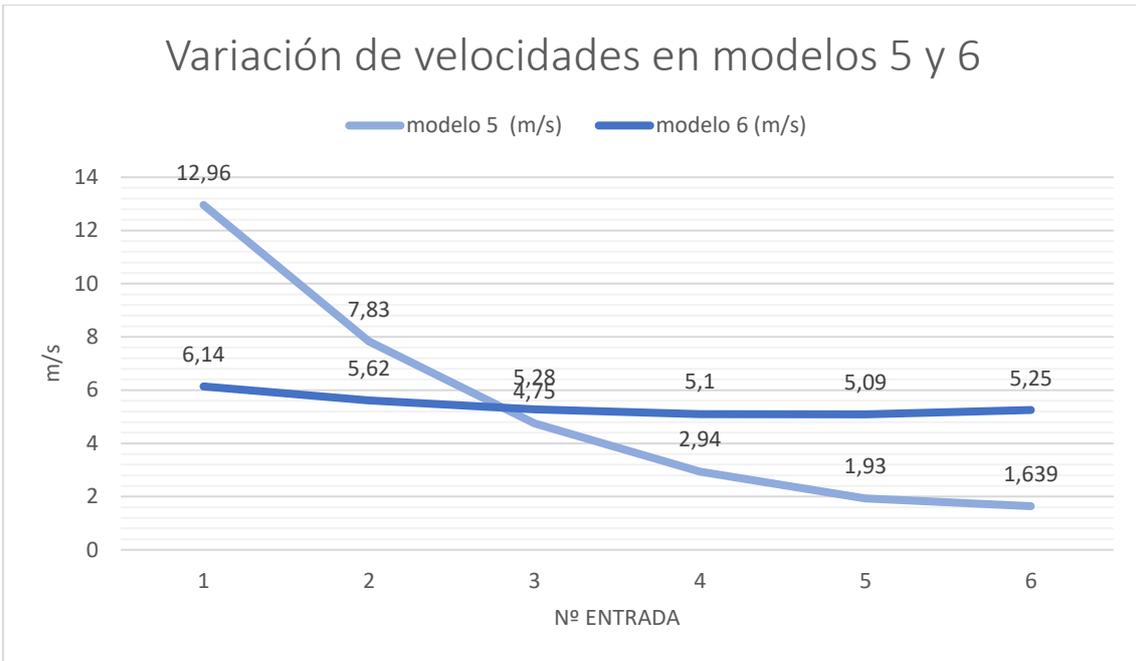


Figura 44 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo 5 y 6



Figura 45 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 6 con la lectura de la presión en la entrada 1: -2,31 mmH₂O

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-2,31	-1,94	-1,71	-1,6	-1,59	-1,69

Tabla 15 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 6.

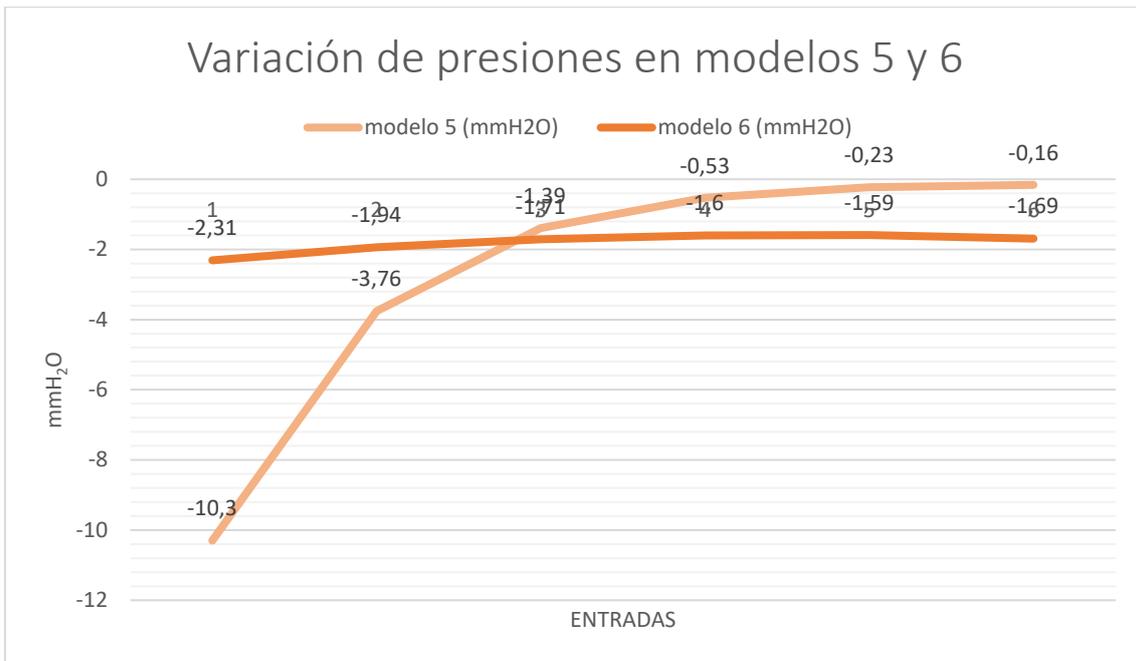


Figura 46 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 5 y 6

Como se aprecia en los datos (Ver graficas de velocidades y presiones en Figura 44 y Figura 46 respectivamente) reflejados por las simulaciones (ver Figura 43 y Figura 45) aumentar el tamaño del conducto general se consigue igualar tanto las presiones como las velocidades sin necesidad de variar la sección del conducto general como hacen la mayoría de las fábricas de este tipo de aspiradoras. Esto sucede por el principio de Pascal. Para entender este principio es importante tener claro que:

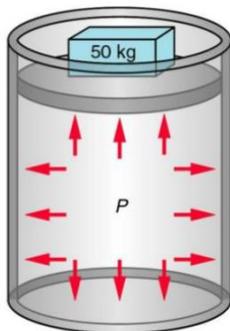


Figura 47 Ejemplo de pistón con un peso, genera la misma presión en las paredes del cilindro.

La presión ejercida sobre el pistón de la Figura 47 se extiende uniformemente por todo el fluido, haciendo que empuje hacia afuera con la misma fuerza por unidad de área en las paredes y el fondo del cilindro.

Principio de Pascal: cualquier cambio en la presión de un fluido se transmite de manera uniforme en todas las direcciones a través del fluido.

Es decir, cuanto más estático esté el fluido en el conducto general, más se cumplirá este principio. Y para disminuir su velocidad, basta con aumentar el área de paso de dicho conducto.

Como además se ha incorporado una resistencia del paso del aire en forma de separador ciclónico en cada entrada, esto favorece adicionalmente el estado hidrostático del aire.

6.2.9. Modelo 7: Reducción de la sección del conducto secundario.

En este modelo se hará el diámetro del conducto secundario 1 cm más pequeño respecto al modelo 6 de igual forma que estaba en los modelos 1 y 2 como se aprecia en la Figura 48 con el fin de generar más resistencia a la velocidad de paso del conducto secundario como se ha hecho en el modelo 5 incorporando los separadores ciclónicos, de esta forma, se espera que el fluido tenga un comportamiento aún más hidrostático aumentando además la fuerza de aspiración.

Nº Conductos secundarios	6
Ø Conductos secundarios	50 mm
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
Ø Salida conducto general	120 mm
Tamaño mallado	7,5 mm

Tabla 16 Datos de entrada del modelo 7 del CFD

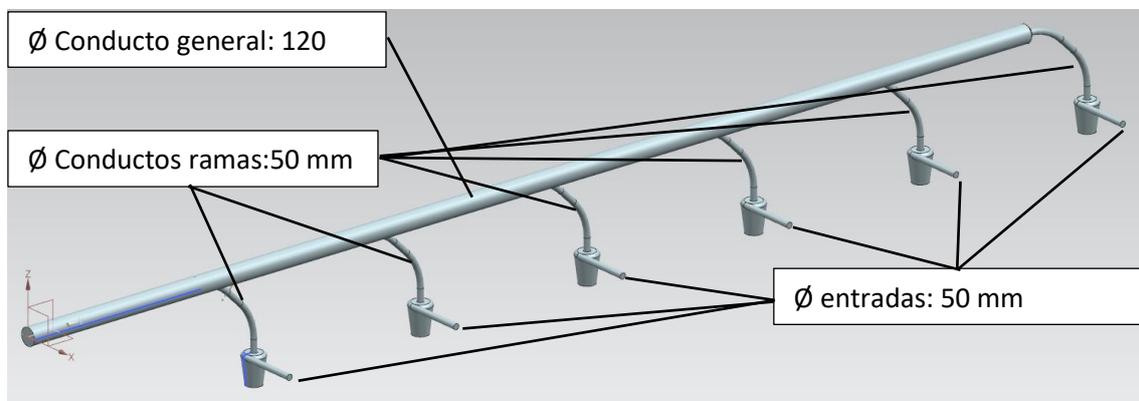


Figura 48 Captura del modelado con la incorporación de separadores ciclónicos en cada tubería

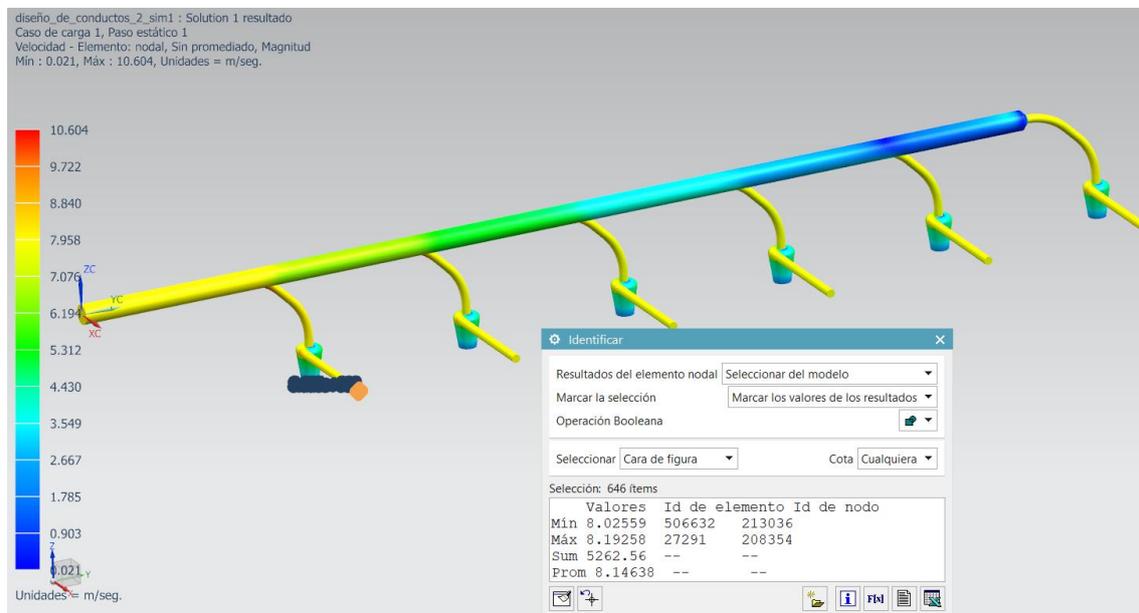


Figura 49 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 7 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 8,15 m/s

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	8,15	7,84	7,65	7,6	7,68	7,92

Tabla 17 Velocidades en las boquillas de entrada del modelo 7.

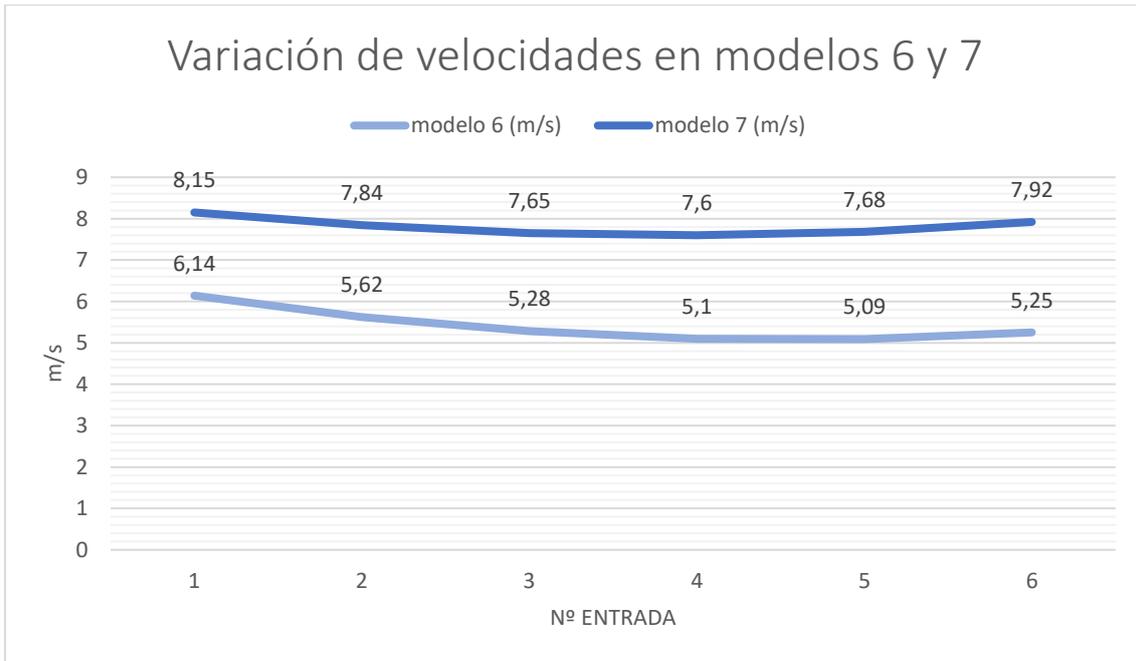


Figura 50 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo 6 y 7.

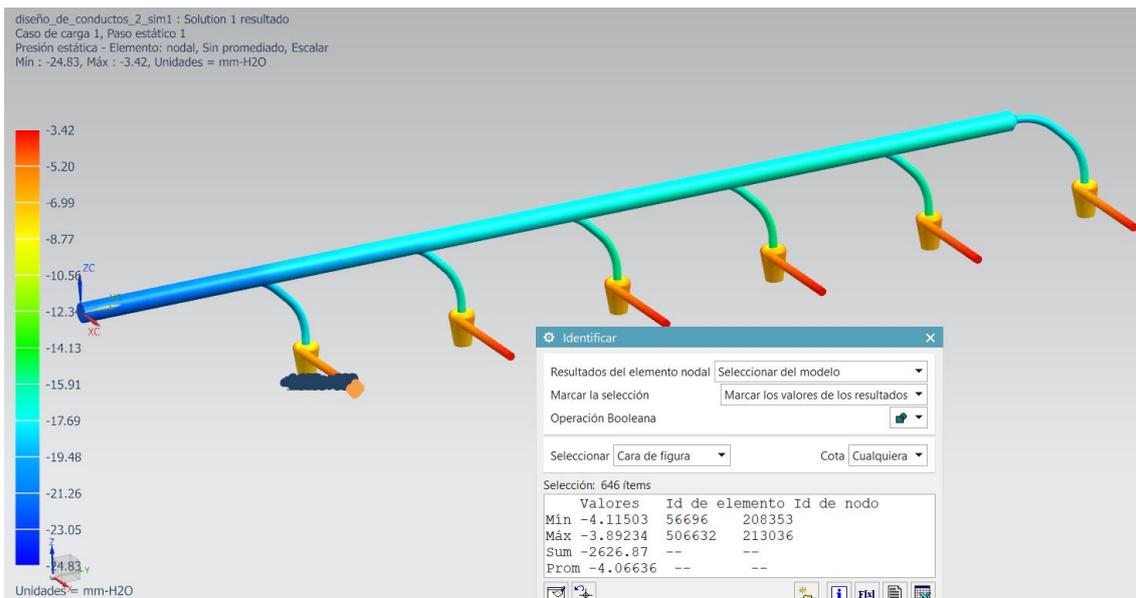


Figura 51 Captura resultado simulación, representación gráfica de presión estática en modelo 7 con la lectura de la presión en la entrada 1: -4,07 mmH₂O.

Se puede observar, que, a pesar de que la velocidad en el conducto general va aumentando a medida que van convergiendo los conductos secundarios en él, la presión es prácticamente homogénea en todo el conducto general (Ver gradiente de velocidades en el conducto general en la Figura 49).

También se observa en las gráficas de velocidades y presiones en la Figura 50 y Figura 52 respectivamente, además de distribirse mejor las velocidades y presiones ambas tienen un aumento considerable con sólo 1 cm menos de diámetro en el conducto secundario.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH₂O)	-4,07	-3,76	-3,6	-3,55	-3,62	-3,85

Tabla 18 Valor de presiones estáticas en las distintas entradas del modelo 7.

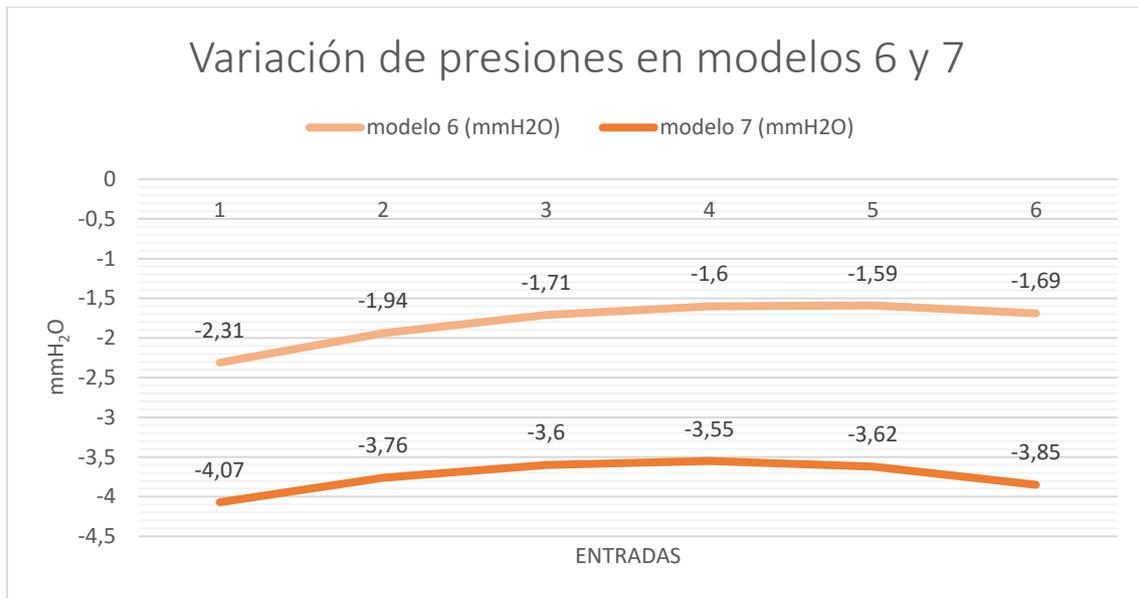


Figura 52 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 6 y 7.

Este último modelo 7 será la referencia y la base en la que diseñar las diferentes configuraciones de aspiradores centralizados que demande el cliente.

6.3. Conclusión

Con todos los diseños y simulaciones CFD realizados, se pueden concluir varios aspectos:

- El conducto general debe tener una sección superior al de los conductos secundarios. Esto provoca que el fluido tenga un comportamiento más hidrostático cuánto más grande sea la sección del conducto general y, por lo tanto, las presiones estáticas en cada unión del conducto secundario con el conducto general sean más equivalentes entre ellas. (Ver modelo 7: Figura 50 y Figura 52)
- Las resistencias en los conductos generales inducen a que la presión dinámica disminuya en la unión y, por tanto, la velocidad en la unión con el flujo del conducto general sea inferior. Por lo tanto ayuda a que la distribución de presiones y caudales entre conductos secundarios sea más homogénea. (Ver modelo 5: Figura 39 y Figura 41)
- En sistemas de aspiración centralizada para aspiración de humos puede ser recomendable el uso del conducto general con sección variable (Ver Figura 29). No siendo así para el uso destinado a aspiradores de limpieza de partículas en superficies. Como se aprecia en el gráfico de presiones del modelo 4 en la Figura 33, hay un ligero descenso de presión de vacío en la última boquilla. La razón, es porque esta última boquilla actúa como parte del conducto general y lo que suceda en ella, afecta al resto de conductos secundarios. Por lo que en fluctuaciones de presión debidas a la recogida de partículas con esta boquilla generará una variación de presión al resto de conductos secundarios.

6.4. Diseño final y consulta fabricación

Los modelos vistos anteriormente son diseñados dando forma al volumen interno de conductos y separadores ciclónicos con el fin de realizar las simulaciones de flujo.

Una vez se ha obtenido la distribución adecuada para que el flujo de aire se comporte como se desea, se procede al diseño con tuberías, codos y colectores reales para seguidamente confeccionar una nueva distribución con los componentes diseñados y desarrollados.

6.4.1. Diseño de componentes

6.4.1.1. Conductos lineales

Para las tuberías lineales de mayor longitud para distribución del aire, se usará un material metálico. En este documento se utilizará acero al carbono galvanizado. Puesto que el aluminio es mucho más caro, menos resistente y más difícil de reparar. De cualquier forma, el aluminio puede ser una opción muy válida que facilitaría el transporte e instalación además de ser un material estéticamente menos basto que el acero. (Ver Figura 53)

El PVC, como se ha mencionado anteriormente, en conductos de gran recorrido actuaría como un condensador de corriente estática pudiendo ser origen de graves incendios y de descargas eléctricas a personas que transiten en su proximidad. Por lo que queda descartado su uso para este tipo de conductos.

- Acero al carbono, Tubos de acero sin soldadura EN 10255 Series M (DIN 2440).

Densidad: 7850 kg/m³

Propiedades mecánicas

Designación del tipo de acero		Composición química %				Propiedades mecánicas		
Simbólica	Númerica	C max.	Mn max.	P max.	S max.	Resistencia dúctil superior Reh min (Mpa)	Resistencia a la tracción Rh (Mpa)	Elongación A mín. %
S 195T	1,0026	0,2	1,4	0,035	0,03	195	320 a 520	20

Tabla 19 Propiedades mecánicas del acero designado para los conductos

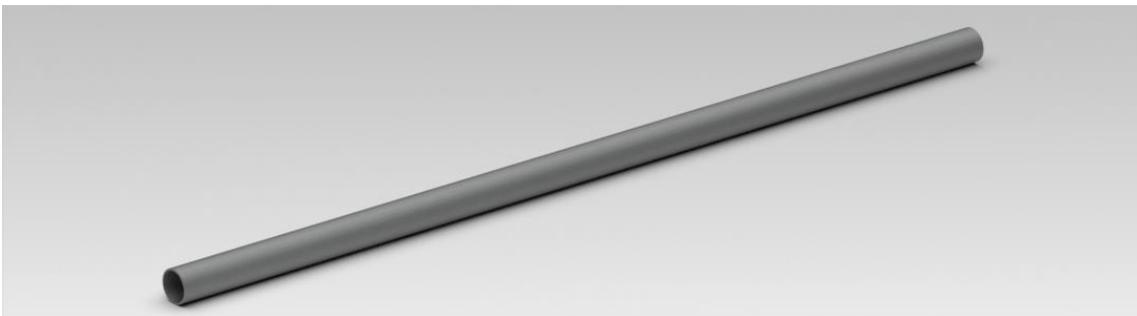


Figura 53 Tubería de acero galvanizado de 32mm y 2 mm de pared

DIN	Diámetro interior (mm)	Espesor	Volumen (m ³)	Masa/Longitud (Kg/m)
32	28 ±0,5	2	1,88E-04	1,48
40	36 ±0,5	2	2,39E-04	1,87
50	46 ±0,5	2	3,02E-04	2,37
63	59 ±0,5	2	3,83E-04	3,01
75	70 ±0,5	2,5	5,69E-04	4,47
90	85 ±0,5	2,5	6,87E-04	5,39
110	105 ±0,5	2,5	8,44E-04	6,63
125	120 ±0,5	2,5	9,62E-04	7,55
140	134 ±0,5	3	1,29E-03	10,14
160	154 ±0,5	3	1,48E-03	11,62

Tabla 20 Lista de conductos lineales según su diámetro nominal.

6.4.1.2. Codos y uniones de tubería.

Al ser piezas de corta longitud y con una geometría algo más compleja para fabricar, se hará uso de piezas de inyección de PVC que además permitirán cierta flexibilidad al conjunto estructural y amortiguarán posibles vibraciones. (Ver Figura 54)

Las uniones a las tuberías por parte de los conductos secundarios serán de 30 o 45° para facilitar la incorporación del flujo de la ramificación al conducto general, evitando pérdidas y turbulencias.

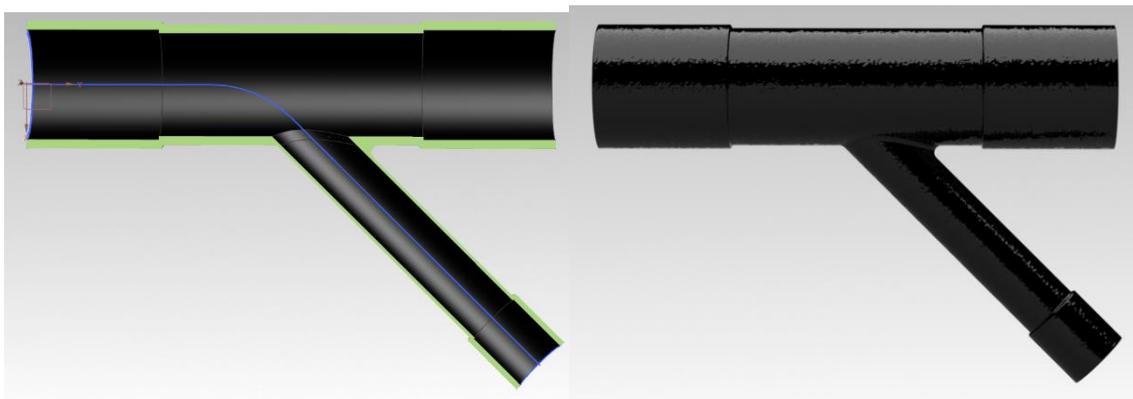


Figura 54 Pieza de unión de conducto secundario al conducto general (primera imagen seccionada, segunda renderizado con textura de PVC)

Los codos serán de 45° o 90° con un radio de curvatura 10 veces el diámetro nominal de la tubería para los conductos secundarios que sufren mayor resistencia y del orden de 2 para codos en el conducto general. Ver Figura 55.



Figura 55 codo de 45° Instalado en conducto secundario DN40 (izquierda), codo de 90° Instalado en conducto general DN110(derecha)

Estas piezas son previsiblemente más afectadas por abrasión de los desechos y polvo que circula por su interior, por lo tanto, habrá que tener en cuenta esto para estudiar si es más interesante el uso de otro material más resistente para que el coste por mantenimiento sea el menor posible.

Las uniones de las tuberías se harán mediante roscado, se creará una rosca en los extremos de los conductos lineales de acero en la pared exterior y otra rosca en los extremos de las paredes interiores de las piezas de PVC.

6.4.1.3. Puntos de limpieza en los extremos del conducto general.

Para que el personal de mantenimiento pueda limpiar o reparar obstrucciones del interior del conducto general, es necesario instalar una terminación con tapa en el extremo libre del mismo.

Este punto de limpieza normalmente será el extremo libre de una de las bifurcaciones de PVC. Puesto que es el último elemento instalado en el conducto y tampoco resulta interesante extender más el conducto general una vez pasada la última unión. (Ver Figura 56)

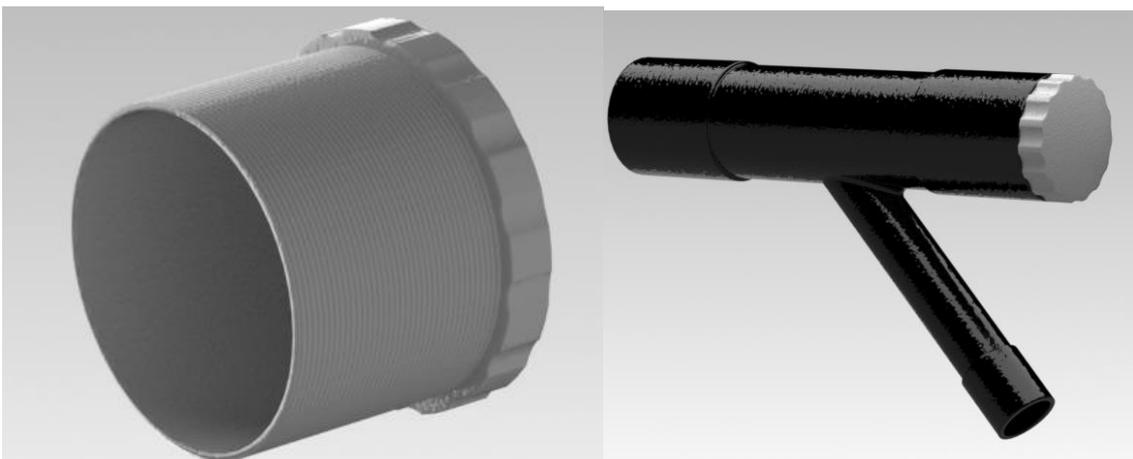


Figura 56 Tapa para punto de limpieza en el extremo del conducto general.

6.4.1.4. Soportes de tubería

generalmente la red de conductos no soporta ningún peso de desechos apreciable, por lo que los soportes deben diseñarse para el peso de la tubería más un factor de seguridad. Dos métodos comunes para el soporte vertical utilizando tirantes con abrazaderas de viga:

- 1) Abrazaderas de tubería con soporte tipo anillo o de silla de montar como la que se muestra en la Figura 57.



Figura 57 Ejemplo del soporte de tubería tipo anillo.

- 2) Soportes de tipo unistrut con tuercas de abrazadera y abrazaderas de tubería

El tubo / tubería se puede apoyar horizontalmente con soportes en ángulo recto fabricados de acero estructural o materiales tipo Unistrut.

Los soportes deben instalarse en los extremos de salida o entrada de los codos de 45 o 90 grados y de cada unión. Las secciones rectas deben estar soportadas por perchas o soportes que no excedan los 6 metros. Los conductos también se pueden admitir en bandejas de cable.

6.4.1.5. Separador ciclónico

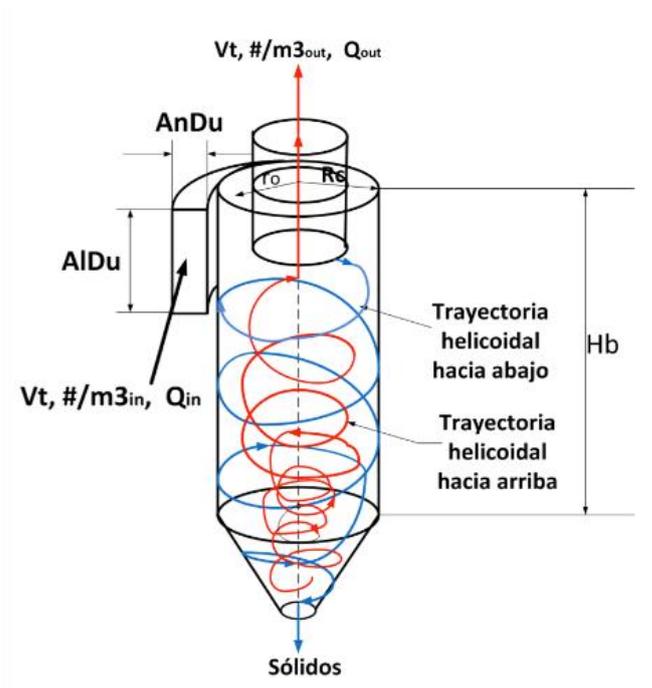


Figura 58 Funcionamiento de un separador ciclónico

Un separador ciclónico utiliza el principio de inercia para eliminar partículas de gases. Ver Figura 58.

Los separadores ciclónicos son un dispositivo de control de contaminación del aire que actúa generalmente como prefiltros, puesto que generalmente estos eliminan piezas más voluminosas de partículas. Esto evita que los métodos de filtración más finos tengan que lidiar con partículas grandes y más abrasivas más adelante.

En el sistema del presente documento, consiste en un elemento que se incorpora para además generar una resistencia al paso del aire facilitando que la velocidad en el conducto general sea más estática. También sirve como pre-filtro para elementos voluminosos y pesados que puedan obstruir el conducto general. Además, actuará como filtro de recuperación de objetos por si el operario o usuario a aspirado algo por error, no tenga que detener la producción del resto y pueda recuperarlo sin rebuscar en el colector de polvo general. (Ver Figura 59)



Figura 59 Diseño del separador ciclónico M40 (cerrado en la imagen izquierda, abierto en la imagen derecha) con 3 clips de cierre incorporados.

El aire accede por el conducto horizontal y desciende hasta el depósito inferior a través del conducto centrífugo que fuerza al aire a girar y descender haciendo que las partículas con mayor masa y por lo tanto con mayor inercia, friccionen más con la pared provocándoles una deceleración respecto al flujo de aire desligándose de este. El aire por su parte seguirá girando en remolinos hacia el centro y saldrá por el conducto vertical superior sin las partículas pesadas.

- El material usado en la parte superior del separador ciclónico es ABS que permite el diseño de geometrías complejas y resistentes a bajo coste.
- En la zona inferior del separador ciclónico, donde caerán los residuos se usará chapa de acero galvanizado prensado puesto que para la limpieza y uso continuado en zonas industriales es mejor que el aluminio u otro metal.

Para apertura y cierre del colector se usarán bridas lineales metálicas y un sellante alrededor del borde de las dos piezas que asegure la hermeticidad en el interior.

6.4.1.6. Tubo corrugado y boquilla.

Existen conductos corrugados de PU para aspiradoras de dos tamaños, de 38 y 50 mm de diámetro interior. Su compra es por metros de bobina.

No se han hallado datos sobre la pérdida que generada en instalaciones.

En el punto donde el cliente requiera, se colocará un adaptador para la incorporación de un tubo corrugado estándar de la longitud que el cliente desee.

En el otro extremo del tubo corrugado se incorporará la boquilla que el cliente vea oportuna dependiendo de la función que vaya a desempeñar los usuarios u operarios.

6.4.2. Ejemplo de diseño, simulación y ensamblaje para una ebanistería.

La empresa en cuestión, solicita que se construya en su fábrica, un sistema de aspiración centralizada para 6 trabajadores que trabajan simultáneamente con 1 metro de distancia entre trabajadores con un conducto corrugado que les permita la aspiración en un radio de 3 metros.

Les ha llamado la atención entre el catálogo de configuraciones posibles el separador ciclónico que les permitiría separar el serrín grueso que como según indican, les facilitará el proceso de elaboración de pellet.

Desean, además, que la presión de aspiración mínima sea de 800 mmH₂O por boquilla.

6.4.2.1. Proceso de prediseño

Lo primero que se elaborará será el ensamblado del sistema de distribución con las piezas diseñadas en el apartado “Diseño de componentes”



Figura 60 Ensamblaje conducto secundario con unión al conducto general.

Como se aprecia en la Figura 60, el conducto secundario consta en este caso de:

- 1x Codo 45° DN 40 con radio de curvatura del orden de 10 respecto al diámetro interior (R/D).
- 1x Separador ciclónico DN40.
- 3 metros de conducto corrugado $\varnothing_{\text{interior}}: 38 \text{ mm}$
- 1x Boquilla con sección de $1078,26 \text{ mm}^2$ ($0,0011 \text{ m}^2$)



Figura 61 Ensamblaje sistema de distribución a analizar.

Como se aprecia en la Figura 61, el sistema de distribución consta en este caso de:

- 6x Conductos secundarios
- 6x Uniones DN110 – DN40
- 6x Conducto lineal de 1 metro DN110
- 2x Conducto lineal de ½ metro DN110
- 1x Tapa de acceso para mantenimiento
- 2x Codos 90° DN110 R/D=2

Se le añade en la distribución dos codos de 90° más dos conductos lineales de ½ metro con la finalidad de dirigir el flujo a la entrada del colector de polvo general.

6.4.2.2. Simulación e iteración

Se comienza con unas dimensiones de sección de conductos similares a las obtenidas al final del apartado del Modelo 7: Reducción de la sección del conducto secundario.

6.4.2.3. Modelo 1

Nº Conductos secundarios	6
Distancia entre conductos secundarios	1 m
Ø Conductos secundarios	38 mm
Longitud conducto corrugado	3 m
Sección boquilla	1078,26 mm ² 0,0011 m ²
Caudal total en la salida del conducto general	1980 m ³ /h
Ø Salida conducto general	105 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 21 Datos de entrada del modelo 1 para la empresa de ebanistería

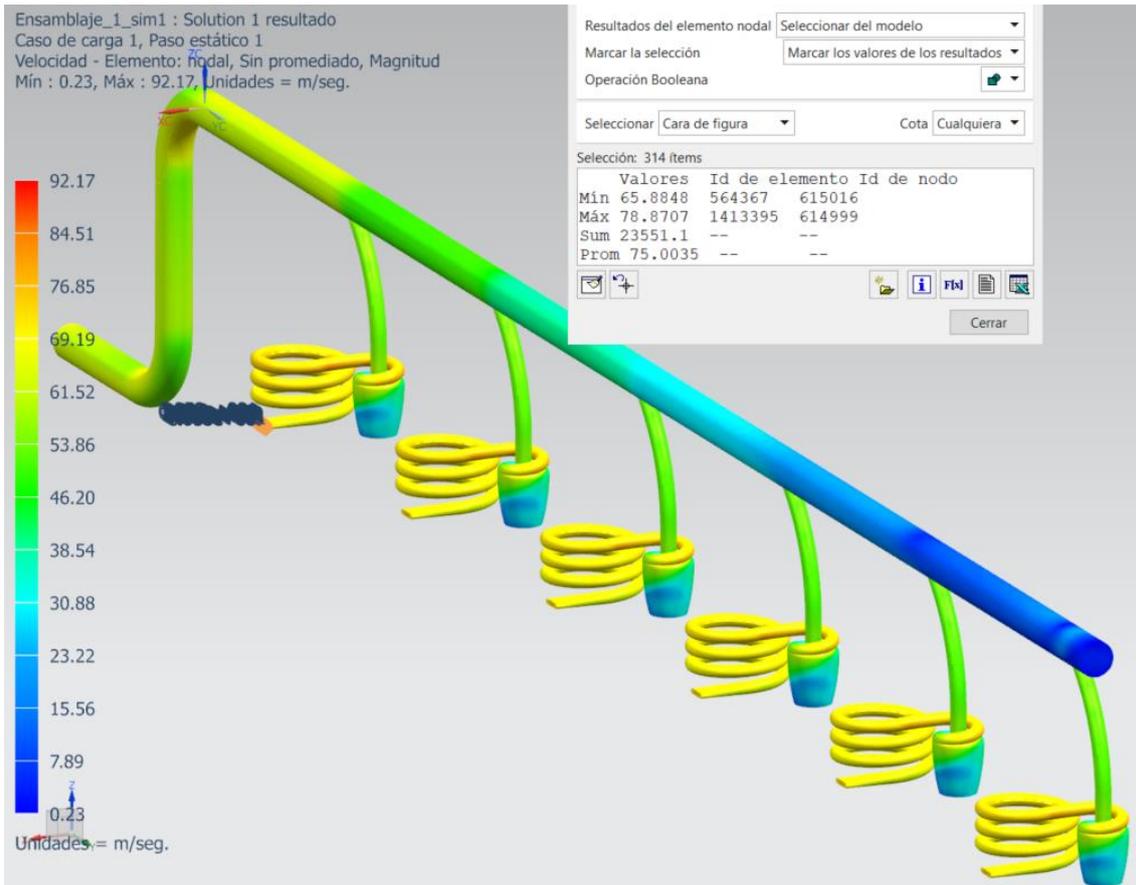


Figura 62 Captura resultado simulación, representación gráfica de velocidades en modelo 1 con la lectura de la velocidad en la entrada 1: 75 m/s

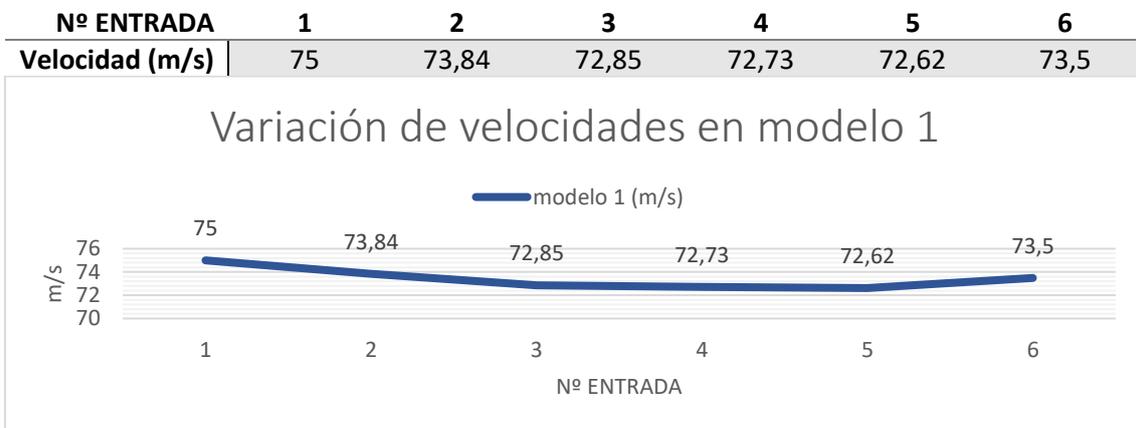


Figura 63 Gráfica con la comparación de velocidades entre las entradas del modelo 1.

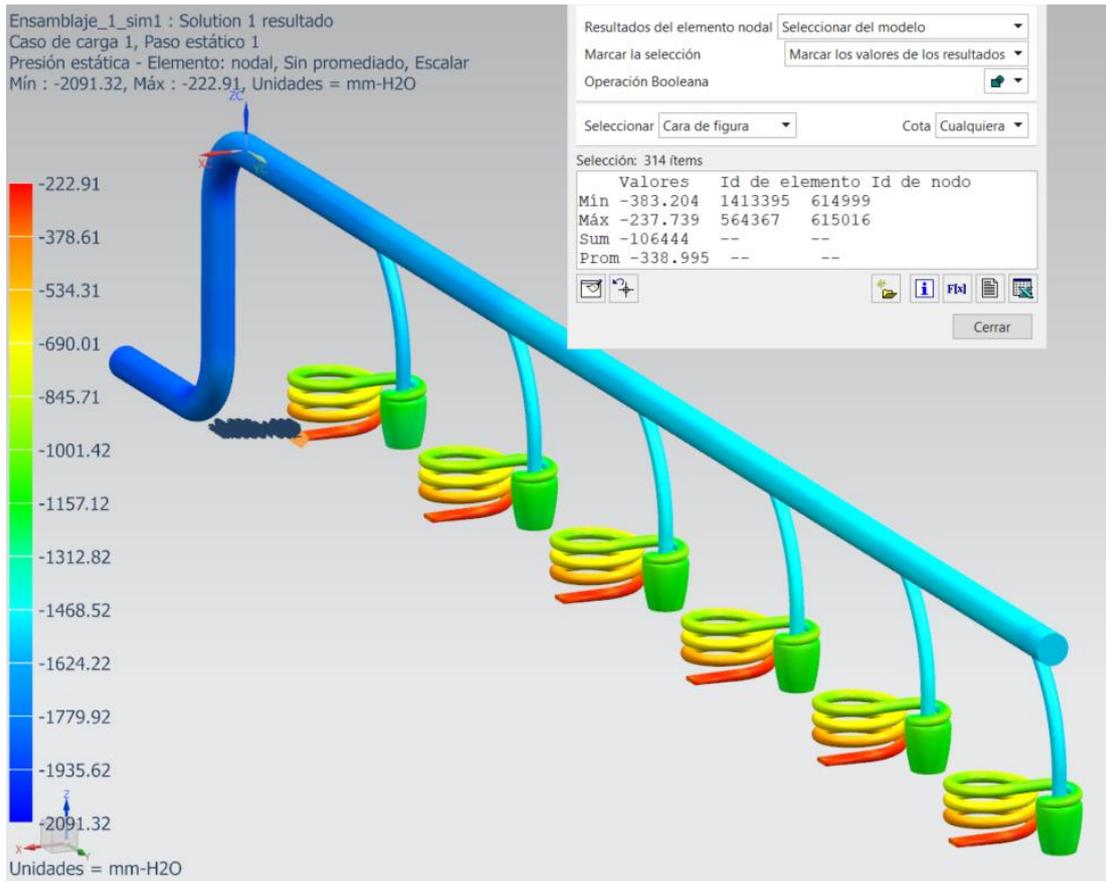


Figura 64 Gradiente de presiones estáticas en la simulación del modelo 1.

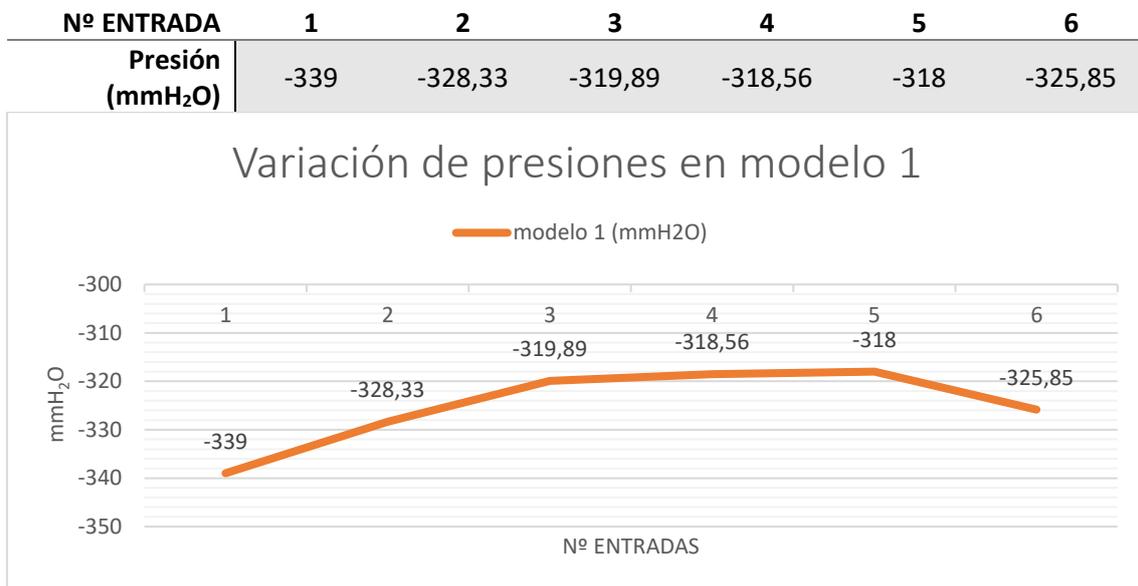


Figura 65 Grafica comparación de presiones estáticas en modelo 1.

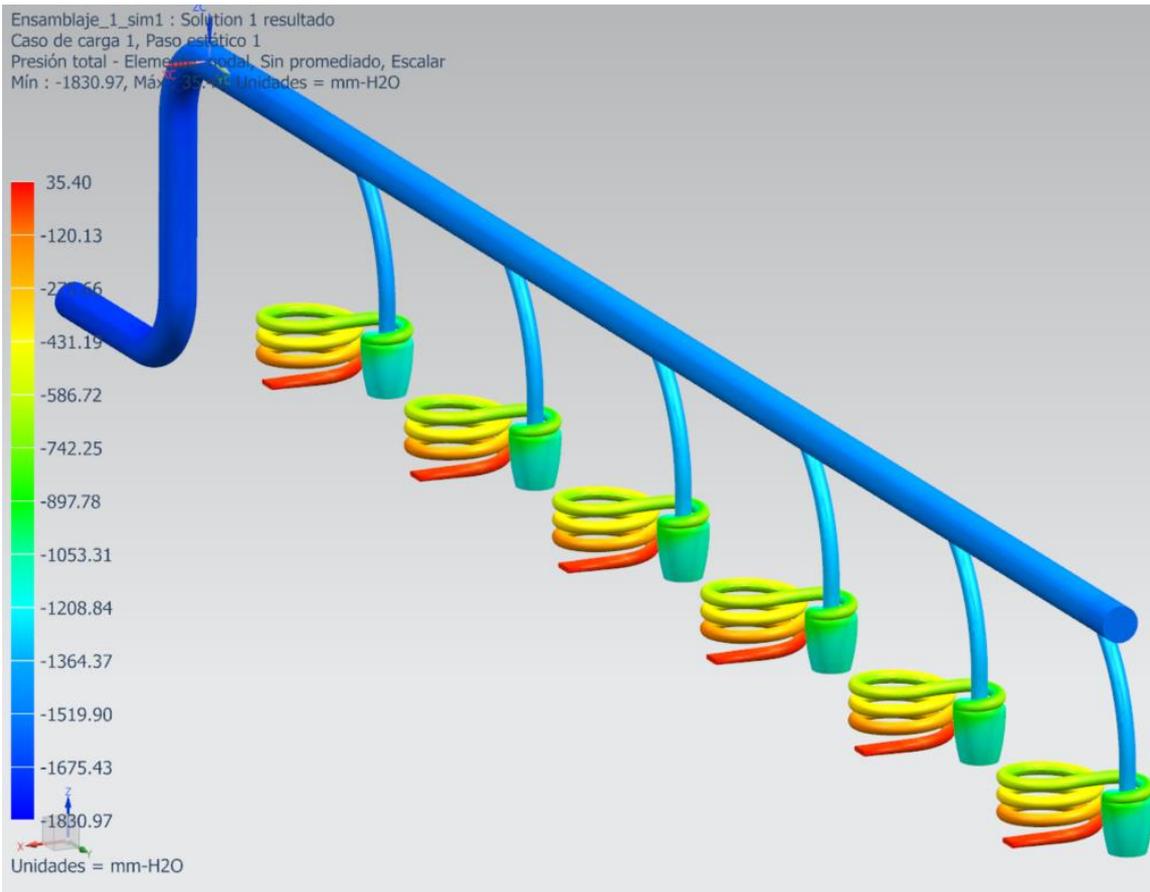


Figura 66 Gradiente de presiones totales en modelo 1

6.4.2.4. Modelo 2

En este modelo se aumenta un 33% el valor del caudal a la salida del conducto general respecto al modelo 1.

Nº Conductos secundarios	6
Distancia entre conductos secundarios	1 m
Ø Conductos secundarios	38 mm
Longitud conducto corrugado	3 m
Sección boquilla	1078,26 mm ² – 0,0011 m ²
Caudal total en la salida del conducto general	2640 m ³ /h
Ø Salida conducto general	105 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 22 Datos de entrada del modelo 2 para la empresa de ebanistería

Las capturas de las simulaciones realizadas para los siguientes modelos están en el Anexo 1: Capturas simulaciones de flujo del sistema completo.

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	90	88,43	87,24	87,2	87,16	88,31

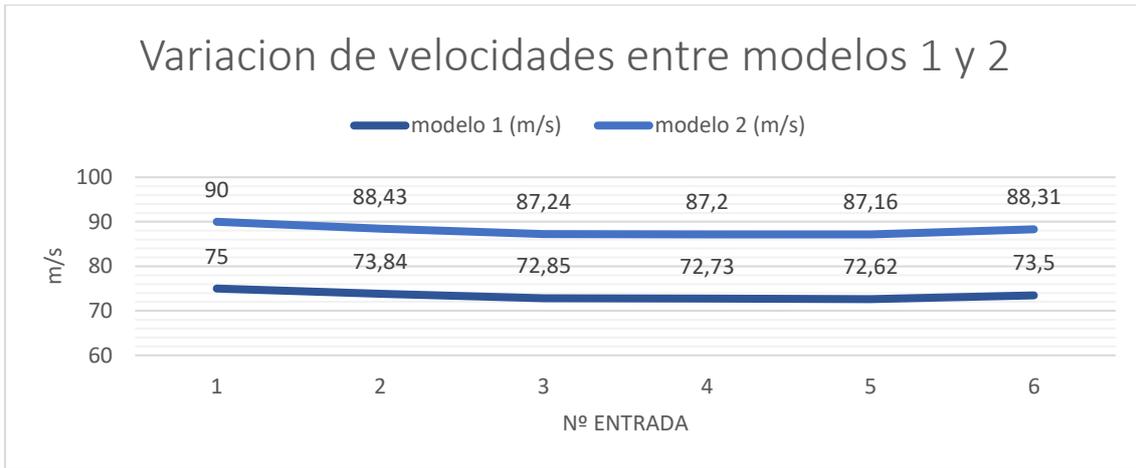


Figura 67 Gráfica de comparación de velocidades de los modelos 1 y 2

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH₂O)	-479,65	-465,46	-452,21	-452,03	-451,02	-463,893

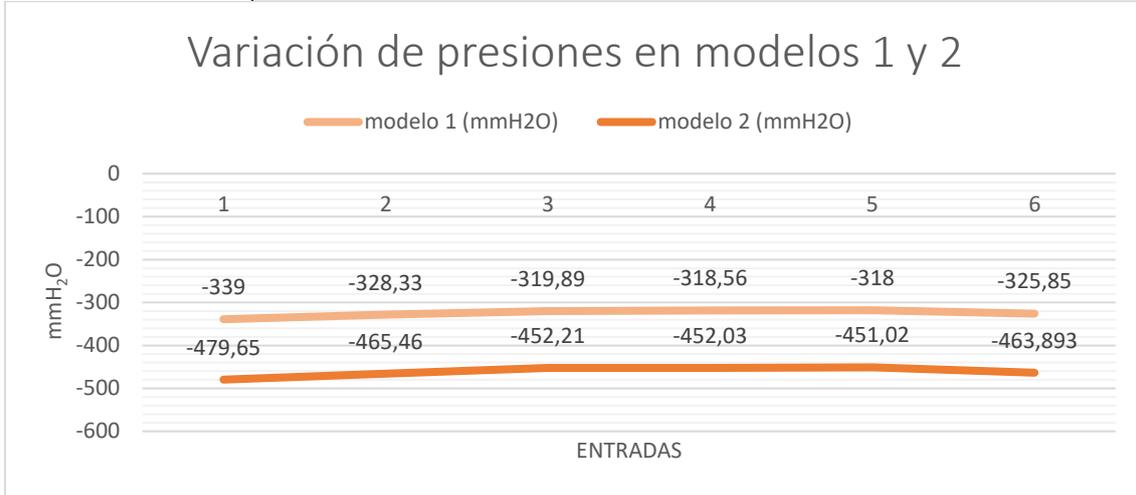


Figura 68 Gráfica de comparación de presiones de los modelos 1 y 2

6.4.2.5. Modelo 3

En este modelo se duplica el valor del caudal a la salida del conducto general respecto al modelo 1.

Nº Conductos secundarios	6
Distancia entre conductos secundarios	1 m
Ø Conductos secundarios	38 mm
Longitud conducto corrugado	3 m
Sección boquilla	1078,26 mm ² – 0,0011 m ²
Caudal total en la salida del conducto general	3960 m ³ /h
Ø Salida conducto general	105 mm
Tamaño mallado	5 mm

Tabla 23 Datos de entrada del modelo 3 para la empresa de ebanistería

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	107,78	105,79	104,65	104,28	104,7	105,93

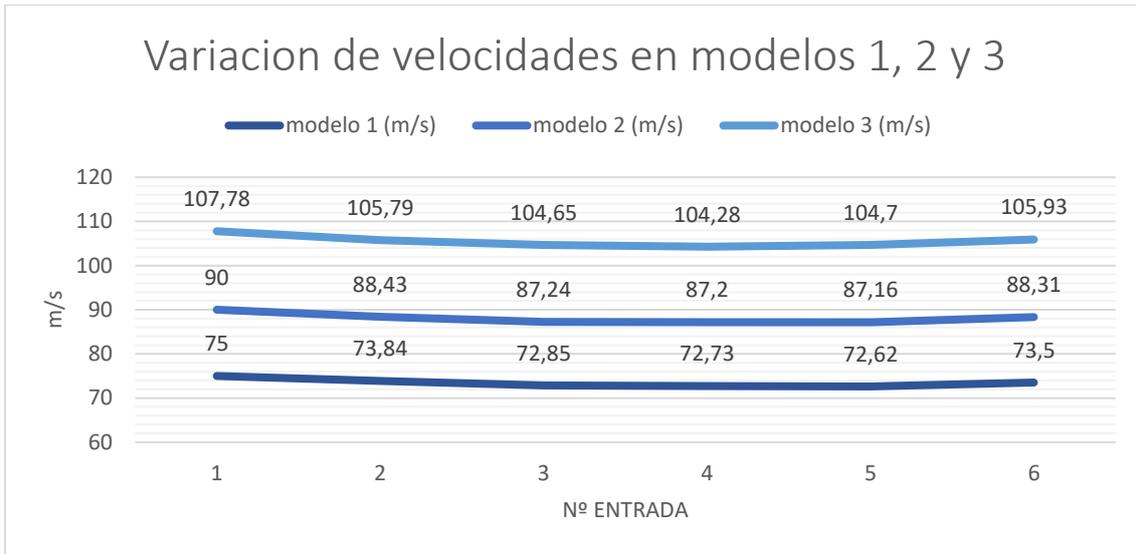


Figura 69 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo 1, 2 y 3.

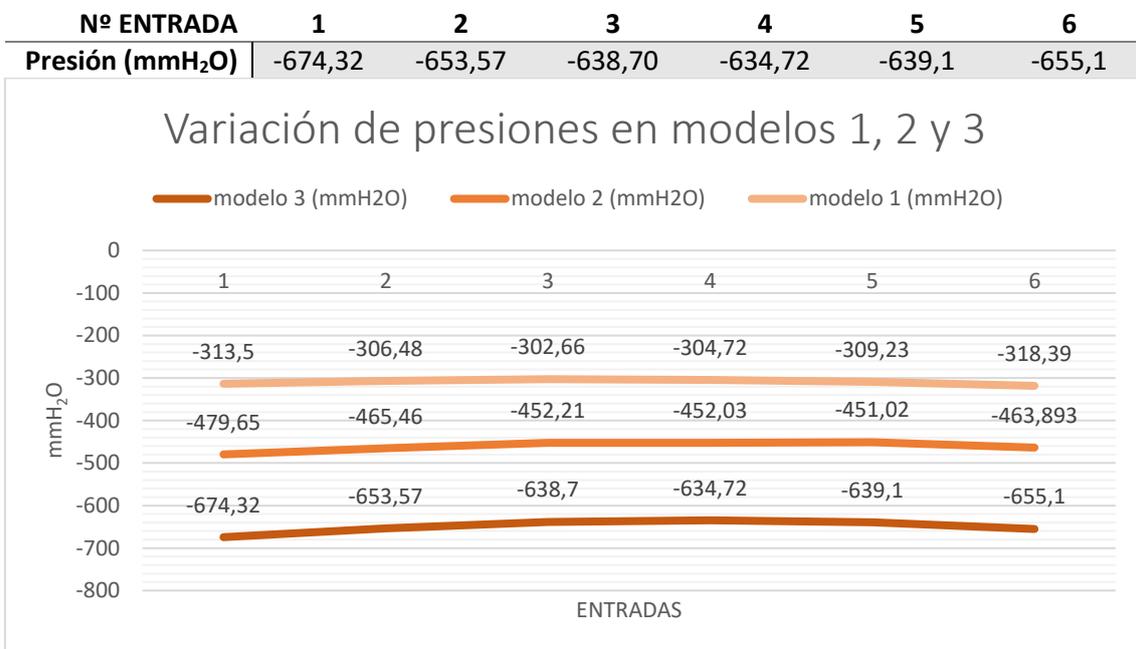


Figura 70 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos 1, 2 y 3.

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
Caudal (m³/h)	1980	2640	3960
Media aritmética de presiones estáticas en las entradas (mmH₂O)	-324,94	-460,71	-649,25

RESULTADO DE PRESIONES DE VACÍO GENERADO EN CADA BOQUILLA SEGÚN EL CAUDAL TOTAL

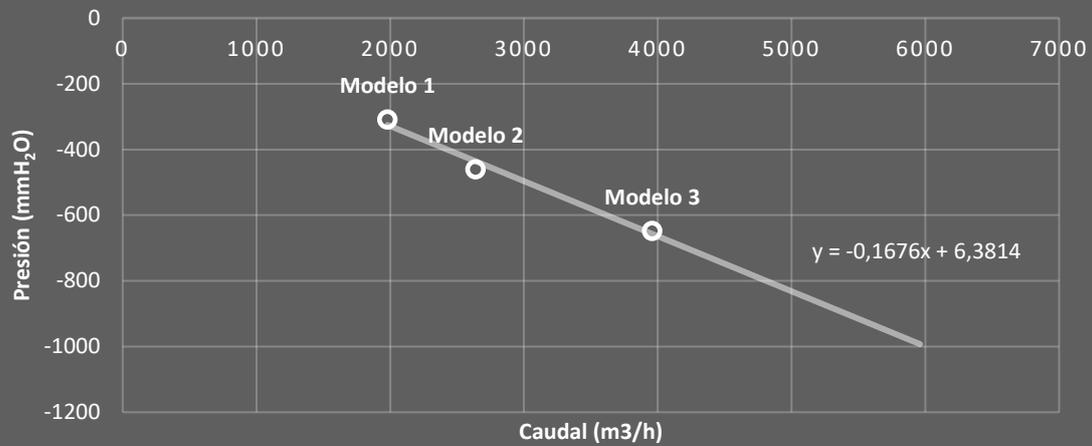


Figura 71 Gráfico del resultado aritmético de las presiones sacadas del CFD según el caudal total introducido como dato en la salida del sistema

La gráfica de la Figura 71 muestra una línea de tendencia lineal que indica que para obtener una presión de -800 mm-H₂O es necesario introducir un caudal de:

$$\frac{-800-6,3814}{-0,1676} = 4811 \text{ m}^3/\text{h} [4]$$

7. Colector de polvo general

Para evitar que el polvo acceda a las partes móviles del compresor alargando su vida útil en un aspirador industrial o doméstico, es fundamental que posea un filtro que evite que las partículas de polvo pasen al compresor y estas sean separadas del flujo de aire de aspiración y depositadas en un compartimento donde al acabar el servicio sea fácil de extraer y limpiar.

7.1. Soluciones alternativas

7.1.1. Filtro desechable / Mantenimiento

Para conseguir este objetivo, hay distintas formas y tipos dependiendo del uso, periodos de mantenimiento, caudal y presupuesto. La primera elección que se ha de hacer es si el filtro que se va a utilizar es desechable o con mantenimiento.

Los filtros de aire desechables tienen una alta calidad de filtrado. Pero a largo plazo, si el caudal y el tiempo de consumo es elevado cada jornada, el filtro se obstruirá y será necesario su reemplazo en poco tiempo.

En el caso de aspiradoras domésticas, que, en comparación con las industriales, su caudal y uso es reducido, el filtro que se suele utilizar es el desechable, puesto que este tipo de cliente exige un mantenimiento ocasional cambiando el filtro de aire después de muchas horas de uso.

Los filtros de aire con mantenimiento poseen una calidad de filtrado menor. Pueden estar confeccionadas por cualquier material fibroso, tanto natural como artificial, y puede ser fabricada en forma de tejido de urdimbre y trama, o en forma de fieltro obtenido por punzonado, batanado o entrelazado.

En el caso de aspiradoras industriales, el caudal y horas de uso diario son muy superiores respecto a las domésticas. Además, son más voluminosas por el tamaño del compresor, por lo que se le puede aplicar un filtro con una mayor superficie. Por lo que la opción más favorable en aspiradoras de este tipo acaba siendo los filtros no desechables.

7.1.2. Filtro tejido / Fieltro

A pesar de que, a igualdad de peso, el fieltro es más eficaz y con menor mantenimiento que el filtro tejido, no presupone un defecto tan importante a largo plazo y resulta más favorable el uso de filtros tejidos.

La eficacia del material filtrante en el tejido indicado por el fabricante sólo es importante en la primera puesta en servicio. Una vez que la tela ha trabajado un cierto tiempo, son las propias partículas retenidas las que actúan como filtro, aumentando la eficacia de filtración. En función de la concentración de partículas, y del periodo de tiempo que transcurra entre las limpiezas de la tela (Ver Figura 72). Incluso el polvo residual después de la limpieza proporciona una mejora de la eficacia de un textil nuevo y limpio. Este tipo de filtros de tela nunca alcanzará el 100% de obstrucción. Se deberá entonces, realizar un reajuste en la potencia de absorción del compresor que compense la caída de presión.

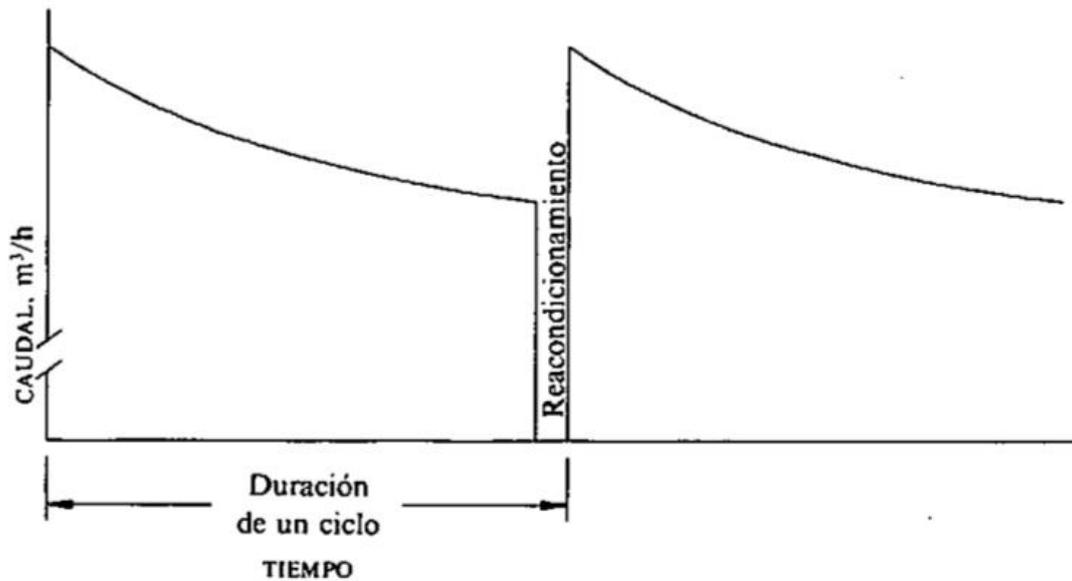


Figura 72 Grafica no cuantificada representando la línea de descenso de caudal a consecuencia de la acumulación de polvo en los filtros de mangas

En un filtro bien diseñado, la tela filtrante debe limpiarse antes de que la reducción de caudal sea crítica. La limpieza puede ser mediante agitación mecánica o movimiento del aire, liberando el exceso de polvo, pero dejando una capa residual de base que mejora la eficiencia de filtrado respecto al tejido nuevo.

Por lo que el tipo de filtro que se usará será de tela tejida con una configuración de mangas.

Los filtros de mangas consisten en un conjunto de filtros con forma de "bolsas" invertidas con los bordes embridados herméticamente en una chapa metálica perforada con los diámetros a medida de la boca de las bolsas por los que circula el aire de abajo a arriba inflándolas y permitiendo una mayor área de filtrado en las paredes de dichas bolsas. (Ver Figura 76 o en la Figura 77)

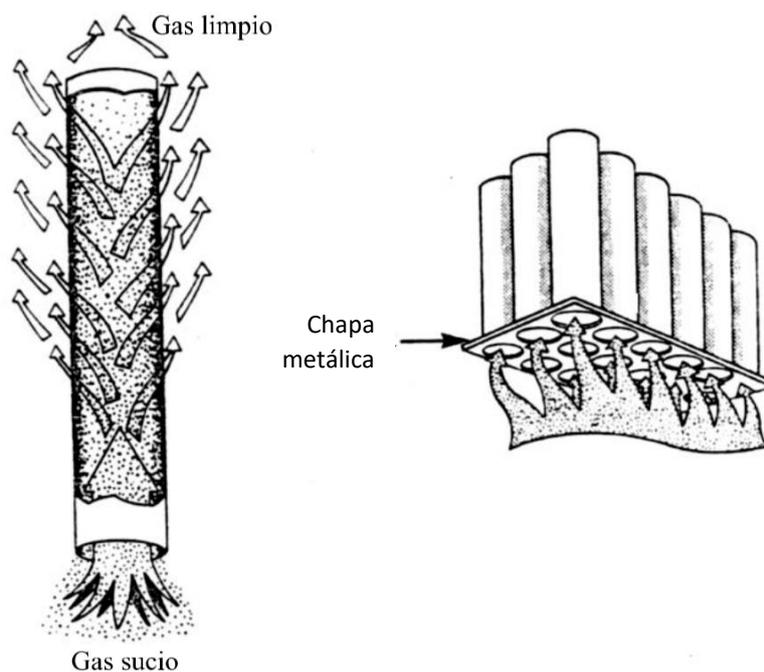


Figura 73 Ejemplo de otro colector de polvo industrial con mecanismo de vibrado de los filtros para su autolimpieza (filterworkshop(indrofiltermachine.com).

En el presente trabajo no se muestran los sistemas de autolimpieza de los filtros de tela puesto que se escapa del ámbito de este trabajo.

Las mangas filtrantes tienen entre 150 y 275 mm de diámetro y pueden llegar a tener longitudes de hasta 9 metros. Para mangas de tanta altura se utilizan anillos inoxidables en su interior para que mantengan la forma y así facilitar el desprendimiento de la torta de polvo durante los procesos de limpieza.

7.2. Proceso empleado

Los filtros y el colector de polvo general se dimensionan para que sean capaces de proporcionar una superficie filtrante que posibilite la operación sin originar una pérdida de carga excesiva.

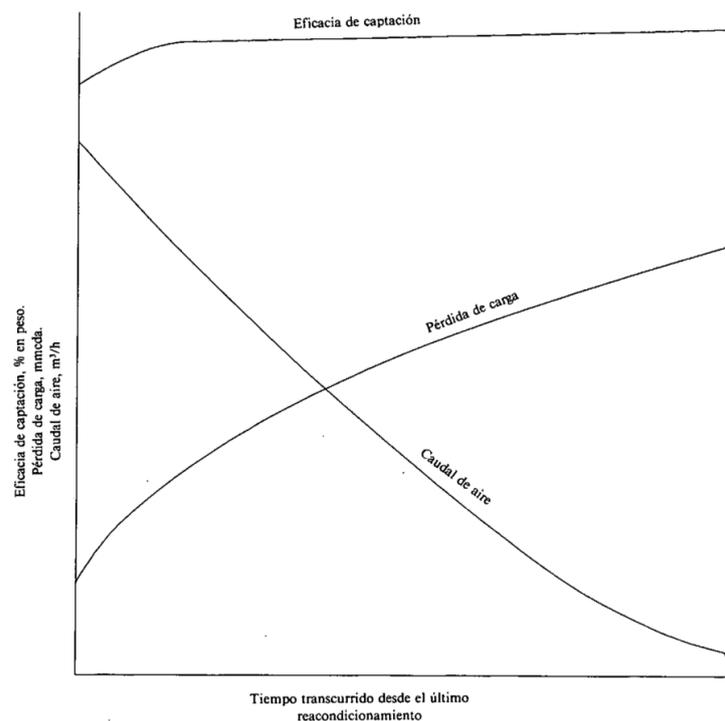


Figura 74 Grafica de comportamiento de un ciclo de filtro de mangas

7.2.1. Diseño de filtro de mangas

El tamaño de la superficie del tejido filtrante depende de muchos factores, entre ellos:

- Características del polvo.
- Porosidad filtrante con la base del polvo residual.
- Concentración de polvo en la corriente gaseosa.
- Mecanismo de limpieza.
- Intervalo de tiempo entre limpiezas.
- Modelo de circulación del aire en el interior del equipo.
- Temperatura y humedad del aire.

Debido a la cantidad de variables y su margen de variación, el dimensionado de un filtro de tela se basa en la experiencia y los datos obtenidos empíricamente. Como en este caso no existe

experiencia previa, la única solución para decidir el dimensionado del filtro es recurrir a ensayos en una instalación piloto.

El dimensionado del filtro se expresa mediante la relación entre caudal a filtrar y la superficie filtrante. Dicha relación es el cociente denominado aire-tela, o caudal específico de filtración, cuyas unidades son (m³/s/m²) y por lo tanto a dicha relación que representa la velocidad media de paso del aire a través del medio filtrante se le denomina “velocidad de filtración” (m/s) pero se ha de tener en cuenta que no deja de ser un caudal específico de filtración.

Para el diseño de una instalación piloto, si se estima una velocidad de filtrado muy superior a la que debería, producirá una alta caída de presión, mayor penetración de partículas (y por lo tanto una menor eficiencia de recolección) que provocará una limpieza más frecuente que conlleva una reducción en la vida útil de la tela. Por el contrario, si la velocidad es demasiado baja, se estará pagando de más por exceso de tejido de filtrado. (Ver gráfico de la Figura 77)

	OPERACIÓN DISCONTINUA Concentraciones bajas y medias	OPERACIÓN DISCONTINUA Concentraciones altas		OPERACIÓN CONTINUA Cualquier concentración	
Requerimientos de limpieza de la tela	Intermitente	Continuo			
Tipo de limpieza	Vibrador	Vibrador	Aire inverso (baja presión)	Inverso pulsante - (alta presión) aire comprimido o ventilador	
Configuración del depurador	Un compartimento	Múltiples compartimentos con válvulas en la entrada o la salida de cada uno		Un compartimento	
Configuración del medio filtrante	Mangas o bolsas	Mangas o bolsas	Mangas	Mangas o bolsas	Plegado en cartucho
Tipo de tela	Tejido	Tejido		Filtro	Filtro (lámina de papel)
Caudal de aire	Muy variable	Ligeramente variable		Prácticamente constante	Prácticamente constante
Rango del caudal específico de filtrado (velocidad de filtración, m/s)	0,005 á 0,030	0,005 á 0,015	0,005 á 0,010	0,025 á 0,060	< 0,005 á 0,012

Tabla 24 Resumen de filtros de tela y sus características

En la Tabla 24 extraída de la versión traducida del libro “Industrial Ventilation. Recommended Practice” ofrecido por la Generalitat Valenciana, se clasifica los filtros por operación continuo o intermitente. Los filtros intermitentes no pueden limpiarse mientras están en operación. Implica detener el flujo de aire para la limpieza del exceso de polvo acumulado en la superficie.

Teniendo en cuenta según la Tabla 24 la velocidad de filtración en la operación discontinua con tipo de tela de tejido, con un compartimento y un caudal de aire muy variable es de 0,005 a 0,03 m/s. Podemos deducir que la máxima velocidad de filtración es de 0,03 m/s. El motivo de esta baja velocidad es evitar una excesiva compactación de la torta de polvo con la consiguiente elevación de la pérdida de carga, además de impedir la rotura local del lecho filtrante que permitiría el paso de partículas grandes a través del filtro.

Conociendo que con el uso la velocidad se reducirá por acumulación de polvo y que el caudal más alto corresponde a la suma de todas las boquillas absorbiendo simultáneamente:

$$Q_{MAX} = Q \cdot N_{boquillas} [5]$$

Q= Caudal deseado en la entrada de cada boquilla = 330 m³/h = 0,0916 m³/s

N_{boquillas}= Número de boquillas en la instalación del sistema central de aspirado.

Podemos deducir que:

$$A_{TOTAL} = \frac{Q_{MAX}}{V_{MAX}} [6]$$

A_{TOTAL} = área total de tejido de filtrado de las mangas.

Q_{MAX} = Caudal del aire máximo absorbido por el compresor.

V_{MAX} = Velocidad de filtración.

$$A_{TOTAL} = \frac{0,0916 \text{ m}^3/\text{s} \cdot N_{boquillas}}{0,03 \text{ m/s}} = 3,05 \text{ m}^2 \cdot N_{boquillas} [7]$$

Para calcular la forma de las mangas y el número de ellas, hay que tener en cuenta los límites geométricos del colector para tratar de homogeneizar todo lo posible las perforaciones de la chapa del colector.

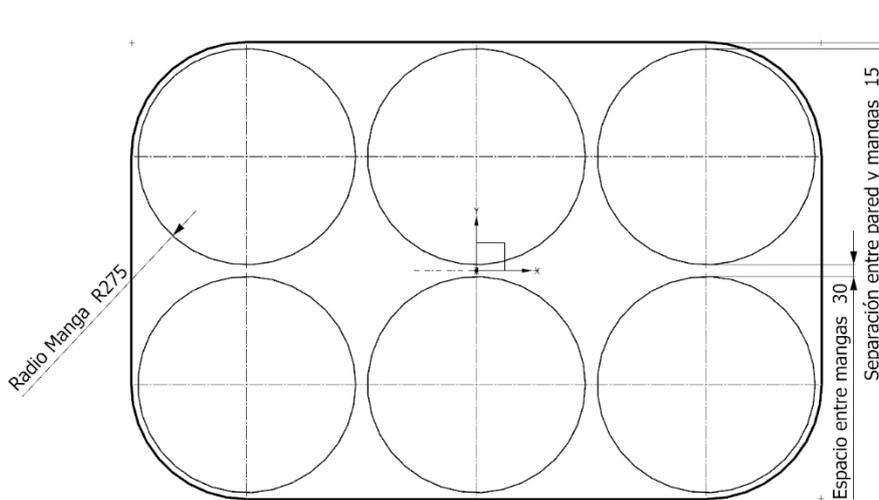


Figura 75 Ejemplo de chapa perforada para la instalación de los filtros de mangas en el colector de polvo general con $N_{mangas}=6$

N_{mangas} = número de filtros de mangas en el colector.

Para que la geometría de la base del colector general sea lo más cuadrado posible, es decir, que no haya tanta diferencia entre el ancho y el largo, se utilizan por tanto una serie de N_{mangas} cuya raíz sea un número entero o cuyo número decimal sea muy próximo al múltiplo de 5.

Serie de N_{mangas} : 4, 6, 9, 12, 16, 20, 25, 30, 36, 42, 49...

Se ha obtenido de una página web proveedora de filtros de mangas de poliéster situada en Barcelona, una lista de productos con unas dimensiones predeterminadas:

		Alturas disponibles h (mm)				
		850	1000	1300	1500	2000
Diámetros disponibles Ø (mm)	500	26€	30€	-	35€	-
	530	-	-	-	40€	-
	550	-	34€	-	40€	54€
	600	-	-	45€	-	58€

Tabla 25 Mangas filtrantes de poliéster disponibles en (<https://mercaspiracion.com/34-filtros>) 21/08/2020

Calidad: 100% poliéster con micropunzonado de 350 g/m²

$$A_{manga} = 2\pi r^2 + 2\pi r h \quad [8]$$

$$A_{TOTAL} = 2\pi N_{mangas}(rh + r^2) \quad [9]$$

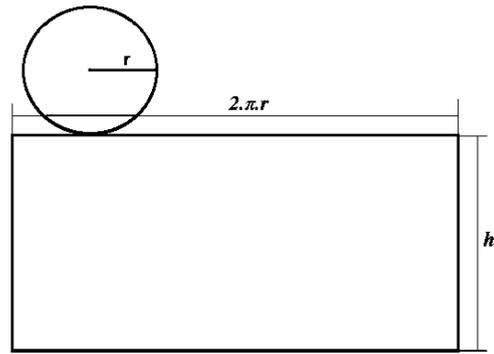


Figura 76 Representación para el cálculo de la superficie de tejido del filtro de mangas



Figura 77 Ejemplo de producto publicado en la web del proveedor.

Ejemplo de cálculo del diseño del conjunto de filtros de mangas

Calcula el número de mangas filtrantes y su altura para un sistema de aspiración central con 6 boquillas y un caudal de 330 m³/h cada boquilla.

Lo primero, es necesario hallar el área total de tejido filtrante para que no se supere la velocidad de filtrado máximo (0,03 m/s) en la superficie del tejido de los filtros de mangas.

$$A_{TOTAL} = 3,05 \text{ m}^2 \cdot N_{boquillas} \quad [10]$$

$$A_{TOTAL} = 3,05 \text{ m}^2 \cdot 6 = 18,33 \text{ m}^2 \quad [11]$$

Conocido la superficie necesaria total para una buena operabilidad, se despeja de la ecuación 9 para conocer el número de mangas que será necesario.

$$N_{mangas} = \frac{A_{TOTAL}}{2\pi(rh + r^2)} \quad [12]$$

En la Figura 76 se representa el área troquelada de un filtro de mangas con el que resolver el área de cada manga filtrante.

Al ofertarse distintas geometrías, se hace uso de la Tabla 25 que muestra las mangas filtrantes para que, mediante las dimensiones de cada producto, se pueda calcular el número de mangas que serían necesarias para que se cumpla la velocidad de filtrado máximo con dicho producto.

		Alturas disponibles h (mm)				
		850	1000	1300	1500	2000
Diámetros disponibles Ø (mm)	500	10,61	9,34		6,67	
	530				6,24	
	550		8,32		5,98	4,66
	600			6,08		4,23

Tabla 26 Resultado del número de mangas necesarias según las dimensiones de los filtros de mangas.

Como se ha mencionado antes, para que la distribución sea cúbica o casi cúbica es necesario que N_{mangas} pertenezca a la serie mencionada anteriormente. Además, hay que tener en cuenta que la velocidad de filtrado ha de ser menor de la máxima, por lo que se debe seleccionar una configuración que proporcione un área total de filtrado mayor o igual a $18,33 \text{ m}^2$. Por ello, se selecciona como resultado en la Tabla 26 un número ligeramente inferior a cualquiera de la serie anteriormente mencionada y se redondea a dicho número.

En la siguiente tabla se muestran las respectivas configuraciones válidas.

N_{mangas}	$h \text{ (mm)}$	$\varnothing \text{ (mm)}$	$A_{TOTAL} \text{ (m}^2\text{)}$	Coste
6	1500	550	18,4	240€
9	1000	550	19,83	306€

Tabla 27 Comparación de los resultados válidos.

Se elige la opción de 6 mangas con una altura de 1,5 m y una boca de 0,55 m de diámetro que dan un total de $18,40 \text{ m}^2$ y que como muestra la Tabla 27, tiene un coste total aproximado de 240€. En la Figura 75 se puede ver el plano del diseño de la chapa metálica basado en este resultado.

7.2.2. Diseño del colector de polvo

El colector de polvo se diseña a partir de las dimensiones y cantidad de filtros de mangas.

Lo primero que se hace es crear una rejilla con un espacio fijado entre filtros de mangas y la pared de 15 mm y de 30 mm entre mangas como se aprecia en la Figura 75.

Luego se fija otro espacio de separación entre el extremo de las mangas y el techo del módulo.

Se diseña el espacio entre las mangas y el cajón de extracción de polvo. El diseño del cajón de polvo es adaptativo al diseño de la estructura del colector.

Por último, se incorporan la salida y entrada de aire del módulo con dos conductos roscados.

Ver Anexo 4: Plano distribución de conductos .

7.3. Diseño final y consulta fabricación

La estructura del módulo se fabrica de acero. La entrada ciclónica son chapas de acero soldadas a la estructura.

La fabricación del módulo metálico (Ver Figura 78) se hace mediante plegadoras y equipos de soldadura. La fabricación de las chapas se realiza mediante corte por láser.

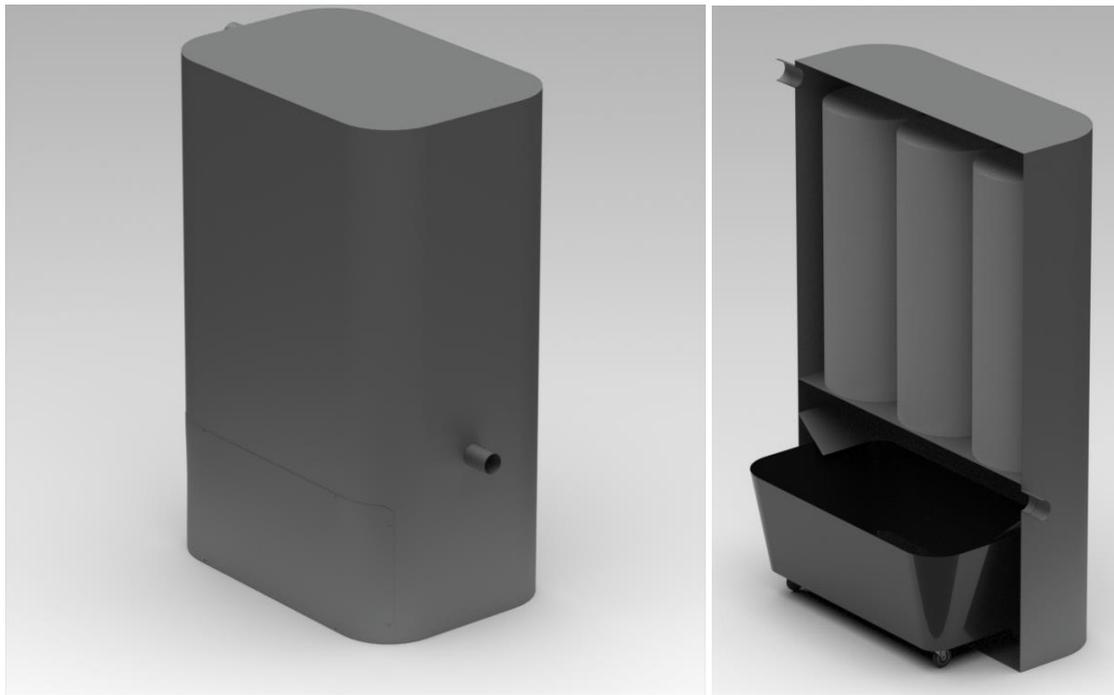


Figura 78 Apariencia externa del colector de polvo para un caudal de 1980 m³/h (izquierda). Vista renderizada y seccionada (derecha)

El cajón extraíble se fabrica en plástico ABS e incorpora 4 ruedas giratorias de goma. (Ver Figura 79).

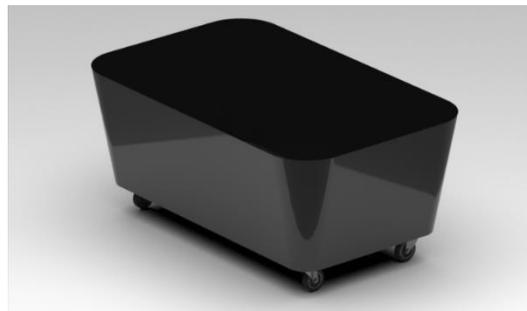


Figura 79 Cajón de polvo con ruedas giratorias de goma para deposición de la acumulación de polvo

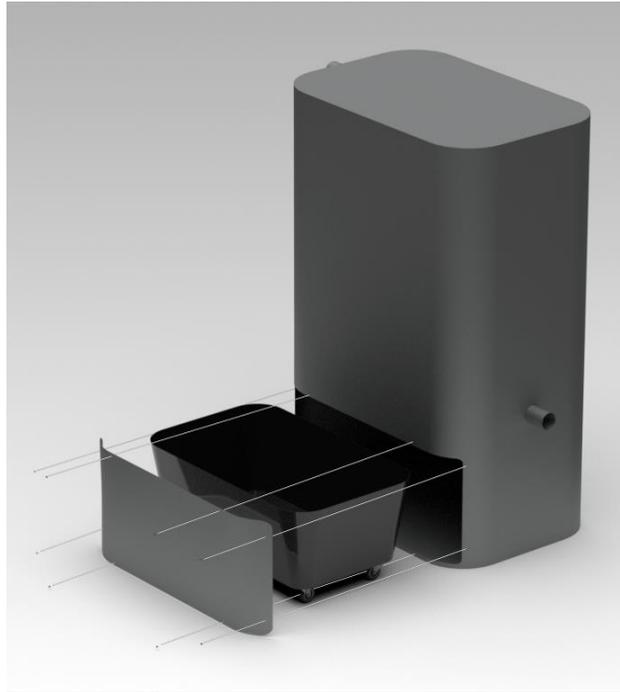


Figura 80 Renderizado de colector general explosionado con extracción del cajón de polvo

Para la retirar el cajón se han de retirar previamente 8 tornillos de extracción rápida por mecanismo de muelle de la chapa con empaque fijado al módulo. (Ver Figura 80)

8. Cálculo de la demanda de presión generada por las pérdidas del sistema y potencia necesaria del compresor

El compresor es la pieza más costosa y la correcta elección de esta consigue que se obtenga un buen producto final a un precio razonable. Por ello es fundamental calcular correctamente la caída de presión de todo el sistema. Para compensar dicha caída con la potencia necesaria del compresor.

8.1. Soluciones alternativas de compresores

Previamente al cálculo de la caída de presión del sistema, es importante que se conozcan los distintos compresores que existen en el mercado y realizan la misma función con diferencias en potencia y distribución.

Los datos mostrados son genéricos.

Peripheral Bypass



Figura 81 Compresor peripheral bypass

Potencia	1,1 kw
Caudal	163,27 m ³ /h
Aspiración máx	81,53 mm H ² O

Este tipo de motores son muy utilizados en aspiradoras industriales. Son económicos y permiten la incorporación de varios de estos compresores funcionando simultáneamente en un mismo aspirador para conseguir distintos niveles de potencia de aspiración. (Figura 81)

Canal lateral



Figura 82 Compresor canal lateral

Potencia	1,75 kw
Caudal	330 m ³ /h
Aspiración máx	3000 mm H ² O

Gran aspiración máxima con el tamaño más ajustado. Se pueden usar también simultáneamente para conseguir distintos niveles de potencia sin invertir en métodos de control de revoluciones. (Figura 82)

Centrífugo multietapa

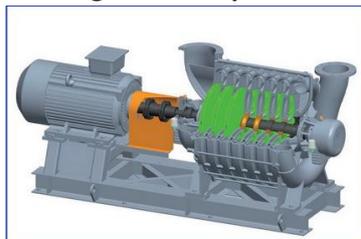


Figura 83 Compresor etapas tangenciales

Potencia	19 kw
Caudal	1300 m ³ /h
Aspiración máx	2500 mm H ² O

Máxima eficiencia para grandes caudales. Sin embargo, la variación de potencia de aspiración es compleja. (Figura 83)

8.2. Proceso empleado

Para calcular la caída de presión global del sistema o pérdida de carga, se estimará el valor de la caída de presión debido al rozamiento de cada componente y sus accesorios.

Se calculará por el método de presión dinámica por estos motivos:

- Es un método generalmente más rápido tratando todas las pérdidas.
- El reajuste es rápido ante cualquier variación de diseño de los componentes mediante el método de equilibrado por diseño.

A continuación, se desarrollará las pérdidas de presión que generará cada componente de la instalación. La compensación de la pérdida de presión total de todos los componentes del sistema es el valor que hará falta para encontrar el compresor que el sistema necesitará compensar.

8.2.1. Boquilla

Es el punto extremo del sistema y donde el cliente o usuario deberá obtener las prestaciones de diseño para un aspirado de calidad que le permita operar y limpiar partículas de suciedad de la superficie que deseé.

Aquí tiene origen la aceleración del fluido del ambiente (aire) al interior del sistema. Esto generará una PD correspondiente a la velocidad en la superficie hueca del extremo de la boquilla y una PE con valor -PD.

Además, se producen en la entrada de la boquilla pérdidas (hc_b) con valor de PD multiplicado por un factor de pérdidas (F_b).

La conservación de la energía se expresaría entonces:

$$PE_2 = -(PD_2 + hc_b) = -(PD_2 + PD_2 \cdot F_b) \quad [13]$$

Siendo $PD_1=0$ y $PE_1=0$ (Aire ambiente sin velocidad)

El factor de pérdidas en la entrada de las boquillas comunes de aspiradoras de abertura sencilla (muestra de forma geométrica en Figura 84) es:

$$F_b=0,93$$

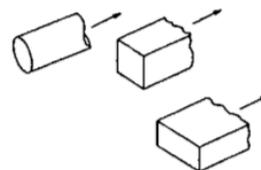


Figura 84 Boquillas con abertura sencilla

8.2.2. Conductos rectos

Se multiplica la longitud de diseño del conducto por el factor de pérdida por unidad de longitud contemplado en la Figura 85.

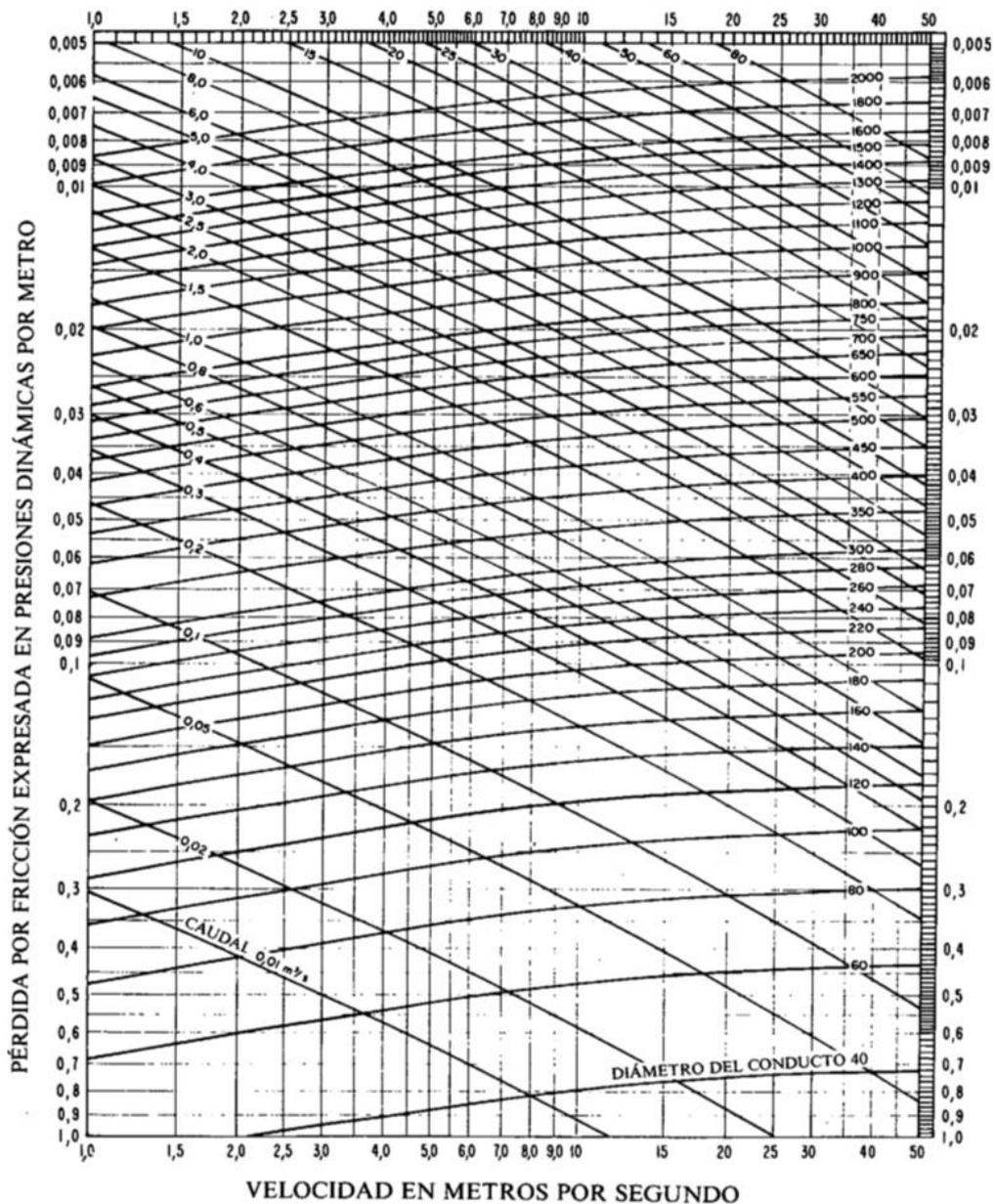


Figura 85 Diagrama de pérdida por fricción en conductos lineales

O haciendo uso de la siguiente fórmula

$$H_f(q/m) = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}} [14]$$

Q= caudal de diseño del fluido que transita por el interior en m³/s

D= diámetro en metros del interior del tubo.

Este cálculo del factor de pérdida por unidad de longitud sirve de forma genérica para todos los materiales de tubos destinados al transporte de fluidos.

Dependiendo de la rugosidad del material del conducto, la resistencia dinámica que induce al fluido repercutirá a lo largo del mismo. Es por ello, que este factor de corrección por rugosidad (Figura 86) se le ha de sumar al anterior factor calculado en el diagrama anterior (Figura 85).

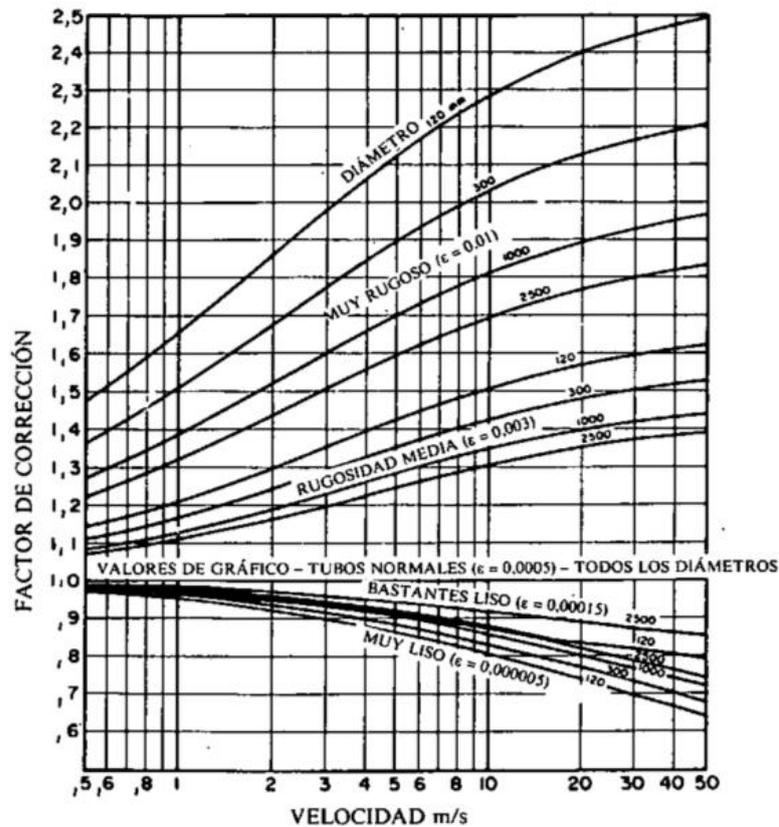


FIGURA 5.22 FACTOR DE CORRECCIÓN POR RUGOSIDAD DEL CONDUCTO

Figura 86 Diagrama de rugosidad de conducto

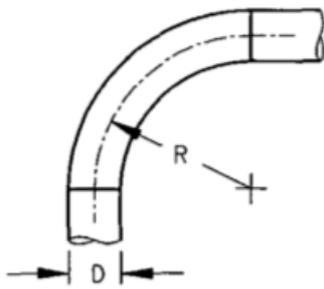
En el caso del proyecto de este documento el caudal de diseño es 330 m³/h o 0,0916 m³/s.

Teniendo en cuenta que las tuberías son las mencionadas en el apartado Conductos lineales tienen rugosidad $\epsilon = 0,0005$:

DIN	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	F _{CL} (q/m)
32	28 ±0,5	2	0,962
40	36 ±0,5	2	0,736
50	46 ±0,5	2	0,567
63	59 ±0,5	2	0,435
75	70 ±0,5	2,5	0,362
90	85 ±0,5	2,5	0,295
110	105 ±0,5	2,5	0,235
125	120 ±0,5	2,5	0,204
140	134 ±0,5	3	0,181
160	154 ±0,5	3	0,156

Tabla 28 Tamaños de conductos rectos con su correspondiente factor de pérdida por unidad de longitud

8.2.3. Conductos curvos



R/D	Pérdida de carga Fracción de PD
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

CODOS DE SECCIÓN CIRCULAR

Figura 87 Pérdida de carga según el radio de curvatura y el diámetro del conducto.

Como se ha mencionado anteriormente, se adquieren dos tipos de codos, los que se diseñan de 45° o 90°. Los primeros poseen un radio de curvatura 10 veces el diámetro nominal de la tubería. Es decir, 10/1.

Como en este caso 10/1 se sale de la tabla de la Figura 87, se estimará la ecuación a partir de la gráfica correspondiente a la tabla con una línea de tendencia de tipo potencial, puesto que es la que proporciona valores acorde a los que se tienen.

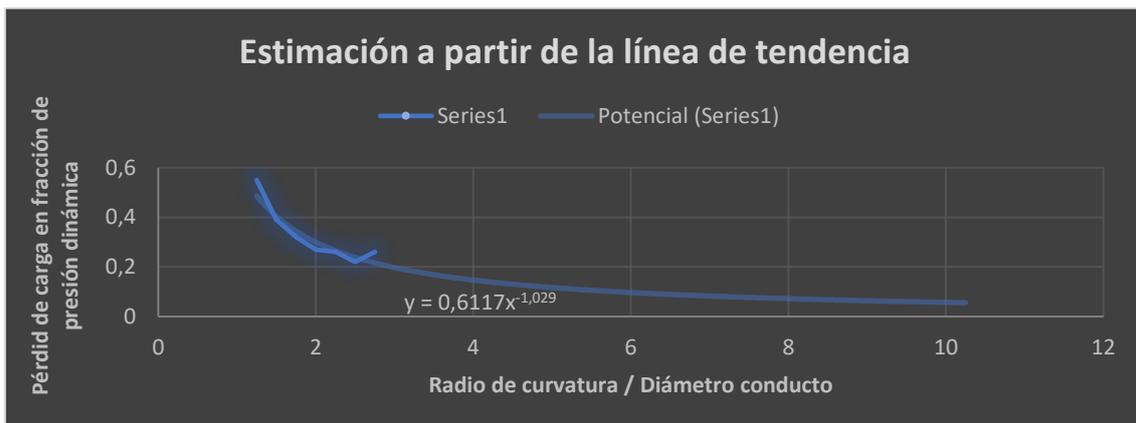


Figura 88 Gráfico con estimación lineal de tipo exponencial de la pérdida de carga de un conducto curvo

La línea de tendencia más ajustada a los datos de la tabla de la Figura 88, que otorga una estimación posible es la potencial con la siguiente ecuación como resultado.

$$y = 0,6117x^{-1,029} [15]$$

Sustituyendo x por 10 el resultado es:

$$0,6117 \cdot 10^{-1,029} = 0,058 \cong \mathbf{0,06} [16]$$

Este dato es para una curva de 90°

En caso de 45° sería la mitad de recorrido, por lo tanto $\rightarrow F_{CCur45} = \mathbf{0,03}$

Sin embargo, los codos de 90° se usarán normalmente en el conducto general y estos tendrán un R/D del orden de 2.

$$F_{CCur90} = 0,27$$

8.2.4. Conducto corrugado

En el caso de los tubos corrugados no se ha encontrado ningún documento que date sobre éstos. De cualquier forma, se supondrá el doble del factor de pérdida por fricción por metro de conductos lineales vistos en la ecuación [14] a los dos tubos corrugados de la Tabla 29.

Diámetro interior (mm)	F_{Cor} (q/m)
38	1,390
50	1,037

Tabla 29 Factor de corrección de Conductos Corrugados

8.2.5. Separador ciclónico

El separador ciclónico al ser de diseño propio, se utilizará la simulación de flujo (CFD) para el cálculo de la presión total y estática y con ello conocer la pérdida de presión. (Ver Figura 89, Figura 90 y Figura 91)

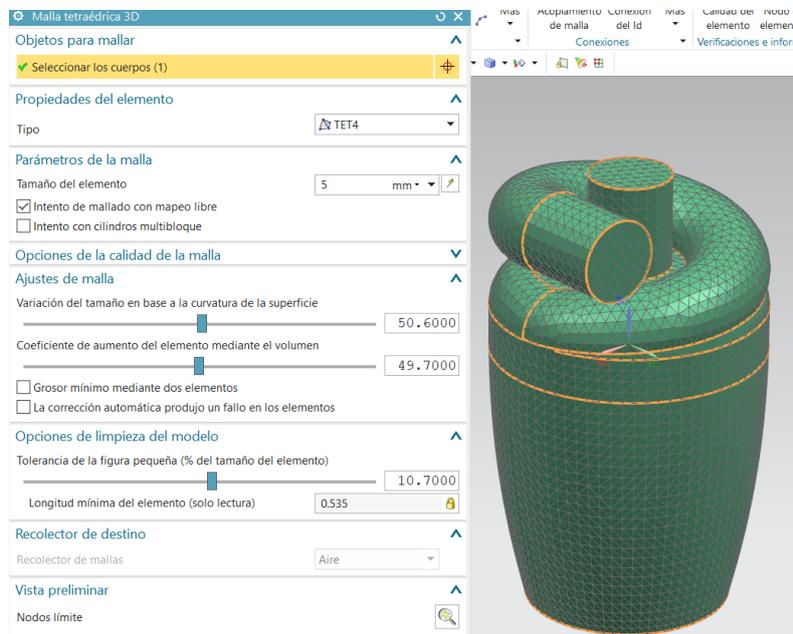


Figura 89 Configuración de malla para simulación del flujo de aire.

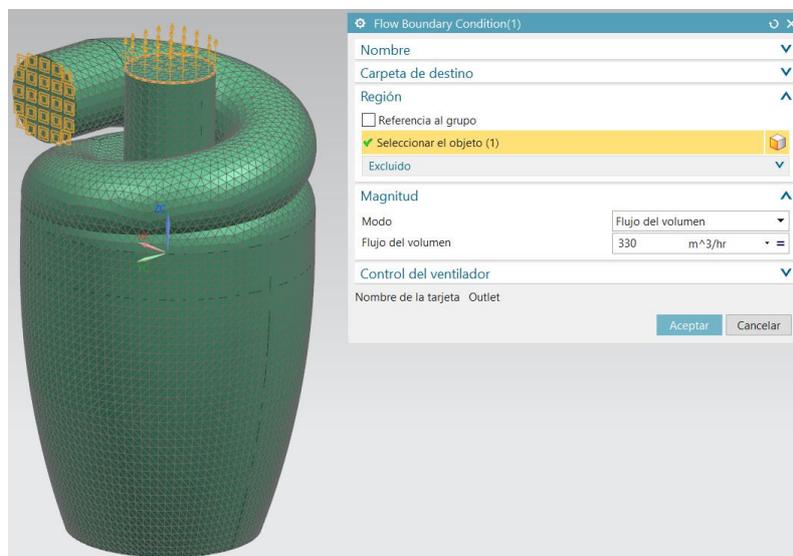


Figura 90 Configuración de condiciones de contorno.

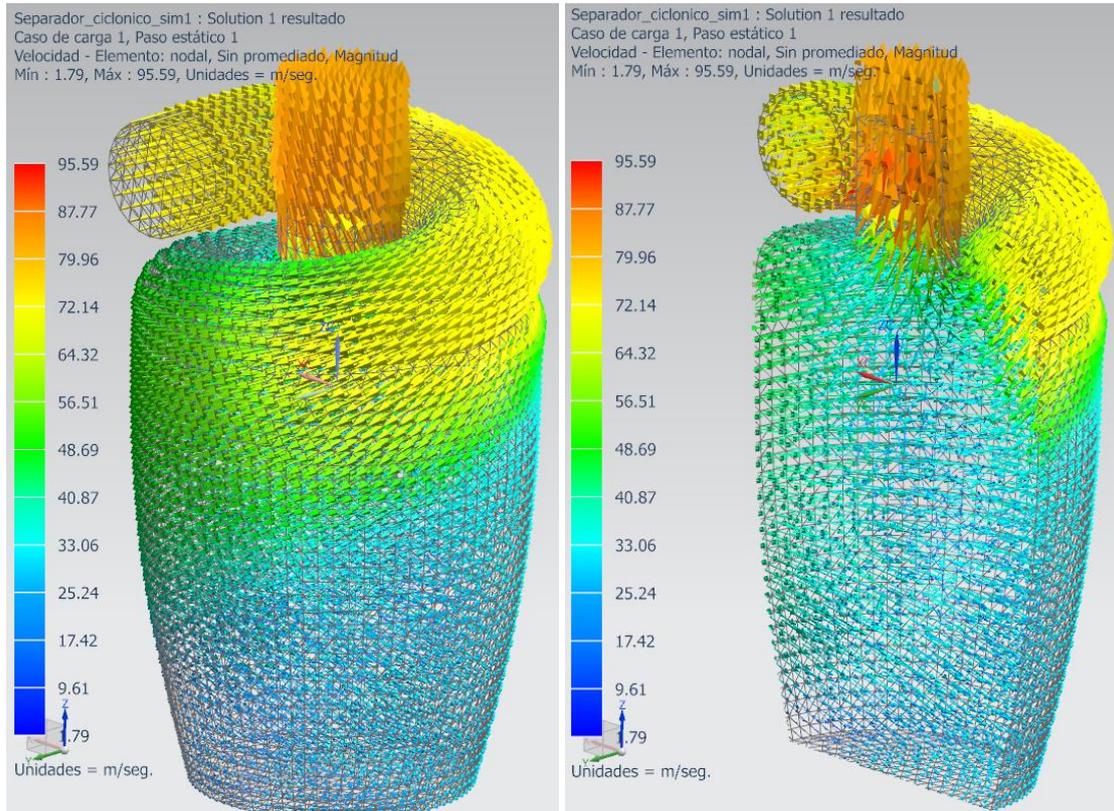


Figura 91 Resultado simulación DN 40: Velocidad del flujo representada con flechas en m/s (Izq: Vista completa/ Der: Vista seccionada)

Como se ha visto anteriormente, para el cálculo de pérdida de carga en puntos singulares en un conducto hay que utilizar la ecuación 13 utilizando en este caso como puntos 1 y 2 la entrada y salida del separador ciclónico respectivamente. (Ver Figura 92)

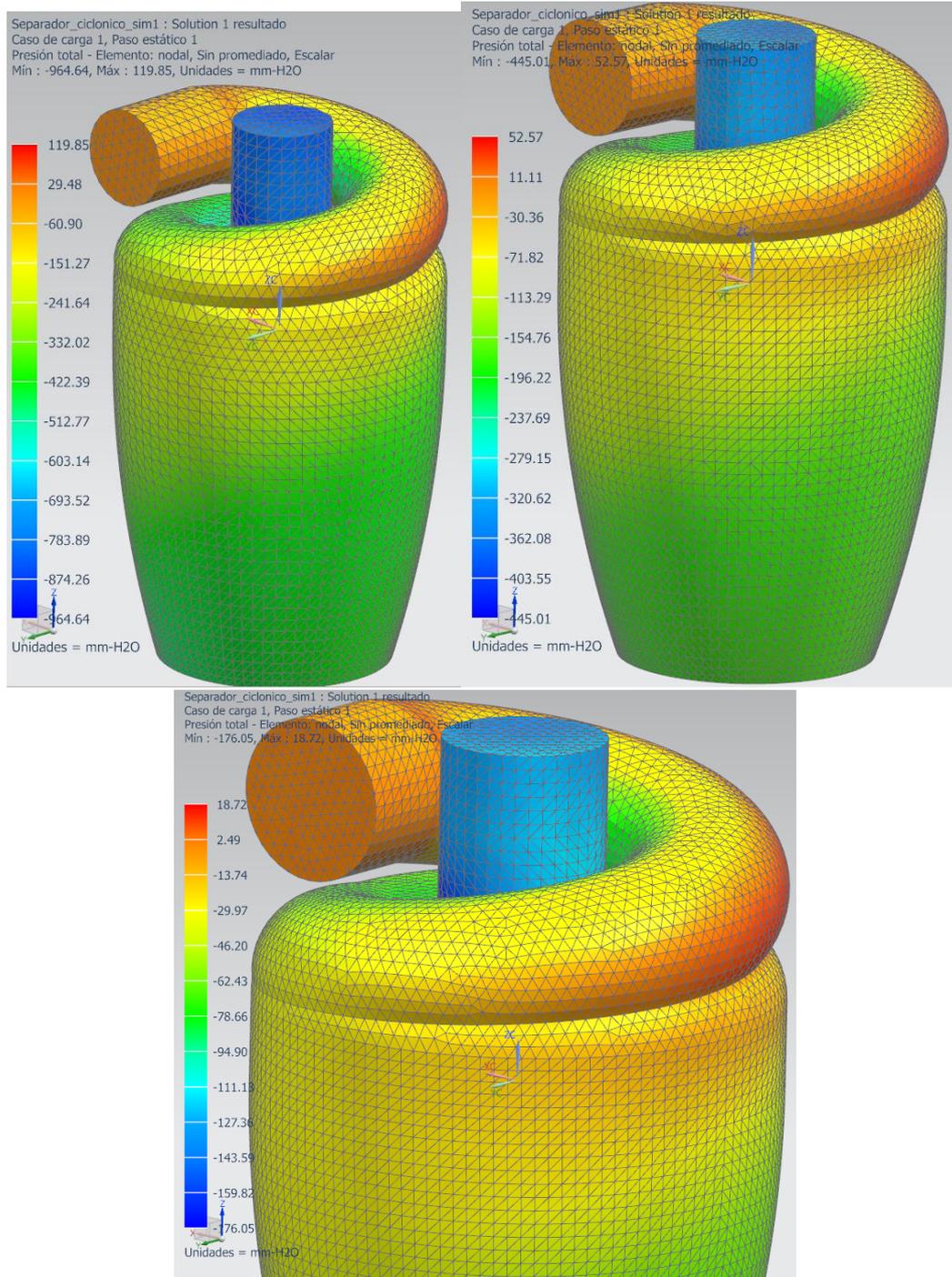


Figura 92 Resultado simulación presión total DN 40, 50, 63

DN	mm interior	Punto	V (m/s)	error	PD (mmH2O)	PE (mmH2O)	PT (mmH2O)
40	38	1	74	±4	330	-330	0
		2	80	±4	388,11	-1204	-834
50	48	1	49	±4	143,81	-147	0
		2	52	±4	160,64	-509	-351
63	61	1	31	±4	57,09	-59	0
		2	32	±4	62,37	-200	-136

Tabla 30 Datos obtenidos de la simulación del separador ciclónico con 330 m³/h de caudal en el punto 2

Sustituyendo las presiones totales en la ecuación 13 de la conservación de la energía se tiene que:

$$\text{Para DN40} \rightarrow 0 = -834 + h_{sc40} \rightarrow h_{sc40} = \mathbf{834 \text{ mm H}_2\text{O}} \text{ [17]}$$

$$\text{Para DN50} \rightarrow h_{sc50} = \mathbf{351 \text{ mm H}_2\text{O}} \text{ [18]}$$

$$\text{Para DN63} \rightarrow h_{sc63} = \mathbf{136 \text{ mm H}_2\text{O}} \text{ [19]}$$

8.2.6. Colector de polvo general con filtro de mangas

Los filtros de mangas tienen el inconveniente de que su caída de presión depende de la torta de polvo que queda acumulada en su tejido y recorrido aerodinámico del aire por el interior del colector, por lo que es imposible predecir por parte de los proveedores o del simulador de flujo cuánta será la caída.

Es posible, sin embargo, calcular la resistencia de filtro específica con un equipo operando de forma continuada.

La “resistencia del filtro específica” “ h_0 ” o el rendimiento del equipo en la instalación. Se refiere a la pérdida de carga por unidad de caudal y superficie de tela. Se puede utilizar la analogía de la resistencia en un circuito eléctrico para definirlo, es el cociente entre pérdida de carga y velocidad de filtración.

Por otro lado, la capacidad de la tela para dejar pasar aire a través de esta es la “permeabilidad” que se define como el volumen de aire que pasa a través de la unidad de superficie en la unidad de tiempo con una diferencia de presión de 20 mmH₂O. Los valores normales de permeabilidad para las telas filtrantes habituales están comprendidos entre 12 y 20 m³/m²/min.

Tanto la resistencia del filtro específica real como la permeabilidad real, como se ha comentado, se pueden calcular tras un uso continuado y un estudio empírico de los resultados con la construcción de un colector de polvo piloto.

Con estos datos se podrán calcular los periodos de regeneración. Es decir, el tiempo de continuidad operativa del sistema de aspiración antes de que la reducción del caudal sea crítica.

$$\Delta P = \frac{817\mu w(1-m)}{d^2 m^3} \left[26 \cdot 10^{-6} d^{0.25} (1-m) \sqrt[3]{h_0} + \frac{wtz}{\rho} \right] \text{ [20]}$$

$$\tau = \left[\Delta P - \left(\frac{817\mu w(1-m)}{d^2 m^3} 26 \cdot 10^{-6} d^{0.25} (1-m) \sqrt[3]{h_0} \right) \right] \frac{d^2 m^3 \rho}{817\mu w(1-m)wz} \text{ [21]}$$

μ = Viscosidad del gas.

w = Velocidad del gas para toda la superficie de la tela. (0.003 m/s según lo estimado anteriormente).

d = Diámetro medio de las partículas de polvo (según la organización mundial de la salud, 2.5 μm de diámetro de partícula de polvo en suspensión en el aire es lo suficientemente pequeña para generar a la población problemas de salud. Por lo que para una aspiradora puede ser una buena cifra para operar)

m = Porosidad de la capa de polvo.

h_o = Resistencia del filtro específica de la tela limpia respecto al espesor de 1m, a la velocidad del aire de 1 m/s.

ρ = Densidad del polvo.

τ = tiempo de continuidad operativa hasta nivel de caudal crítico.

De cualquier forma, según el manual de recomendaciones prácticas para instalaciones de ventilación industrial traducido por la Generalitat Valenciana, indica que generalmente el caudal específico de filtración se elige de forma que la pérdida de carga a través de la tela filtrante varíe desde 50 a 125 mmcda entre el inicio y el final del ciclo de operación.

Por lo que para el cálculo posterior de las caídas de presión del sistema se estimará que el conjunto de filtros de mangas creará una caída de presión al sistema equivalente a la semisuma de estos dos valores. Es decir, 87,5 mmcda.

La empresa EMISON MEDI AMBIENT, S.L., proveedora de filtros de mangas, ofrece una lista con los tejidos más usados en la industria para la confección de este tipo de filtros y sus propiedades:

TELA	TEMPERATURA MAXIMA (°C)		RESISTENCIA				
	Continua	Picos	Ácidos	Bases	Abrasión	Tensión	Combustión
Algodón	82	107	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Buena	Sí
Dacrón, (poliéster)	122	163	Buena	Muy buena	Muy buena	Excelente	Sí
Fibra de vidrio	260	288	Regular	Regular	Buena	Buena	Sí
Nomex	190	218	Mala	Excelente	Muy buena	Muy buena	No
Nylon	92	121	Mala	Excelente	Excelente	Excelente	Sí
Orlón	127	127	Excelente	Regular	Buena	Buena	Sí
Polipropileno	92	94	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Sí
Teflón	232	288	Excelente	Excelente	Regular	Buena	No
Lana	92	121	Muy buena	Deficiente	Regular	Regular	No
Acrílico	127	137	Buena	Regular	Buena	Buena	Sí
Polietileno	65	100	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Sí
Acetato	71		Mala	Mala	Buena		No
Rayón	94		Mala	Regular	Buena		Sí

Tabla 31 Propiedades de los materiales empleados en filtros de mangas (Fuente: Cooper, D. and Alley, F., 2002.)

En la versión traducida del libro “Industrial Ventilation. Recommended Practice” ofrecido por la Generalitat Valenciana, se recomienda usar un valor de caída de presión de 50 mm-H₂O cuando está con poco uso y una caída de presión de 125 mm-H₂O cuando la acumulación de polvo es abundante. En la gráfica de la Figura 93 se hace una representación (no real) que ilustra el efecto que tiene la acumulación de polvo en los filtros de tela.

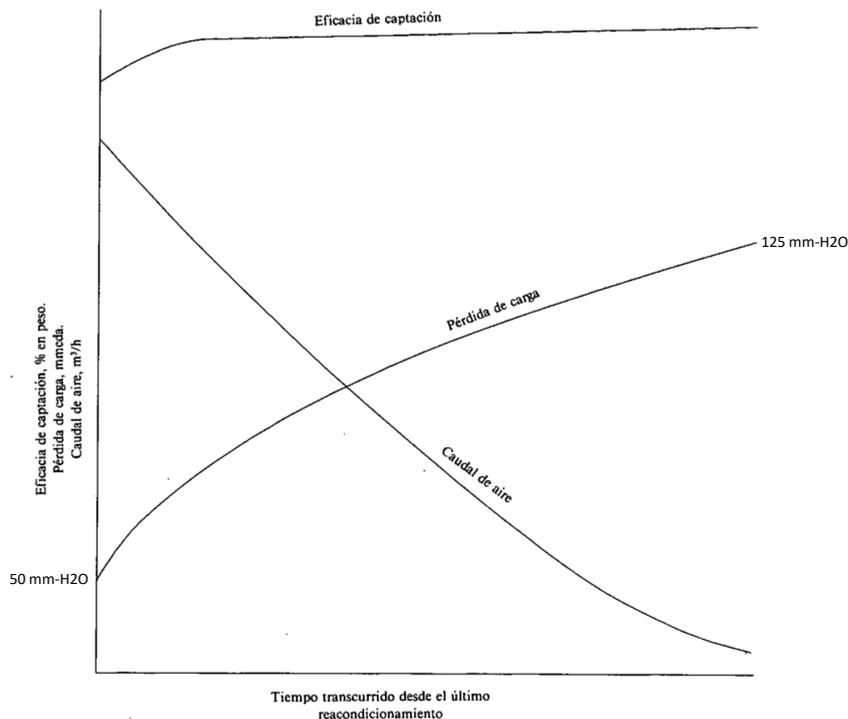


Figura 93 Modificación Figura 74 de la gráfica de comportamiento de un ciclo de filtro de mangas

Por ello, se usará la semisuma de ambos extremos para tener una estimación orientativa en los cálculos.

$$\frac{125 + 50}{2} = 87,5 \text{ mm H}_2\text{O} [22]$$

8.2.7. Unión de conducto secundario a conducto general

Al diseñar múltiples entradas y conductos secundarios conectados a un conducto principal o general, se ha de prever una correcta repartición del caudal total entre los conductos secundarios.

Para ello se han de igualar las presiones estáticas en todas las uniones de los conductos secundarios al conducto general, es por esto, como se ha visto en el apartado “Diseño de la distribución de los conductos mediante resultados obtenidos por CFD”, que el conducto principal se sobredimensiona de forma que la velocidad sea muy inferior a la velocidad del conducto secundario. De esta forma, se producirá un equilibrio entre las uniones, es decir, el caudal total se distribuirá automáticamente entre las diferentes boquillas de acuerdo a las pérdidas de carga de cada uno.

El objetivo por tanto del conducto principal es proveer un camino con poca pérdida de carga desde los puntos de unión de los conductos secundarios hasta el colector de aire. Contribuyendo a mantener el equilibrio entre los conductos secundarios con el menor consumo de energía.

Para conseguir que la repartición de caudales coincida con los valores de diseño en cada boquilla, se debe conseguir que, en la unión, la presión estática sea la misma.

Por ello se debe equilibrar el sistema de forma que el caudal de cada boquilla sea el de diseño (se recuerda que es 330 m³/h) y que las velocidades en los conductos secundarios y principal sean los deseados.

Para el equilibrado se deberá introducir correcciones cuando la diferencia entre la PD_{CPr} y PD_{C2^o} resultante de la unión sea superior a 2,5 mmH₂O.

La corrección se realiza calculando en primer lugar la presión dinámica resultante de la unión PD_r .

$$PD_r = \left[\frac{Q_{CPr1} + Q_{C2^o}}{4,043(A_{CPr1} + A_{C2^o})} \right]^2 \quad [23]$$

Se supone que los conductos principal y secundario están equilibrados en la unión ($PE_{CPr1}=PE_{C2^o}$).

Si PD_{CPr2} es menor que PD_r , se produce una desaceleración y no hay problema. Sin embargo, si resulta mayor, se produce una aceleración y la diferencia entre estos dos valores es la pérdida de PE necesaria para compensar el aumento de energía cinética para pasar de PD_{CPr2} a PD_r .

El valor se calcula con la fórmula:

$$PE_{CPr2} = PE_{CPr1} - (PD_{CPr2} - PD_r) \quad [24]$$

Adicionalmente se he de tener en cuenta la caída de presión por parte del conducto secundario al incorporarse en la unión al conducto general. En la ilustración XX se puede ver la perdida de carga que generan las incorporaciones del segundo conducto al general.

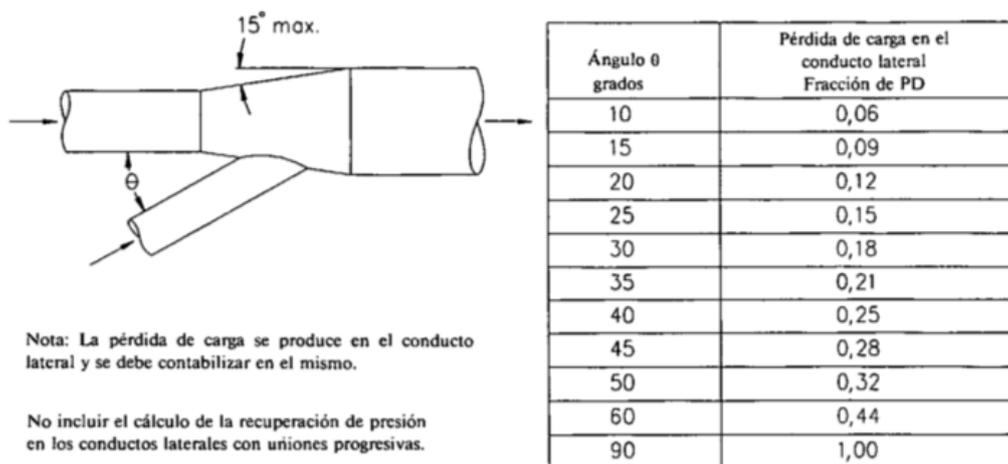


Figura 94 Tabla de pérdidas en uniones.

En los diseños realizados se usa una incorporación de 45° al conducto general.

Por lo tanto, la pérdida de carga en el conducto lateral tiene un factor de **0,28**.

8.2.8. Resumen de valores de caídas de presión de los componentes

Nombre	Factor de pérdidas F	Pérdidas PE (mm H ₂ O)
Conducto Lineal DIN 32	0,962 · m	
Conducto Lineal DIN 40	0,736 · m	
Conducto Lineal DIN 50	0,567 · m	
Conducto Lineal DIN 63	0,435 · m	
Conducto Lineal DIN 75	0,362 · m	
Conducto Lineal DIN 90	0,295 · m	
Conducto Lineal DIN 110	0,235 · m	
Conducto Lineal DIN 125	0,204 · m	
Conducto Lineal DIN 140	0,181 · m	
Conducto Lineal DIN 160	0,156 · m	
Unión	0,28	
Codo 45º	0,03	
Codo 90º	0,06	
Separador ciclónico DIN 40		834
Separador ciclónico DIN 50		351
Separador ciclónico DIN 63		136
Tubo corrugado PU 38 mm interior	1,390 · m	
Tubo corrugado PU 50 mm interior	1,037 · m	
Boquilla	0,93	
Colector de polvo general		87,5

Tabla 32 Resumen de valores de caídas de presión de los componentes

8.3. Equilibrado

Existen dos formas de equilibrar el sistema de aspiración para que todos los caudales sean homogéneos:

8.3.1. Equilibrado por diseño

También denominado por “presión estática”. Se inicia el diseño en la boquilla más alejado del compresor a través del conducto principal y se avanza de conducto secundario al principal y de cada sección hasta el compresor.

En cada pieza de unión de conductos, la presión estática de cada boca de unión ha de ser la misma. Esto se consigue modificando la sección del conducto principal, resistencia del separador ciclónico, conductos corrugados, etc...

8.3.2. Equilibrado por compuertas

Se basa en regular los caudales deseados en cada campana una vez ya esté la instalación hecha. Por lo que no es necesario realizar un diseño a medida para la instalación. Por el contrario, las compuertas generan una pérdida de carga que hará poco eficiente el sistema teniéndose que compensar continuamente con la potencia del compresor.

Este método sólo se usará como solución alternativa para modificaciones in situ de las instalaciones ya prediseñadas e instaladas en caso de complicaciones por causas externas al proceso del prediseño.

8.3.3. Procedimiento para equilibrado por diseño

Se calcula la pérdida de carga de cada conducto secundario a partir de los valores de diseño. Desde la boquilla de entrada, hasta la unión con el conducto principal.

Cuando la relación entre las presiones estáticas (PE) de los conductos secundarios más baja y la más alta sea inferior a 0,8, se rediseña ampliando en primer lugar la sección del conducto principal al siguiente diámetro nominal, si no es posible por coste o por límite geométrico. Se amplía la sección del último conducto secundario modificando el caudal. El nuevo caudal se calcula teniendo en cuenta que la pérdida de carga es proporcional a la presión dinámica y por tanto proporcional al cuadrado del caudal, siendo:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{PE_{\text{unión}}}{PE_{\text{calculado en tramo}}}} \quad [25]$$

Cuando la relación entre PEs está entre 0,95 y 1 la corrección es inferior a 2,5% por lo que se desprecia. Dicha diferencia de presiones no se tiene en cuenta y se considera que están equilibrados a la PE correspondiente a la mayor de las dos (PE_{control}).

Si esto no fuera posible, se modifica el diseño de todos los separadores ciclónicos excepto el del último conducto secundario, generando mayor caída de presión.

8.4. Cálculo por método de presión dinámica

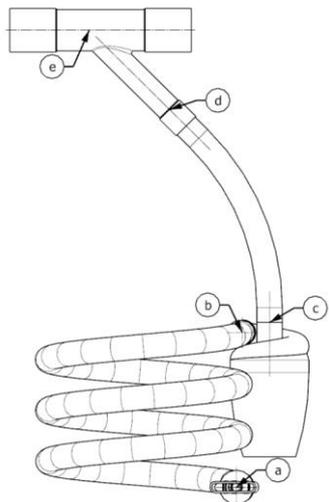
Como ejemplo para el cálculo de la caída de presión del sistema de aspirado centralizado, se usará el caso visto anteriormente de un cliente que desea un sistema con 6 boquillas funcionando simultáneamente con un caudal de 330 m³/h.

8.4.1. Cálculo en conductos secundarios

Se empieza calculando los conductos secundarios, puesto que al conocer el caudal de diseño es posible calcular la presión dinámica y las pérdidas por aceleración de la masa de aire.

Además, todos los conductos secundarios tienen la misma composición. Por lo que la caída de presión en la unión con el conducto general debe ser la misma. Así que, hasta que no se calcule dicha presión, no se puede empezar a calcular el conducto general.

En nuestro ejemplo se usará una boquilla incorporada a un tubo corrugado de 3 metros ($\varnothing 38\text{mm}$) conectado a un separador ciclónico ($\varnothing 38\text{mm}$), de este separador ciclónico saldrá directamente al conducto curvo de 45° ($\varnothing 36\text{mm}$), que irá directamente conectado a la unión ($\varnothing 36\text{mm}$) del conducto general ($\varnothing 105\text{mm}$).



		a-b	b-c	c-d	d-e
		Boquilla + conducto corrugado	Separador ciclónico	Codo 45°	Unión 45°
Caudal	m ³ /s	0,0917	0,0917	0,0917	0,0917
Diámetro de conducto interior	mm	38	38	36	36
Sección de conducto	m ²	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
Velocidad real en conducto	m/s	80,827	80,827	90,057	90,057
Presión Dinámica	mmH ₂ O	388,11	388,11	481,82	481,82
Longitud conducto	m	3		0,45	
Factor de pérdidas conducto recto por metro				0,736	
Factor de pérdidas conducto curvo				0,03	
Factor de pérdidas unión de conductos					0,28
Factor de pérdidas conducto corrugado		1,39			
Pérdidas PE separador ciclónico	mmH ₂ O		834		
Pérdidas PE Colector de polvo general	mmH ₂ O				
Factor de pérdidas entrada boquilla		0,93			
Factor de aceleración 1 ó 0		1			
Pérdidas PE Boquilla	mmH ₂ O	1,93			
Pérdidas en PD		4,17	0,00	0,36	0,28
Perdida de PE en el tramo	mmH ₂ O	1620,37	834,00	173,19	134,91
PE acumulada	mmH ₂ O	-1620,37	-2454,37	-2627,56	-2762,47

Figura 95 Ensamblaje conducto secundario

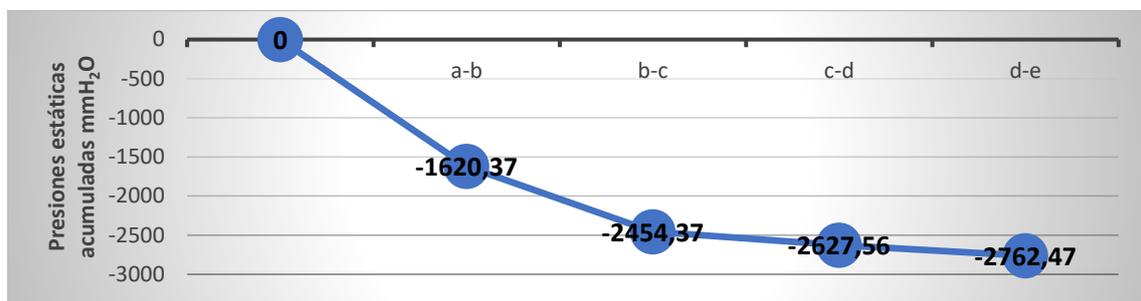


Figura 96 Gráfico de presiones estáticas acumuladas en el conducto secundario

El resultado de la acumulación final de la presión estática (-2762,47 mmH₂O) en el punto f del conducto secundario es el que se reflejará en el apartado “Cálculo del compresor” como presión estática acumulada en cada punto de unión.

Excepto en la unión “A” (Figura 97). En ese punto no se tiene en cuenta el factor de pérdidas por unión de conductos al ser el conducto del extremo y no incorporar el fuljo al general.

8.4.2. Cálculo del compresor

Como se ha visto en las simulaciones realizadas en el apartado “6.4.2. Ejemplo de diseño, simulación y ensamblaje para una ebanistería.” el diámetro nominal para el conducto general seleccionado para un sistema de aspiración centralizada con 6 boquillas es de 110.

Se realizará la instalación con una longitud entre una unión y otra de los conductos secundarios de 1 metro como se ha modelado en la Figura 61.

En último tramo del conducto general, se usarán dos codos de 90° R/D=2 para dirigir el flujo al colector general de polvo con sus respectivos filtros de mangas.

En el tramo de la salida del colector general de polvo al compresor irá otro conducto de DN110 con otro codo de 90° incorporado que dirigirá el conducto a la entrada del compresor.

El compresor contará con un conducto de salida vertical de 1 metro que actuará como una chimenea dejando salir el aire comprimido al exterior.

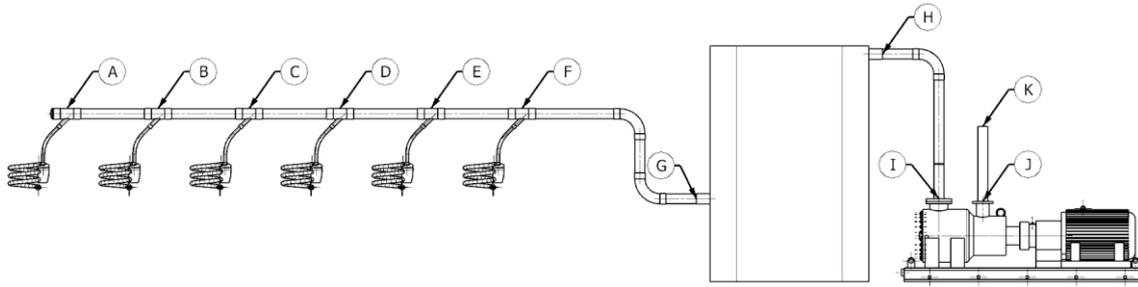


Figura 97 Ensamblaje sistema de aspiración centralizada

		A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	I-J	J-K
		Conducto lineal + 2 codos de 90	Colector de polvo general	Conducto lineal + 1 codos de 90	Compresor	Conducto lineal					
Caudal	m ³ /s	0,0917	0,1833	0,275	0,3667	0,4583	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Diámetro de conducto interior	mm	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Sección de conducto	m ²	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087
Velocidad real en conducto	m/s	10,586	21,173	31,759	42,345	52,931	63,518	63,518	63,518	63,518	63,518
Presión Dinámica	mmH ₂ O	6,66	26,63	59,92	106,53	166,45	239,68	239,68	239,68	239,68	239,68
Longitud conducto	m	1	1	1	1	1	2,69		2,23		1
Factor de pérdidas conducto recto por metro		0,235	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235		0,235		0,235
Factor de pérdidas conducto curvo							0,54		0,27		
Pérdidas PE Colector de polvo general	mmH ₂ O							87,5			
Pérdidas en PD		0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	1,17	0,00	0,79	0,00	0,24
Perdida de PE en el tramo	mmH ₂ O	1,57	6,26	14,09	25,06	39,15	281,14	87,50	190,18	0,00	56,37
PE acumulada	mmH ₂ O	-2643,58	-2768,74	-2782,83	-2807,89	-2847,03	-3128,18	-3215,68	-3405,86		56,37

Tabla 33 Cálculo de presiones del sistema completo

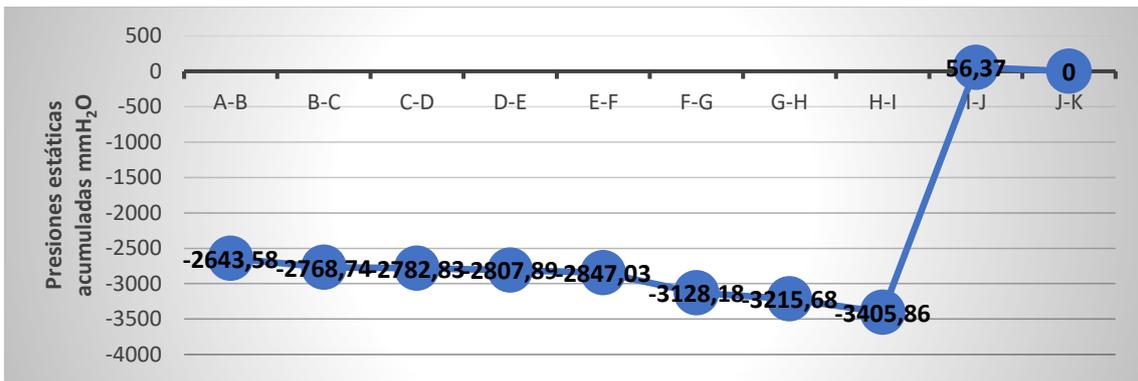


Figura 98 Gráfico de presiones estáticas acumuladas en el sistema

Como se aprecia en la Tabla 33, Tabla 35 y las gráficas de la Figura 96 y Figura 98, los cálculos del sistema de aspiración centralizada (Figura 97) se basan en la compensación de presiones estáticas, es decir, todos los valores de caídas de presión debido a rozamientos, uniones, etc... se expresan como presión estática.

Dicha caída de presión es compensada por el compresor el cual en su hoja técnica vendrá la presión estática capaz de generar.

Algunos fabricantes dan los valores de presiones totales del compresor. En estos casos se debe calcular con la fórmula siguiente:

$$PTC = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada}) [26]$$

La presión estática del compresor (PEC) se define como la diferencia entre la presión total del compresor (PTC) y la presión dinámica de compresor. La presión dinámica del compresor es en función de la velocidad del aire en la salida.

$$PEC = PT_{salida} - PT_{entrada} - PD_{salida} [27]$$

Combinando ambas ecuaciones, tenemos que:

$$PEC = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{salida}) - PD_{salida} [28]$$

Y simplificando:

$$PEC = PE_{salida} + PE_{entrada} - PD_{entrada} [29]$$

Al seleccionar un compresor a partir de los datos del catálogo hay que examinar cómo está expresada la presión del ventilador, si es PEC o PTC. Con este dato se calcula el valor adecuado prestando atención al signo. La presión dinámica (PD) siempre se ilustrará como positiva (+), la $PE_{entrada}$ generalmente será negativa (-) y la PE_{salida} generalmente positiva (+).

Sustituyendo valores en la ecuación 29:

$$PEC = 56,37 - (-3405,86) - 239,68 = \mathbf{3222,55 \text{ mmH}_2\text{O}} [30]$$

$$Q = \mathbf{1980 \text{ m}^3/\text{h}}$$

8.5. Diseño final y consulta fabricación

Con los requisitos obtenidos en el apartado anterior, se procede a la búsqueda mediante proveedores de compresores que ofrezcan bombas que cumplan con estos requisitos.

Buscando en la web de un fabricante de bombas centrífugas multietapas (Hoffman & Lamson) se ha encontrado una bomba que cumple con los requisitos demandados. Ver Figura 99.



• Hoffman 42

- Caudal de entrada: 170 a 2630 m³/h (100 a 1550 CFM)
- Presión de descarga: 0,05 a 1 bar g (0,75 a 15 psig)
- Rango de vacío: 50 a 510 mbar (1,5 a 15 inHg)

Figura 99 Compresor seleccionado

Se puede apreciar, además, en la gráfica ofrecida por el fabricante (Figura 100), que el caudal requerido se encuentra en el tercio medio de la columna de caudales, que es donde se encuentra generalmente el mayor rendimiento mecánico a una presión dada.

Multistage Centrifugal Blowers / Exhausters Medium Flow Models | 5" to 12" (20.3 to 30.5 cm)

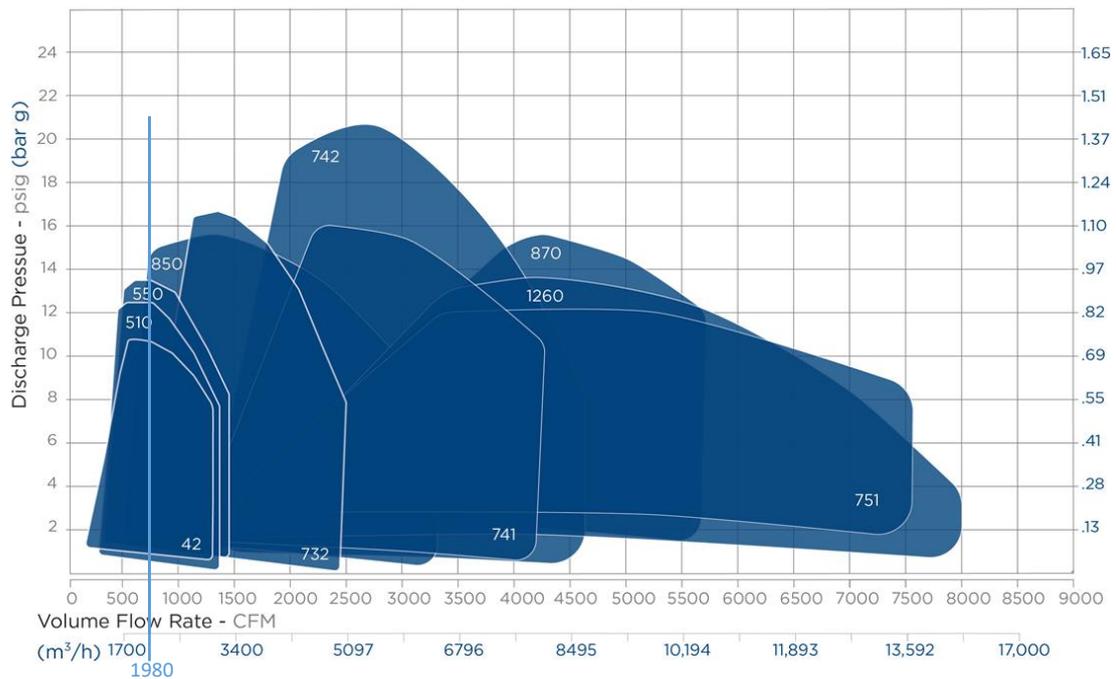


Figura 100 Características técnicas de los productos ofertados por Hoffman and Lamson con las líneas trazadas del motor que se busca para el ejemplo visto anteriormente.

En los documentos técnicos descargables de la web, no hace mención a la potencia, rendimiento o curva característica. De cualquier forma, con los datos obtenidos en los cálculos, es posible estimar a partir de un hipotético rendimiento del 100% cuántos CV de potencia debería tener la máquina para tener una posible estimación.

$$\eta = \frac{Q \cdot PTC}{FC \cdot W} = \frac{Q \cdot (PEC + PD_{salida})}{FC \cdot W} \rightarrow W = \frac{Q \cdot (PEC + PD_{salida})}{FC \cdot \eta} \quad [26]$$

η = Rendimiento mecánico.

Q= caudal. (m³/s)

PTC= Presión total del compresor. (mm H₂O)

PTV= Presión estática del compresor. (mm H₂O)

W= Potencia consumida. CV

FC= Factor de conversión. (75)

Sustituyendo en ecuación 26 los valores obtenidos en la Tabla 33 Cálculo de presiones del sistema completo:

$$\frac{0,55 \cdot (3222 + 239)}{75 \cdot 1} = 25,38 \text{ CV} \quad [27]$$

9. Presupuesto

9.1. Presupuesto del trabajo del diseño y cálculo

En este apartado se evalúan los costes derivados del software empleado y del tiempo de dedicación por parte del proyectista para su elaboración.

El proyectista ha necesitado hacer uso de software de hojas de datos y de diseño asistido por ordenador.

La licencia del software de cálculo viene incluida en la matricula del proyectista como alumno perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia. Por lo que su coste real es desconocido.

La licencia del software de diseño de Siemens NX con todos los módulos (Incluido NX CAE NASTRAN) para empresas emergentes tiene un coste de 470€ al mes.

Por otro lado, un ingeniero capaz de realizar las tareas de diseño puede tener un salario de 15,6 €/h. Si se tiene en cuenta que el proyectista le ha dedicado 5h de trabajo diarias. El resultado del salario mensual resulta de 1716 € al mes.

Teniendo en cuenta que el tiempo empleado para la realización del trabajo ha sido de 3 meses.

	Coste mensual	Coste total (3 meses)
Software	470€	1.410 €
Honorarios	1716€	5.148 €
	TOTAL	6.558 €

Tabla 34 Costes derivados del diseño y cálculos

9.2. Componentes de distribución

Como se ha mencionado, el diseño final e instalación dependerá de muchos factores, por lo que se tratará de adaptar el diseño a la demanda del cliente y condiciones ambientales del lugar donde se vaya a realizar la instalación.

Sin embargo, con lo visto en el apartado anterior se tratará de sacar una lista de componentes necesarios para la fabricación de cualquier sistema de distribución. Esta lista vendrá acompañada con el nombre de empresa del proveedor con el que se ha contactado previamente y consultado precio unitario de fabricación de cada componente.

Nombre	Fabricante/Proveedor	Unidades	Precio/unidad
Tubería acero galvanizado DIN 32	Grupo Almesa	m	7,39 €
Tubería acero galvanizado DIN 40	Grupo Almesa	m	9,12 €
Tubería acero galvanizado DIN 50	Grupo Almesa	m	11,78 €
Tubería acero galvanizado DIN 63	Grupo Almesa	m	15,81 €
Tubería acero galvanizado DIN 75	Grupo Almesa	m	19,88 €
Tubería acero galvanizado DIN 90	Grupo Almesa	m	25,16 €
Tubería acero galvanizado DIN 110	Grupo Almesa	m	32,11 €
Tubería acero galvanizado DIN 125	Grupo Almesa	m	37,03 €
Tubería acero galvanizado DIN 140	Grupo Almesa	m	41,65 €
Tubería acero galvanizado DIN 160	Grupo Almesa	m	47,42 €
Unión PVC 40/40/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	2,36 €
Unión PVC 50/50/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	3,47 €
Unión PVC 50/50/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	3,86 €
Unión PVC 63/63/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	7,93 €
Unión PVC 63/63/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	8,81 €
Unión PVC 63/63/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	9,79 €
Unión PVC 75/75/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	14,70 €
Unión PVC 75/75/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	16,33 €
Unión PVC 75/75/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	18,14 €
Unión PVC 90/90/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	28,07 €
Unión PVC 90/90/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	31,19 €
Unión PVC 90/90/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	34,66 €
Unión PVC 110/110/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	52,77 €
Unión PVC 110/110/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	58,64 €
Unión PVC 110/110/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	65,15 €
Unión PVC 125/125/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	76,44 €
Unión PVC 125/125/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	84,94 €
Unión PVC 125/125/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	94,37 €
Unión PVC 140/140/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	104,52 €
Unión PVC 140/140/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	116,14 €
Unión PVC 140/140/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	129,04 €
Unión PVC 160/160/32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	148,82 €
Unión PVC 160/160/40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	165,36 €
Unión PVC 160/160/50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	183,73 €
Codo 45º DIN 32 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	1,45 €
Codo 45º DIN 40 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	1,91 €
Codo 45º DIN 50 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	2,90 €
Codo 45º DIN 63 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	4,66 €

Codo 45º DIN 75 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	8,32 €
Codo 45º DIN 90 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	18,51 €
Codo 45º DIN 110 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	32,96 €
Codo 45º DIN 125 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	65,33 €
Codo 45º DIN 140 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	68,83 €
Codo 45º DIN 160 R/D=10	Plásticos Albors S.L.	Unidad	78,92 €
Codo 90º DIN 32 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	1,93 €
Codo 90º DIN 40 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	2,54 €
Codo 90º DIN 50 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	3,86 €
Codo 90º DIN 63 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	6,21 €
Codo 90º DIN 75 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	11,09 €
Codo 90º DIN 90 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	24,68 €
Codo 90º DIN 110 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	43,94 €
Codo 90º DIN 125 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	87,10 €
Codo 90º DIN 140 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	91,77 €
Codo 90º DIN 160 R/D=2	Plásticos Albors S.L.	Unidad	105,22 €
Tapa Punto de acceso DIN 32	Plásticos Albors S.L.	Unidad	1,05 €
Tapa Punto de acceso DIN 40	Plásticos Albors S.L.	Unidad	1,37 €
Tapa Punto de acceso DIN 50	Plásticos Albors S.L.	Unidad	1,60 €
Tapa Punto de acceso DIN 63	Plásticos Albors S.L.	Unidad	2,85 €
Tapa Punto de acceso DIN 75	Plásticos Albors S.L.	Unidad	4,61 €
Tapa Punto de acceso DIN 90	Plásticos Albors S.L.	Unidad	5,24 €
Tapa Punto de acceso DIN 110	Plásticos Albors S.L.	Unidad	6,12 €
Tapa Punto de acceso DIN 125	Plásticos Albors S.L.	Unidad	7,50 €
Tapa Punto de acceso DIN 140	Plásticos Albors S.L.	Unidad	8,75 €
Tapa Punto de acceso DIN 160	Plásticos Albors S.L.	Unidad	10,00 €
Conjunto de soportes por cada metro	Walraven	m	25 €
Separador ciclónico (Pieza superior de ABS) M40	Mainva S.L.	Unidad	30 €
Separador ciclónico (Pieza superior de ABS) M50	Mainva S.L.	Unidad	34 €
Separador ciclónico (Pieza superior de ABS) M63	Mainva S.L.	Unidad	39 €
Separador ciclónico (Pieza inferior acero) M40	Tei Nogal S.L.	Unidad	20 €
Separador ciclónico (Pieza inferior acero) M50	Tei Nogal S.L.	Unidad	24 €
Separador ciclónico (Pieza inferior acero) M63	Tei Nogal S.L.	Unidad	29 €
Abrazadera de palanca cierre del separador ciclónico	RS PRO	Unidad	4,50 €
Tubo corrugado 38 mm interior	LAVARTE	m	4,16 €
Tubo corrugado 50 mm interior	LAVARTE	m	7,84 €
Boquilla 38	LAVARTE	Unidad	2,83 €
Boquilla 50	LAVARTE	Unidad	3,14 €

Tabla 35 Conjunto de componentes

9.3. Colector de polvo general

9.3.1. Filtros de mangas

Como se ha visto en el apartado del Diseño de filtro de mangas, el proveedor escogido ofrece unos filtros de mangas a un determinado tamaño con su respectivo precio como se aprecia en la Tabla 36.

		Alturas disponibles h (mm)				
		850	1000	1300	1500	2000
Diámetros disponibles Ø (mm)	500	26 €	30 €	-	35 €	-
	530	-	-	-	40 €	-
	550	-	34 €	-	40 €	54 €
	600	-	-	45 €	-	58 €

Tabla 36 precios publicados de filtros de mangas y variantes disponibles

Se ha de multiplicar el número de mangas necesario por el valor del filtro seleccionado. Además, a esto hay que sumar otros costes derivados de la fabricación del colector de polvo general.

9.3.2. Fabricación del colector de polvo general

La fabricación del módulo se hará mediante chapas de acero cortadas mediante laser y dobladas mediante plegadoras.

El contenedor de ABS se solicitará al mismo proveedor que fabricará la parte superior del separador ciclónico.

Nombre	Coste
Fabricación módulo	800,00 €
Contenedor ABS	60,00 €
Ruedas giratorias de goma	4,00 €

Tabla 37 Precio del coste de la fabricación del módulo del colector de polvo general

9.4. Compresor

El compresor, como se ha visto hasta ahora, se seleccionará por la presión que se necesita. En este trabajo se usará sólo compresores multietapa centrífugos descartando el resto de los tipos de compresor porque se necesitarían muchos para satisfacer la demanda, además de que su instalación necesitaría un proceso de cálculo que sale del alcance de este documento.

Nombre	Fabricante/Proveedor	Unidades	Precio/unidad
Compresor centrífugo 10 CV	Hoffman	Unidad	4.407,13 €
Compresor centrífugo 15 CV	Hoffman	Unidad	5.207,93 €
Compresor centrífugo 20 CV	Hoffman	Unidad	5.776,68 €
Compresor centrífugo 25 CV	Hoffman	Unidad	5.983,25 €
Compresor centrífugo 30 CV	Hoffman	Unidad	10.208,38 €

Tabla 38 Lista de compresores y sus respectivos precios

9.5. Presupuesto total de un sistema de aspiración centralizada para que trabajen 6 operadores simultáneamente

Lo primero que se necesita es realizar un prediseño a partir de otros diseños previos y ajustarlo rápidamente cambiando los parámetros en una hoja de cálculo, simular los resultados y calcular la caída de presiones con un conjunto de tablas experimentales creadas con la experiencia previa.

	Horas	Precio unidad	Subtotal
Rediseño y simulaciones	12	15,60 €	187 €
Licencia software	48	0,65 €	31 €
		Total	219 €

Tabla 39 Costes derivados del rediseño

Después se elabora una lista con los componentes necesarios

Componentes	Unidades	Coste unitario	Subtotal
Compresor	1	5.983,25 €	5.983,25 €
Conducto lineal M110 (m)	9	32,11 €	288,99 €
Fabricación del colector de polvo general	1	1.116 €	1.116,00 €
Fabricación del separador ciclónico	6	50 €	300,00 €
Conducto curvo 90º (R/DN=2)	3	43,94 €	131,82 €
Conducto curvo 45º (R/DN=10)	6	1,91 €	11,46 €
Unión (110/110/40)	6	58,64 €	351,84 €
Conducto corrugado (m)	18	4,16 €	74,88 €
Boquilla	6	2,83 €	16,98 €
Tapa punto de acceso DN110	1	6,12 €	6,12 €
Conjunto de soportes por cada metro	6	25 €	150 €
		Total	8.431,34 €

Tabla 40 Costes de componentes

El proceso de transporte e instalación tiene un coste adicional que resulta:

Componentes	Unidades	Coste unitario	Subtotal
Mano de obra operario 1	16	12 €	192 €
Mano de obra operario 2	16	10 €	160 €
Transporte	1	200 €	200 €
		Total	552 €

Tabla 41 Costes derivados de la mano de obra y transporte

Por lo que el coste total para fabricar e instalar un sistema de aspiración centralizada para que trabajen 6 operadores simultáneamente resulta de:

Prediseño	Componentes	Instalación	Total
219 €	8.281,34 €	552 €	9.201,87 €

Tabla 42 Coste total de la fabricación e instalación.

10. Pliego de condiciones

10.1. Pliego De Condiciones General

El pliego de condiciones general regula la ejecución del proyecto a nivel técnico y el procedimiento a seguir durante la realización de este para asegurar los niveles de calidad descritos en la memoria y planos.

10.2. Objeto Del Presente Proyecto

El objetivo del presente pliego de condiciones técnicas hace referencia a los requisitos necesarios para la ejecución del proyecto de diseño de los componentes del sistema de aspiración centralizado: Separador Ciclónico y Colector General de diseño y fabricación propios.

Para la correcta ejecución del proyecto se deben seguir las especificaciones técnicas descritas en la memoria, anexos y planos, debiendo aplicar los requerimientos descritos en el presente documento. En este documento además se describe la relación y la correcta línea de trabajo a seguir durante la ejecución de las tareas descritas en la memoria.

10.3. Condiciones De Los Materiales Y Ejecución

10.3.1. Separador ciclónico

10.3.1.1. General

La fabricación de la parte superior del separador ciclónico (La parte donde se sitúa el conducto centrífugo) se realizará mediante ABS con impresora 3D que permitirá la modificación de cualquier elemento del diseño sin necesidad de uso de moldes.

A esta fabricación se le adicionará tres piezas metálicas (acero inoxidable) con una separación de 120º que actuará de fijación de la abrazadera lineal metálica. Esta pieza se fijará con remaches sellados.

El material para la fabricación de la parte inferior del separador ciclónico (el contenedor de residuos) se realizará de acero inoxidable. Y se confeccionará con una extrusora a un molde.

Ambas piezas tendrán un cierre estanco de goma en su unión.

10.3.1.2. Control de calidad

Tras el proceso de fabricación, cada pieza fabricada se medirá y se ensamblará con la finalidad de:

- Comprobar la conformidad del producto con respecto a las especificaciones de diseño de este.

- Identificar las causas de la variabilidad para establecer métodos de corrección y de prevención, y para lograr que los productos fabricados respondan a las especificaciones de diseño.

Posteriormente a esto, se realizará una prueba de estanqueidad. Para ello se obstruirá uno de los dos orificios y se incorporará una tapa con manómetro incluido en el otro orificio.

10.3.1.3. Pruebas y ajustes finales

Por último, para medir las pérdidas de presión, se medirá la presión estática y dinámica en la inmediación de ambos orificios de salida y entrada. La suma de las presiones dinámicas y estáticas otorgará la total. Y la diferencia de la presión total en la salida y entrada revelará la pérdida de presión real del separador ciclónico.

10.3.2. Colector General de Polvo

10.3.2.1. General

La fabricación del colector general de polvo vendrá condicionada como se ha visto en el apartado “Diseño del colector de polvo” por el caudal de aspiración que ejerza el compresor.

Se fabricará la chapa metálica perforada de acero inoxidable y se dará forma con corte de láser.

La estructura se construirá en acero inoxidable y se perfilará también con una cortadora laser y se plegará para hacer la forma de prisma con una plegadora.

La chapa interna que separa el espacio del cajón de polvo con la parte inferior de la chapa perforada se fabricará de la misma forma. Es decir, de acero inoxidable con corte por láser.

Todas estas piezas mencionadas se unirán mediante cordón de soldadura.

Por otro lado, se fabricará la tapa de registro también de acero inoxidable y se cortará mediante cortadora laser.

Ésta tapa incorporará un sellante en los bordes que evitarán fugas de aire y pérdida de eficiencia del sistema.

La tapa de registro se cerrará mediante tornillos con muelle de extracción rápida.

Para los anclajes de las tuberías de entrada y salida se realizará la perforación pertinente en la fabricación del módulo en el proceso de cortadora laser y se soldarán tubos seccionados a los que se les creará una rosca externa.

10.3.2.2. Control de calidad

Tras el proceso de fabricación, cada pieza fabricada se medirá y se ensamblará con la finalidad de:

- Comprobar la conformidad del producto con respecto a las especificaciones de diseño de este.

- Identificar las causas de la variabilidad para establecer métodos de corrección y de prevención, y para lograr que los productos fabricados respondan a las especificaciones de diseño.

Posteriormente a esto, se realizará una prueba de estanqueidad. Para ello se obstruirá uno de los dos orificios y se incorporará una tapa con manómetro incluido en el otro orificio.

10.3.2.3. Pruebas y ajustes finales

Por último, para medir las pérdidas de presión, se medirá la presión estática y dinámica en la inmediación de ambos orificios de salida y entrada. La suma de las presiones dinámicas y estáticas otorgará la total. Y la diferencia de la presión total en la salida y entrada revelará la pérdida de presión real del colector general.

10.3.3. Ensamblaje del sistema de aspiración centralizada

10.3.3.1. General

Con todos los componentes reunidos para el ensamblaje del sistema diseñado de aspiración centralizada, ver Tabla 35 Conjunto de componentes. Se procede al ensamblaje del sistema.

Lo primero que se debe realizar es la instalación del suministro trifásico al lugar donde se aloje el compresor multietapa.

Tras verificar que la instalación eléctrica está correctamente instalada se procede a la colocación del compresor que irá atornillado al terreno. Tras lo cual, se realizará una prueba de funcionamiento.

Se instalan los conductos que direccionan el caudal de aspiración a la posición donde se desea que se instale el colector general de polvo.

Seguidamente de esto, se sitúa el colector general de polvo en la ubicación destinada y se conecta al conducto que dirigirá el caudal al compresor.

Se colocan entonces los filtros de mangas en las bocas de la chapa perforada, se añade el cajón recolector de polvo y se cierra el registro con los tornillos de cierre rápido con muelle y se hace una prueba de estanqueidad con el compresor conectado en la salida del colector general y un manómetro en la tapa de la entrada de dicho colector.

Tras la comprobación del correcto funcionamiento, se procede al ensamblaje del conducto general.

Para la instalación del conducto general, se colocarán los soportes en cada uno de los extremos de cada conducto lineal. Por lo que se deberán colocar éstos donde correspondan previamente.

Se instala dicho conducto general con las uniones en dirección a tierra. Esto es importante para evitar obstrucciones.

Por último, se conectarán al conducto general cada uno de los conductos secundarios en la posición correspondiente con su respectivo separador ciclónico si así hiciese falta.

Para terminar, se instalará los conductos corrugados al extremo libre del conducto secundario.

10.3.3.2. Control de calidad

Tras el proceso de instalación, se realizará una prueba de estanqueidad. Para ello se obstruirán los orificios de entrada de las terminaciones de los conductos secundarios incorporando una tapa con manómetro incluido en cada otro orificio.

10.3.3.3. Pruebas y ajustes finales

Por último, para medir las pérdidas de presión, se medirá la presión estática y dinámica en la inmediación de la entrada de aire del compresor y en la salida de todos los conductos secundarios. La suma de las presiones dinámicas y estáticas otorgará la total. Y la diferencia de la presión total en la salida y entrada revelará la pérdida de presión real del colector general.

11. Bibliografía

11.1. Libros

- A J M Spencer, 1980. Continuum Mechanics. Londres: Longman Mathematical Texts.
- Zienkiewicz O. y Zhu, J., 1987. A simple error estimator and adaptive procedure for practical engineering analysis. International Journal for Numerical Methods in Engineering, tomo 24. pag: 337–357.
- Oñate, E., 1995. Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis estático lineal. CIMNE. Segunda edición
- George, P.L., 1991. Automatic Mesh Generation. Application to Finite Element Methods. Wiley.
- Committee on Industrial Ventilation, 1988. Industrial Ventilation. Lansing. Michigan 48901 USA. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Versión traducida por la Generalitat Valenciana, 1992

11.2. Páginas web

World Health Organization - Ambient (outdoor) air pollution:

[https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (15/08/20)

VAC-U-MAX: Pipe and Tubing Central Vacuum Systems Installation Best Practices (PDF)

<https://www.vac-u-max.com/docs/VAC-U-MAX%20Piping%20Network%20Best%20Practices.pdf> (19/07/20)

Pre y postprocesador gmsh

<http://geuz.org/gmsh/> (10/08/20)

Scientific Applications on Linux (Discrete Methods & Related Tools):

<http://ceu.fi.udc.es/SAL/index.shtml> (10/08/20)

Meshing Research Corner

<http://www.andrew.cmu.edu/user/sowen/mesh.html> (10/08/20)

Pre y postprocesador GID

<http://gid.cimne.upc.es> (10/08/20)

Generador de mallas EMC2

<http://www-rocq1.inria.fr/gamma/cdrom/www/emc2/eng.htm> (10/08/20)

- Proveedor de filtros de mangas: <https://mercaspiracion.com/34-filtros> (20/08/20)

- Proveedor de compresores centrífugos multietapa: <https://www.gardnerdenver.com/es-es/hoffmanandlamson/products/centrifugal-blowers-exhausters/multistage-centrifugal/medium-inlet/medium-flow-inlet-blowers-and-exhausters> (02/09/20)

12. Anexos

12.1. Anexo 1: Capturas simulaciones de flujo del sistema completo

Modelo de diseño descartado: Sección del conducto general DN90 demasiado pequeño. Demasiada inestabilidad.

Nº Conductos secundarios	6
Distancia entre conductos secundarios	1 m
∅ Conductos secundarios	38 mm
Longitud conducto corrugado	3 m
Sección boquilla	1078,26 mm ² – 0,0011 m ²
Caudal total en la salida del conducto general	330 m ³ /h
∅ Salida conducto general	85 mm
Tamaño mallado	5 mm

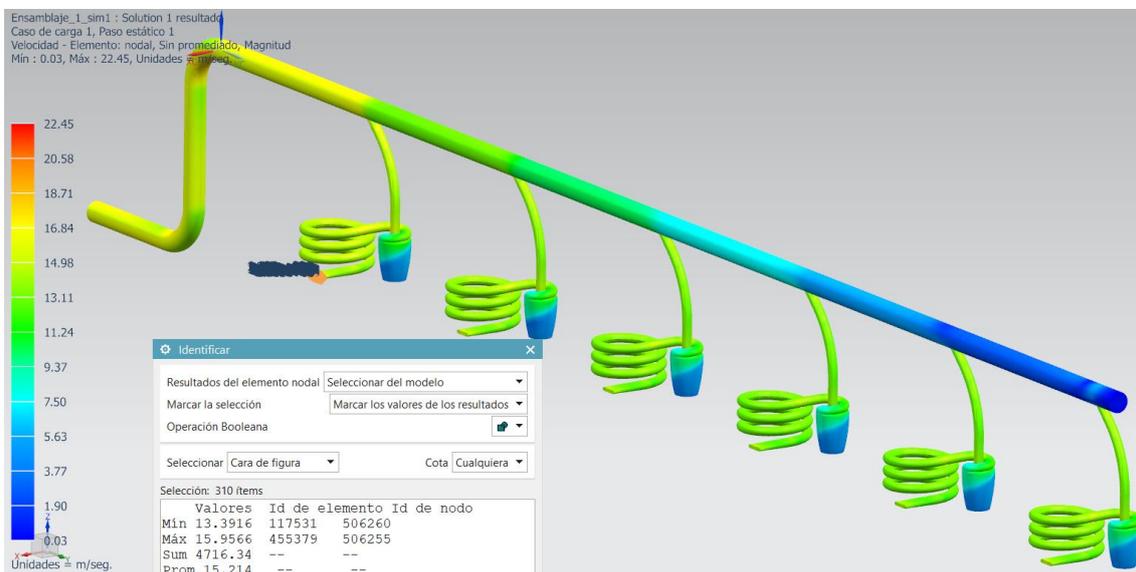


Figura 101 Gradiente de velocidades DN 90. Lectura de la velocidad en la entrada 1: 15,21 m/s

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	15,21	14,57	14,17	13,99	14,02	14,27

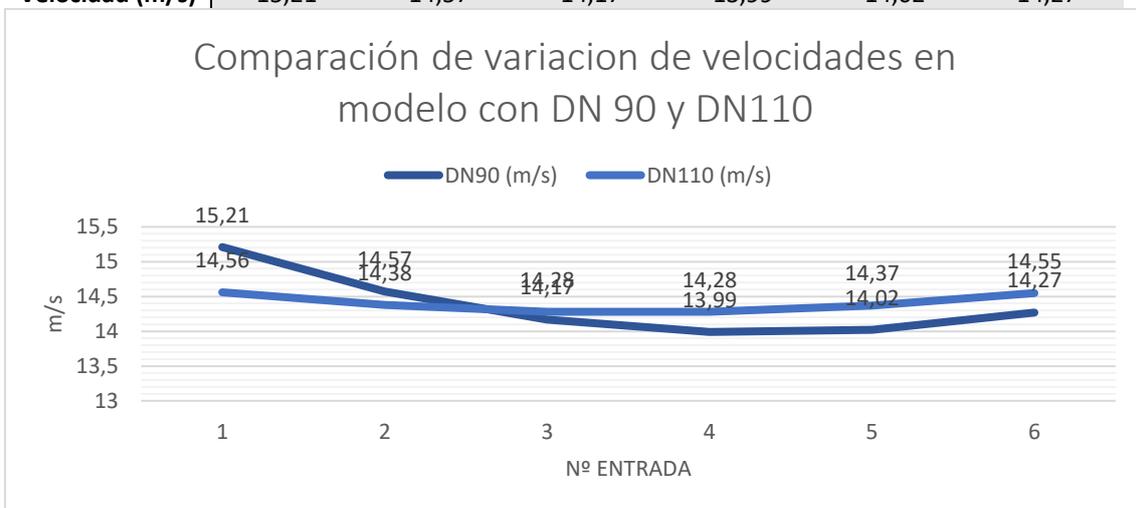


Figura 102 Gráfica con la comparación de velocidades entre las velocidades del modelo DN90 y DN110.

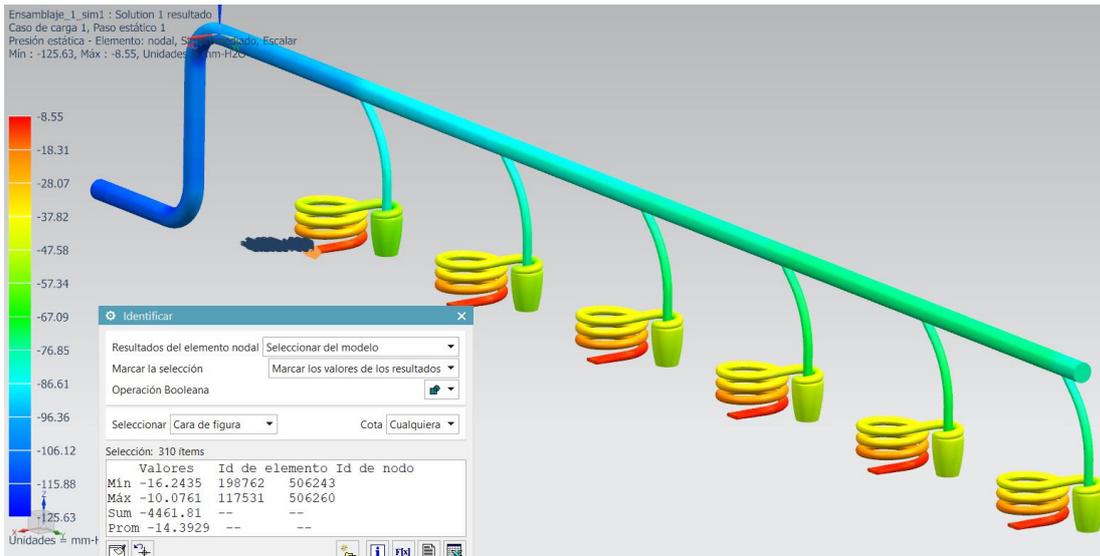


Figura 103 Presiones estáticas del modelo DN90. Lectura de la velocidad en la entrada 1: -14,39 mmH₂O

Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-14,39	-13,2	-12,48	-12,17	-12,19	-12,65

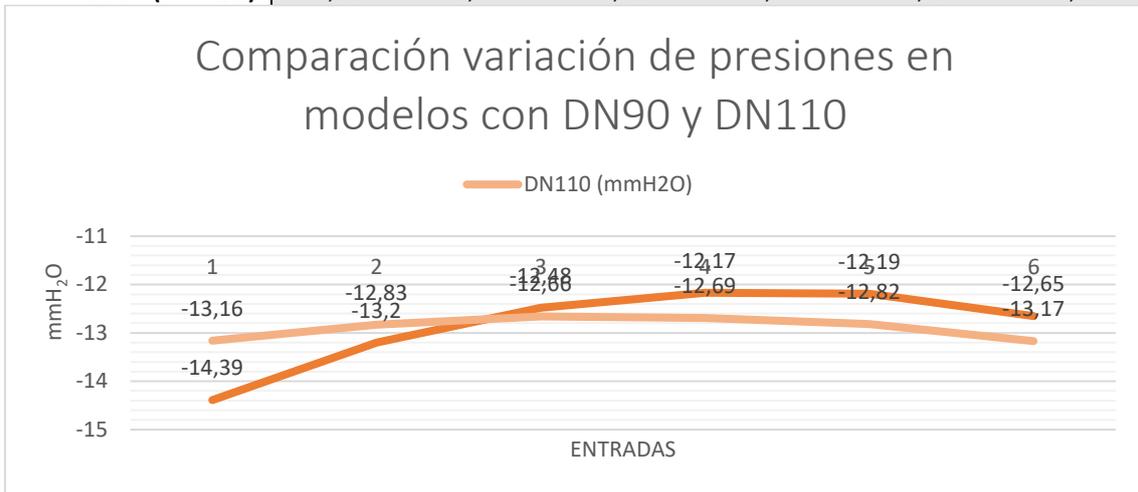


Figura 104 Grafica comparación de presiones estáticas en modelos DN90 y DN110.

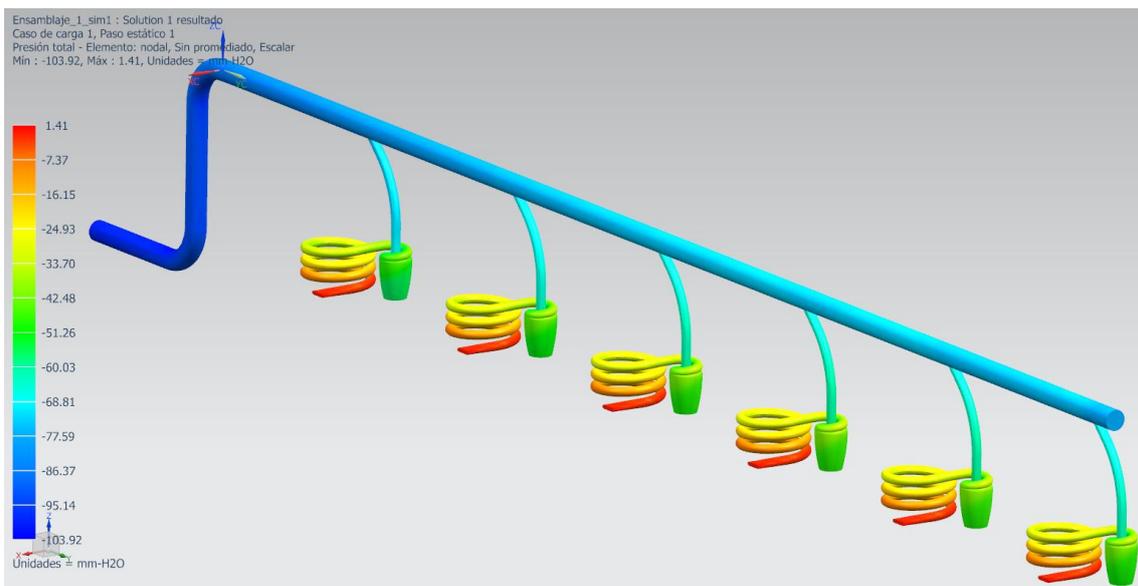
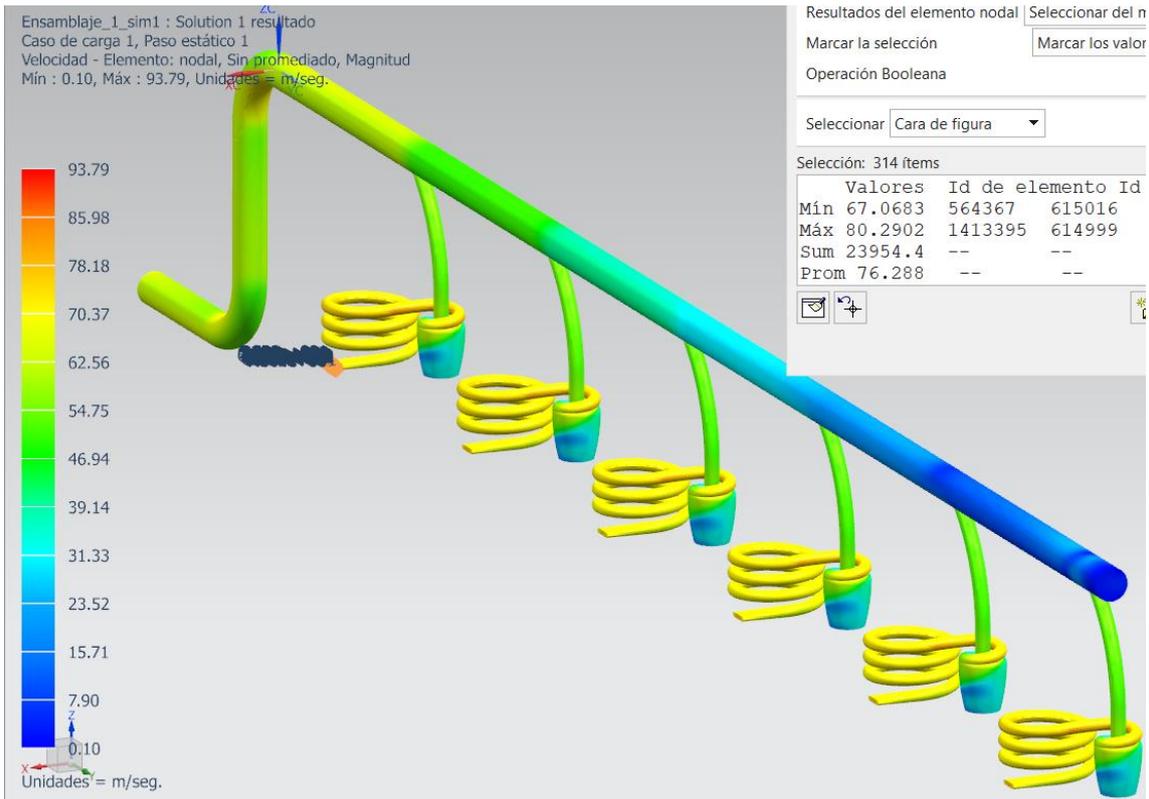
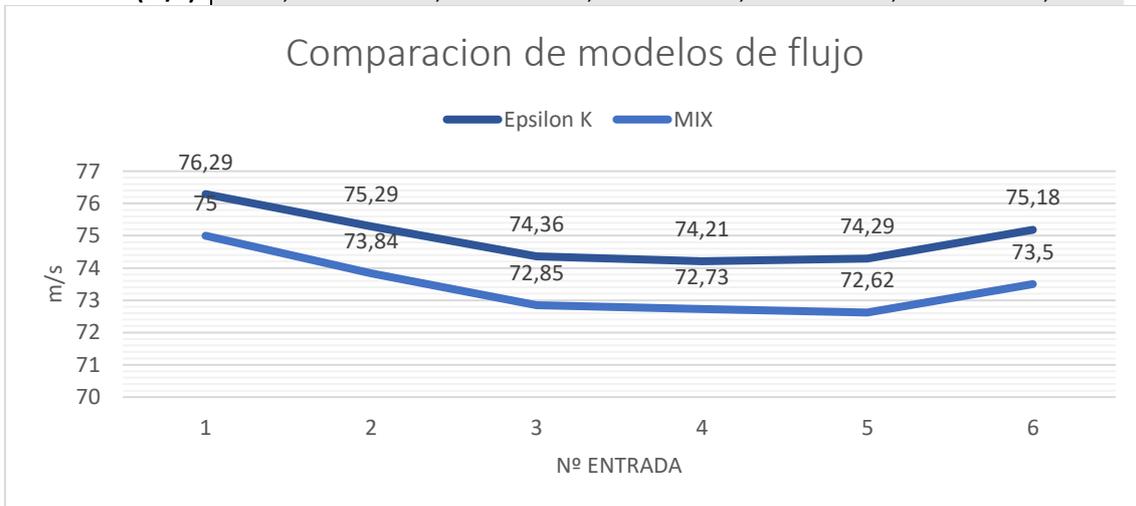


Figura 105 Gradientes de presiones totales del modelo DN90.

Modelo de turbulencia EpsilonK



Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	76,29	75,29	74,36	74,21	74,29	75,18



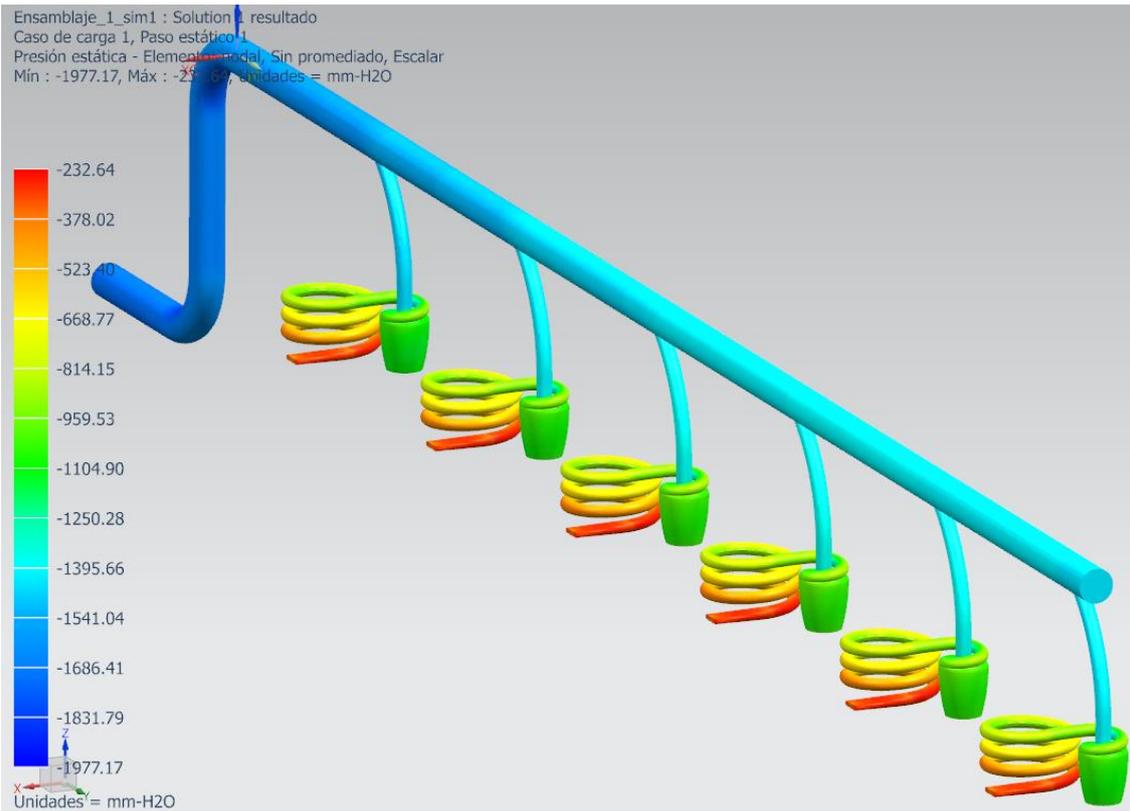
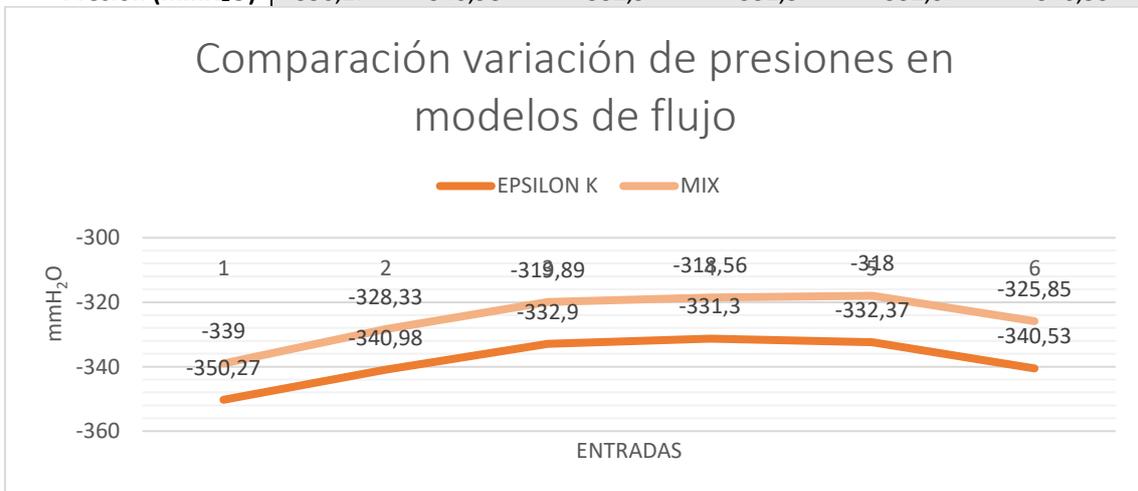
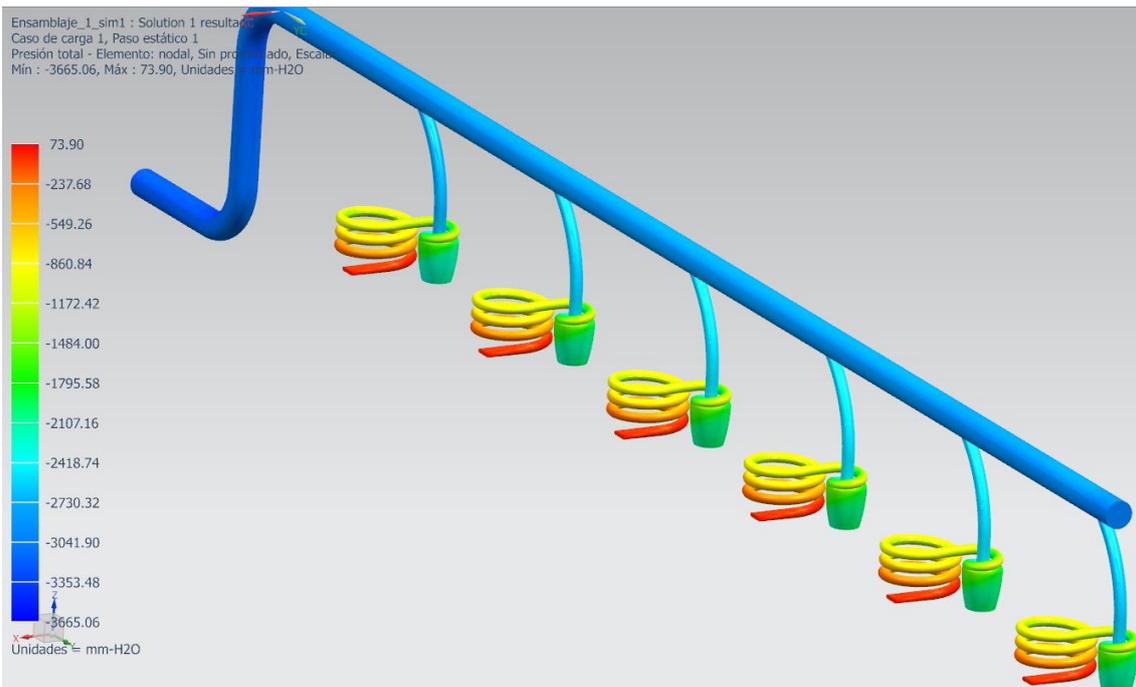
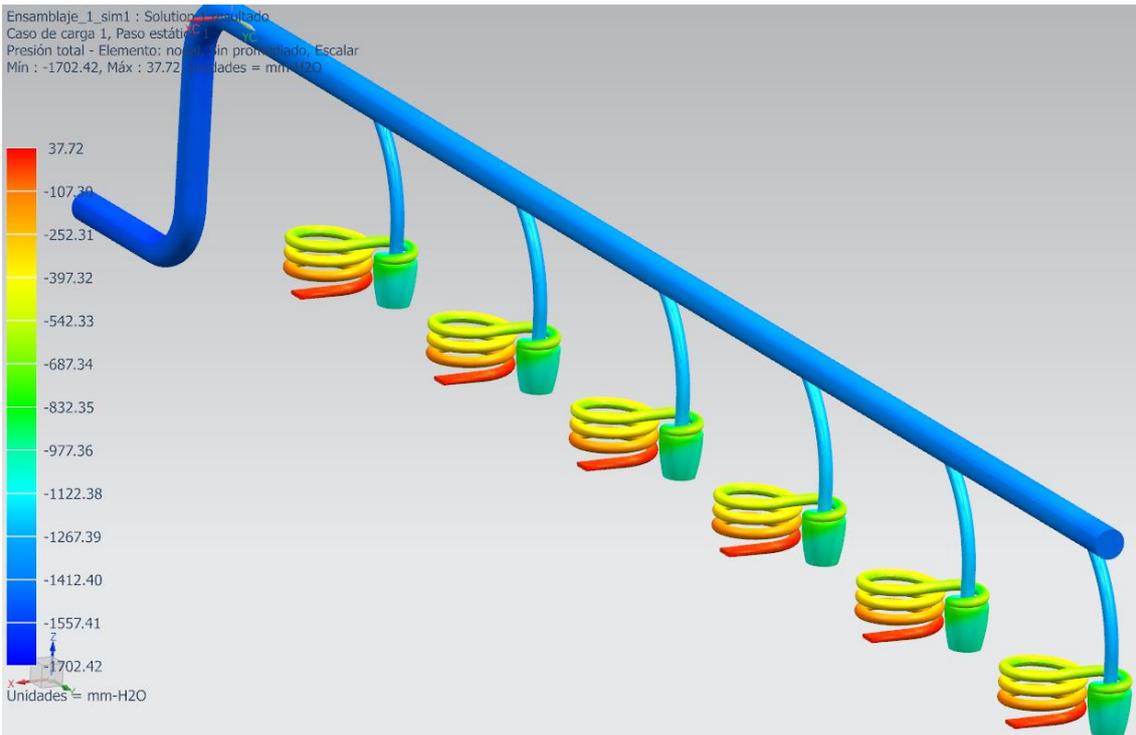
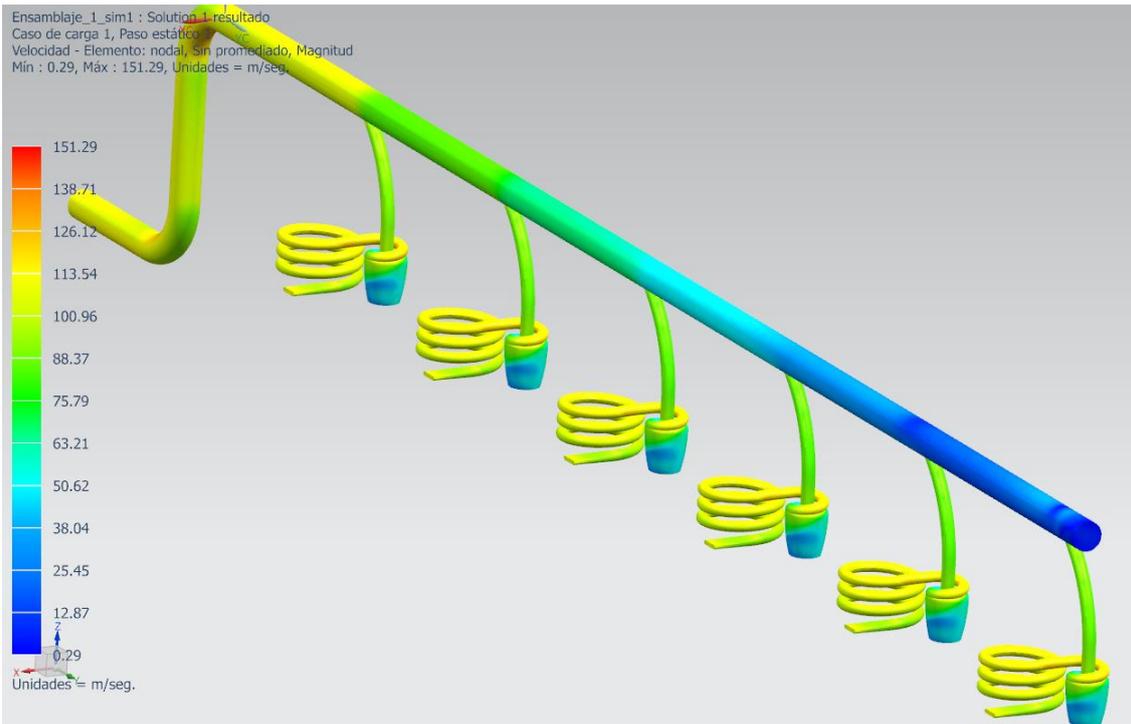


Figura 106 Presiones estáticas del modelo DN90. Lectura de la velocidad en la entrada 1: -14,39 mmH₂O

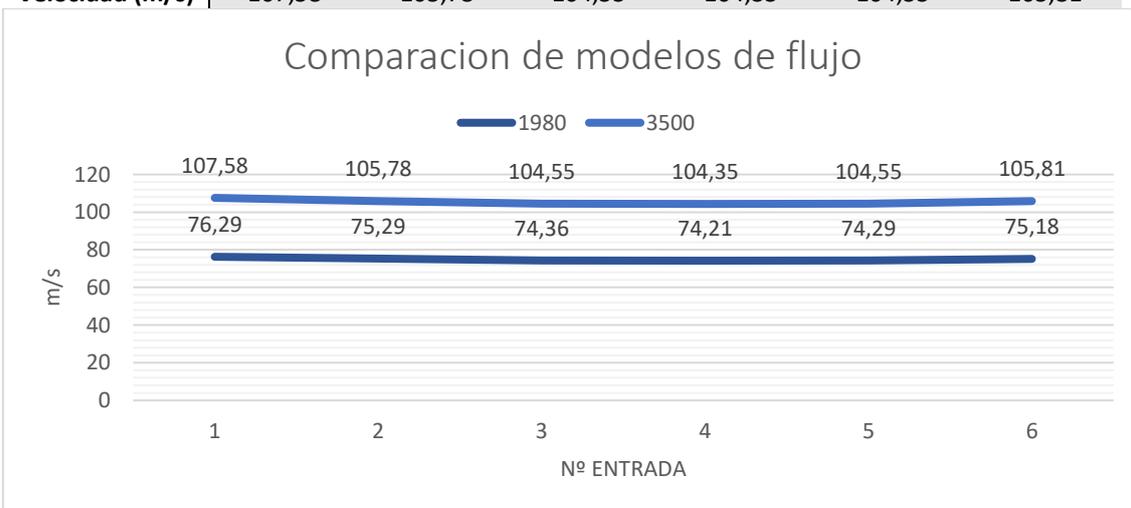
Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-350,27	-340,98	-332,9	-331,3	-332,37	-340,53

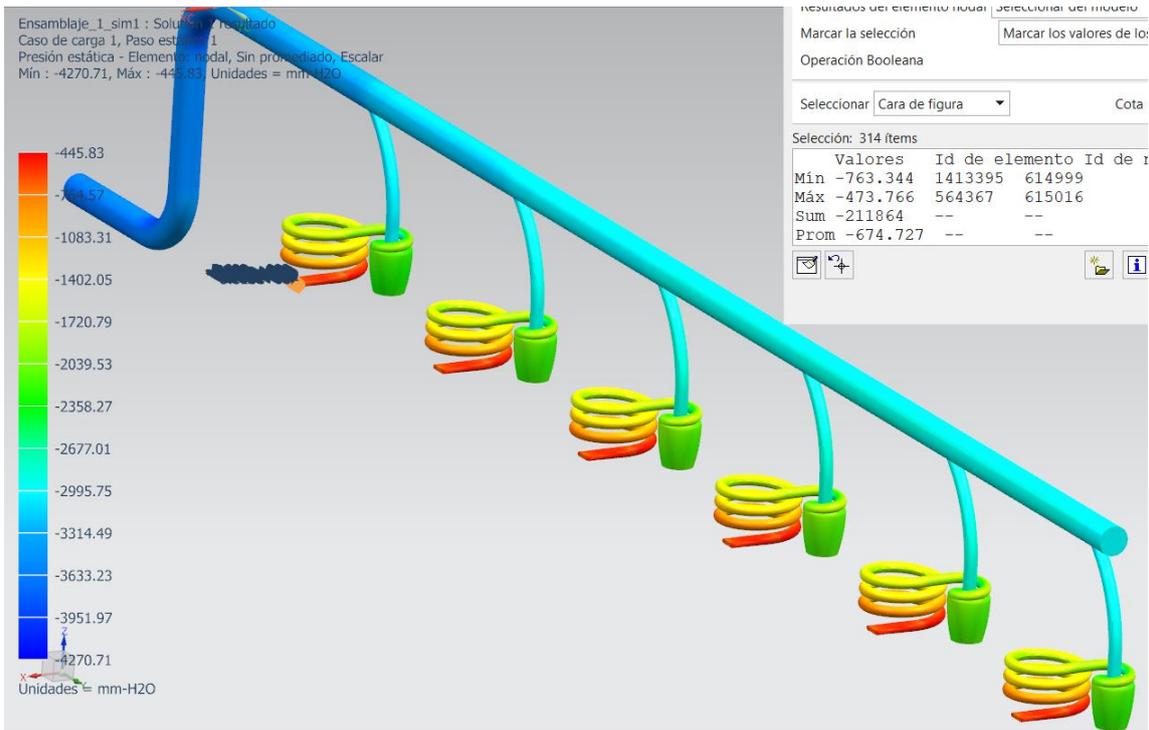




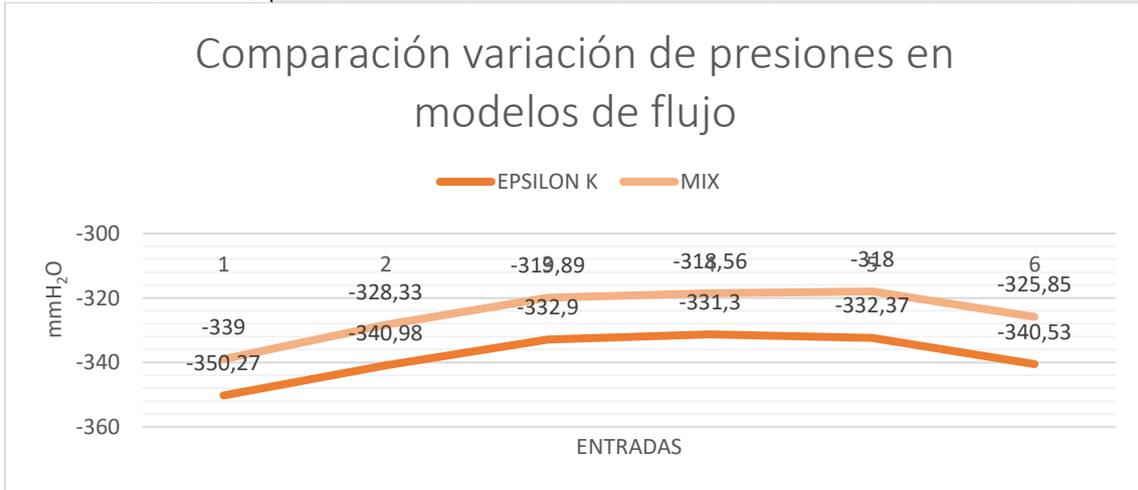


Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Velocidad (m/s)	107,58	105,78	104,55	104,35	104,55	105,81

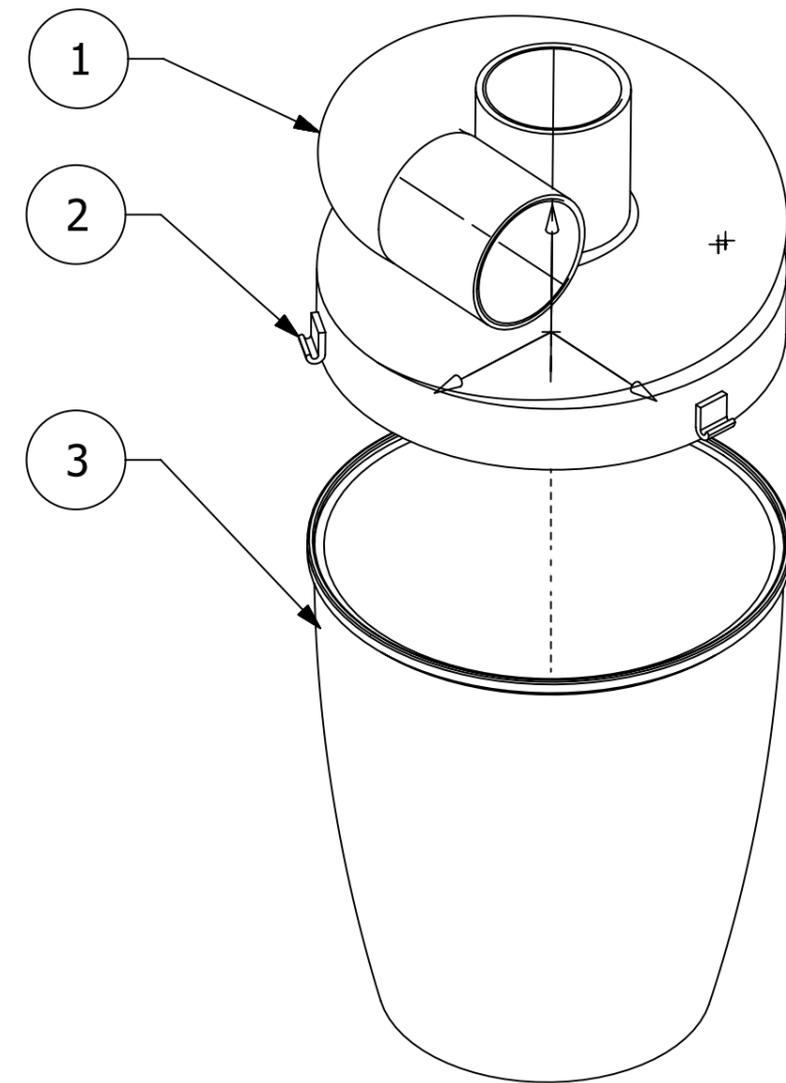
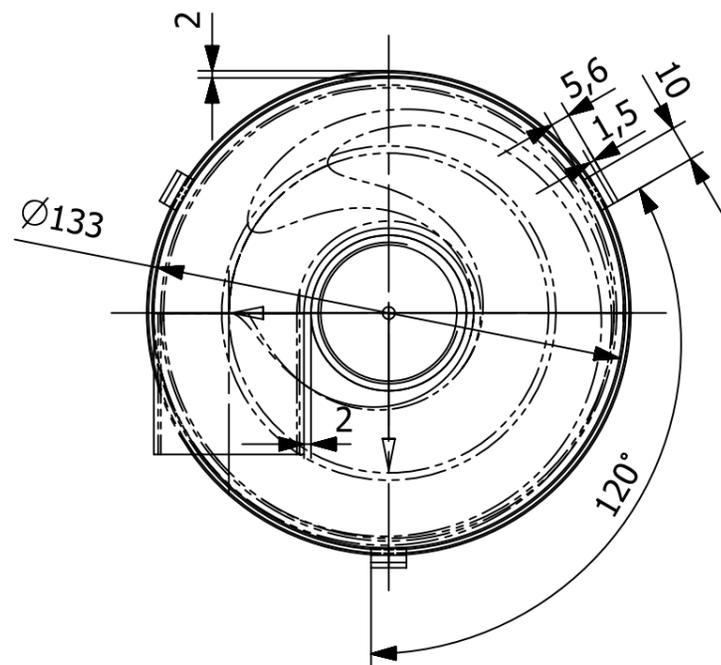
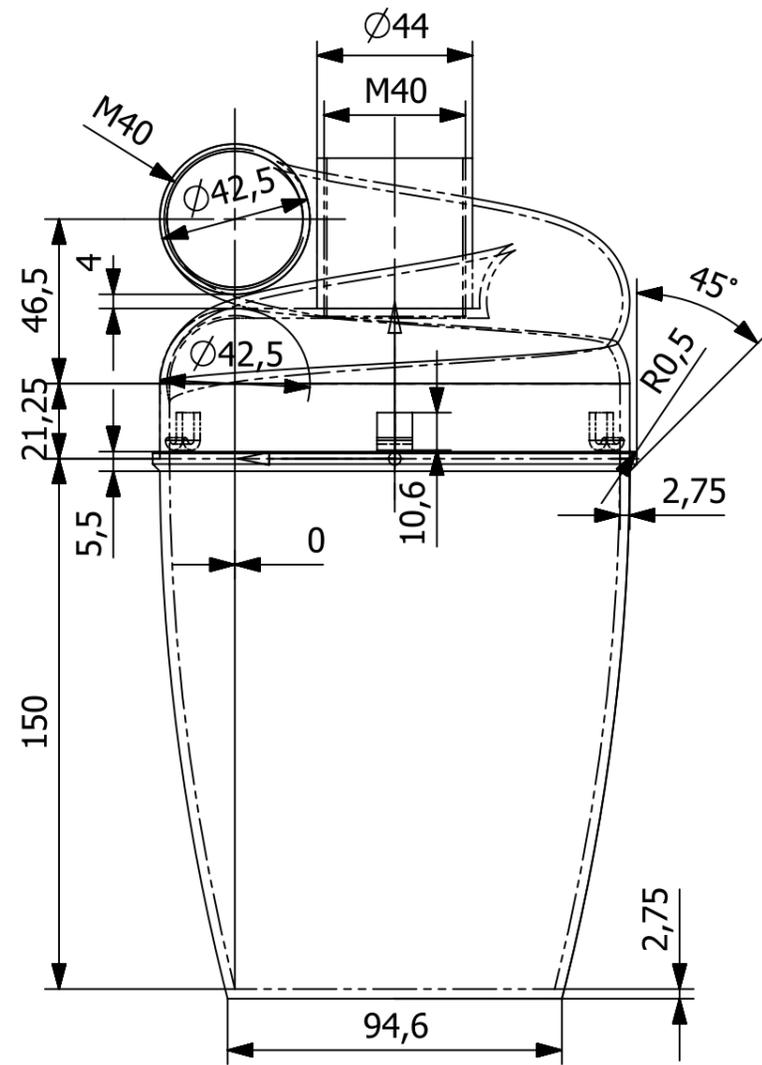




Nº ENTRADA	1	2	3	4	5	6
Presión (mmH ₂ O)	-674,73	-652,72	-638,34	-635,61	-638,6	-653,85

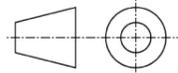


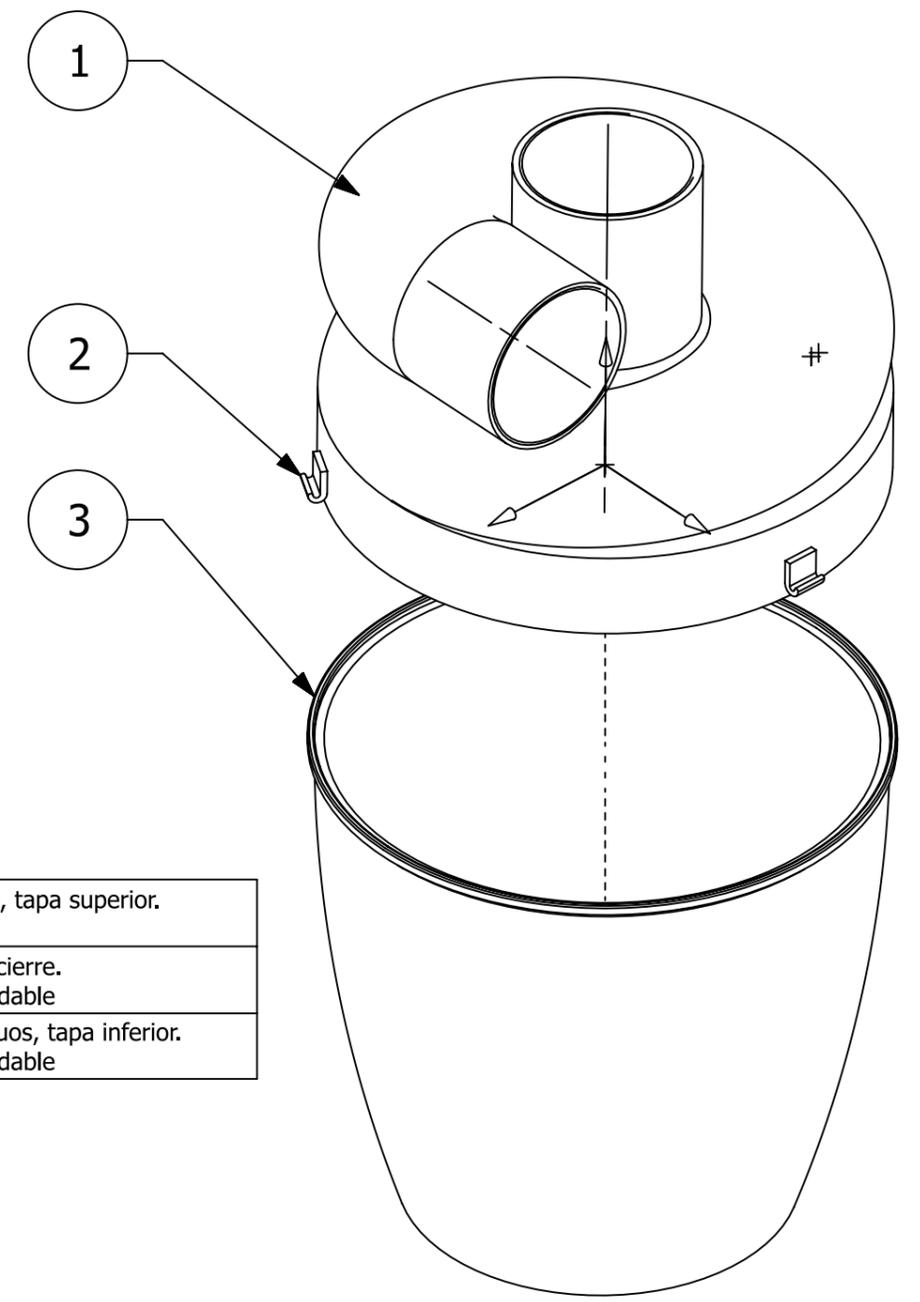
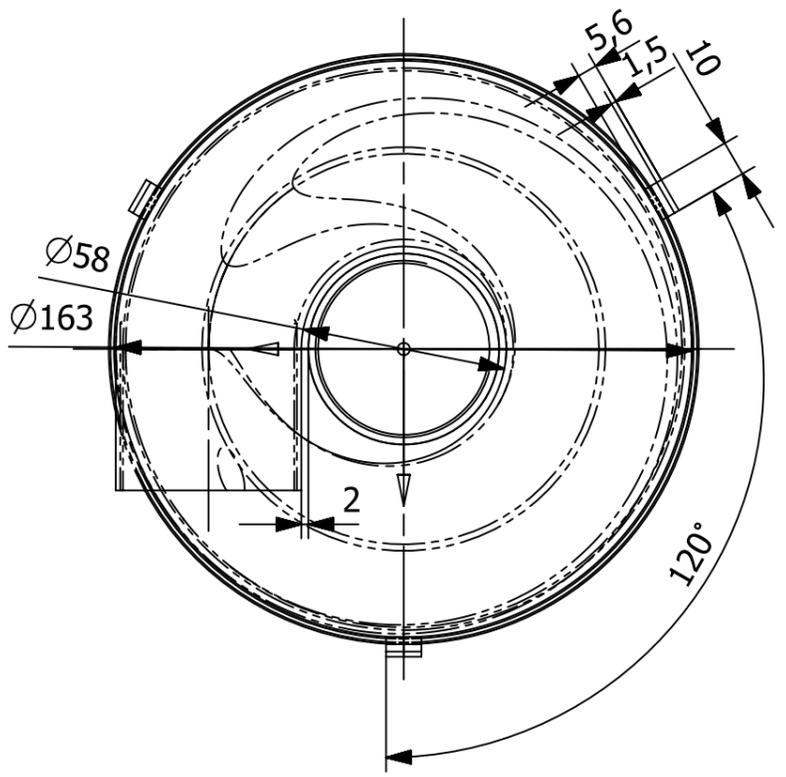
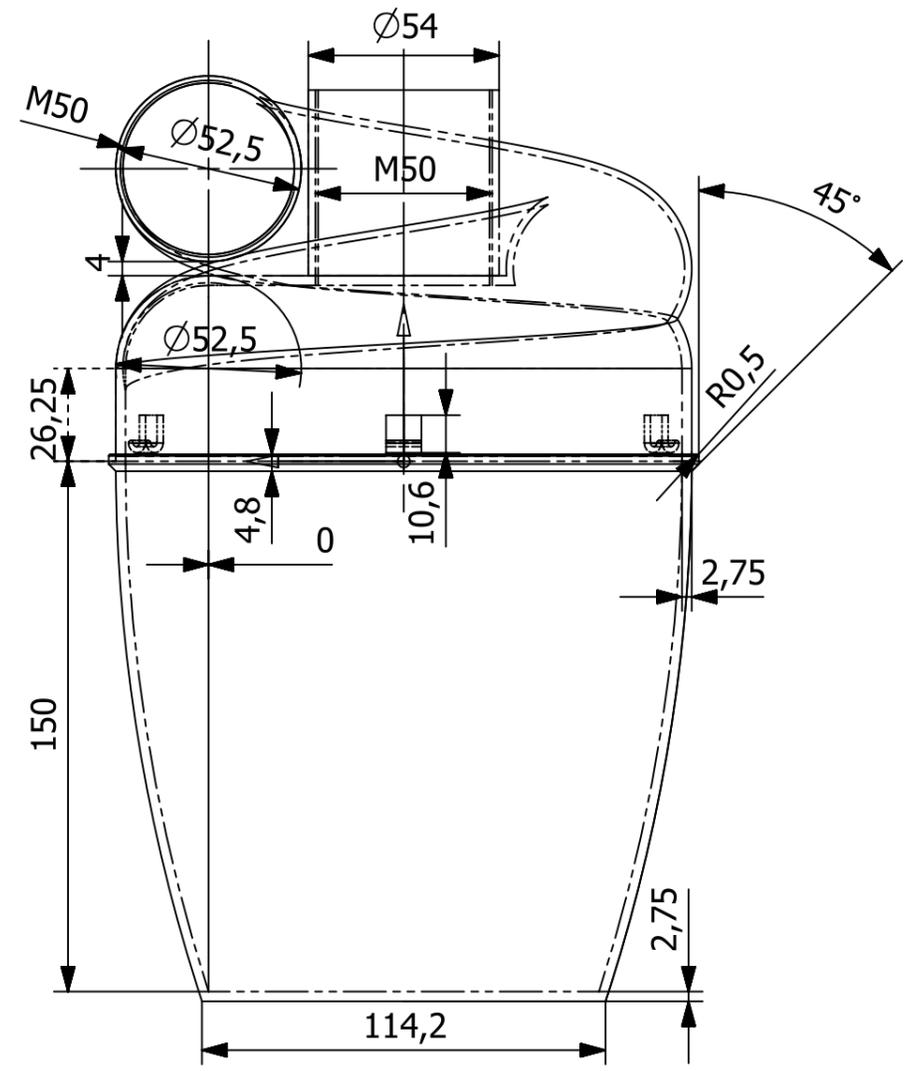
12.1. Anexo 2: Planos del separador ciclónico



Vista isométrica del separador ciclónico (abierto)

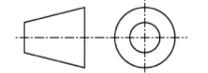
1	Conducto centrífugo, tapa superior. Material: ABS
2	3X Anclaje metálico cierre. Material: Acero inoxidable
3	Contenedor de residuos, tapa inferior. Material: Acero inoxidable

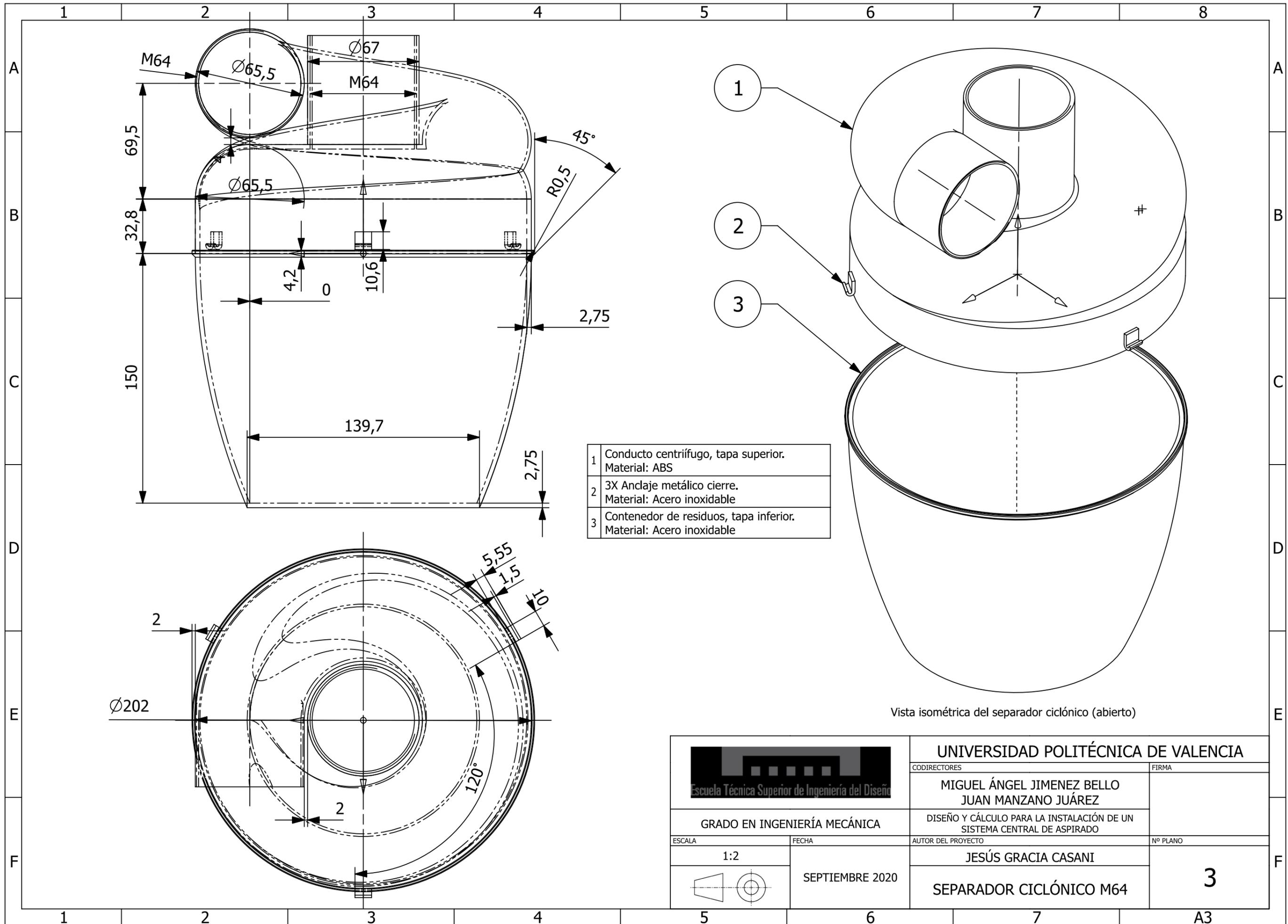
		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	
		CODIRECTORES	FIRMA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA		MIGUEL ÁNGEL JIMENEZ BELLO JUAN MANZANO JUÁREZ	
DISEÑO Y CÁLCULO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA CENTRAL DE ASPIRADO			
ESCALA	FECHA	AUTOR DEL PROYECTO	Nº PLANO
1:2	SEPTIEMBRE 2020	JESÚS GRACIA CASANI	1
		SEPARADOR CICLÓNICO M40	



Vista isométrica del separador ciclónico (abierto)

1	Conducto centrífugo, tapa superior. Material: ABS
2	3X Anclaje metálico cierre. Material: Acero inoxidable
3	Contenedor de residuos, tapa inferior. Material: Acero inoxidable

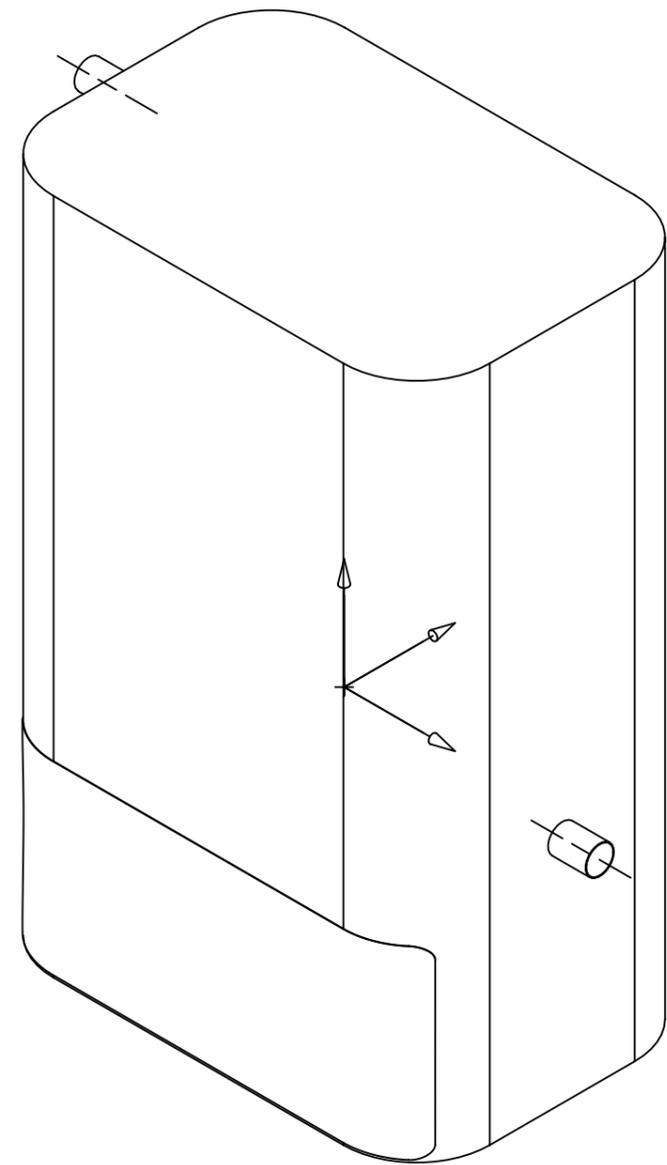
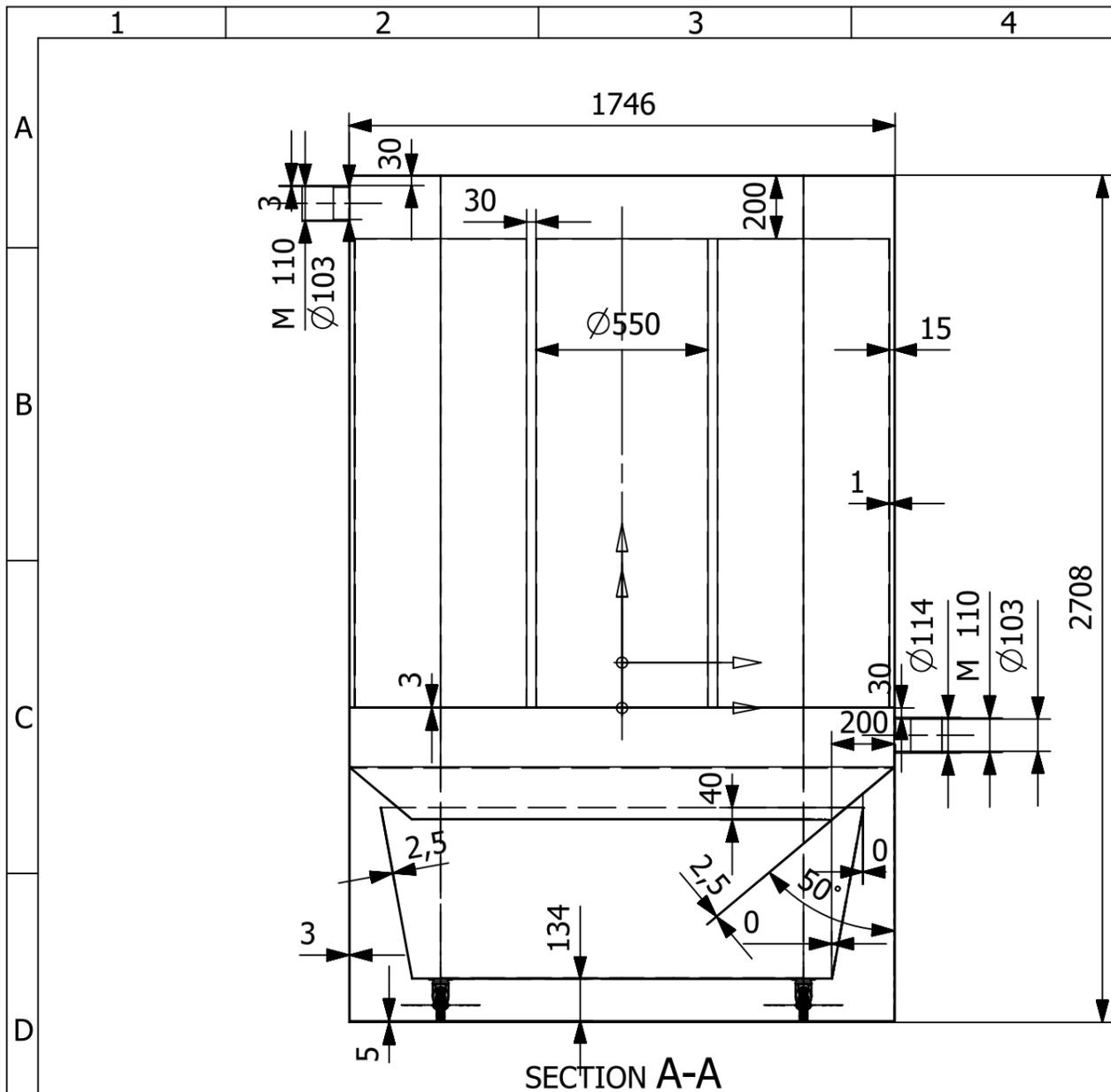
		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	
		CODIRECTORES	FIRMA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA		MIGUEL ÁNGEL JIMENEZ BELLO JUAN MANZANO JUÁREZ	
ESCALA	FECHA	AUTOR DEL PROYECTO	Nº PLANO
1:2	SEPTIEMBRE 2020	JESÚS GRACIA CASANI	2
		SEPARADOR CICLÓNICO M50	A3



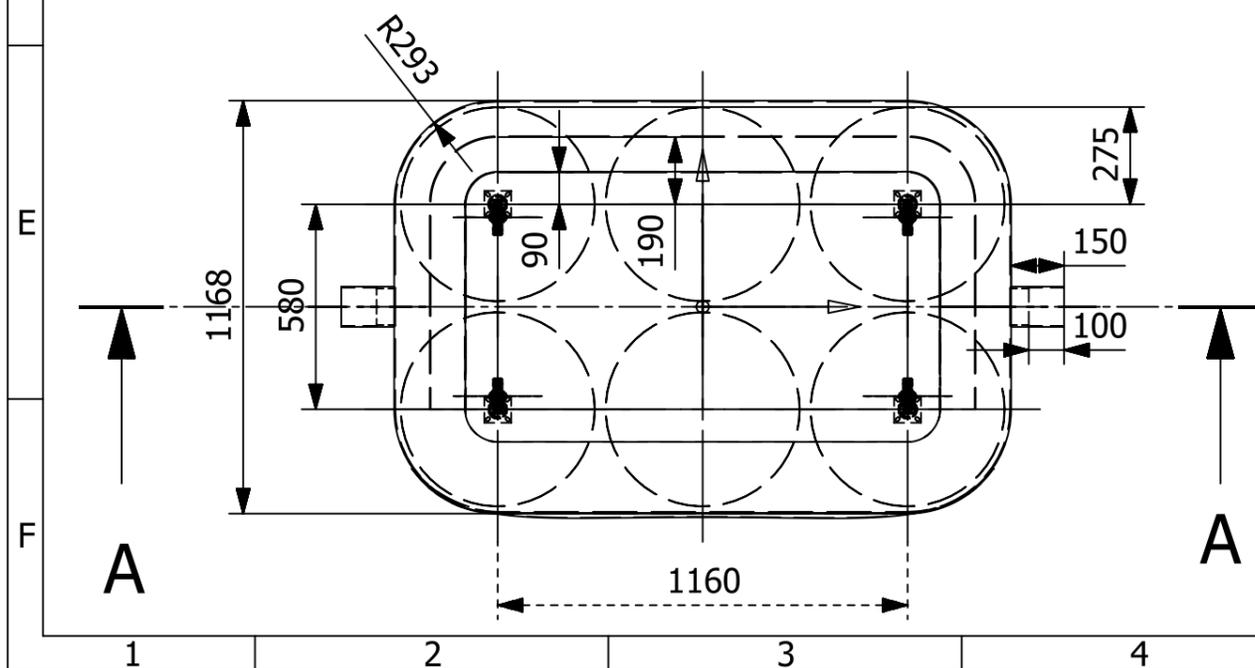
1	Conducto centrífugo, tapa superior. Material: ABS
2	3X Andaje metálico cierre. Material: Acero inoxidable
3	Contenedor de residuos, tapa inferior. Material: Acero inoxidable

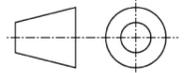
Vista isométrica del separador ciclónico (abierto)

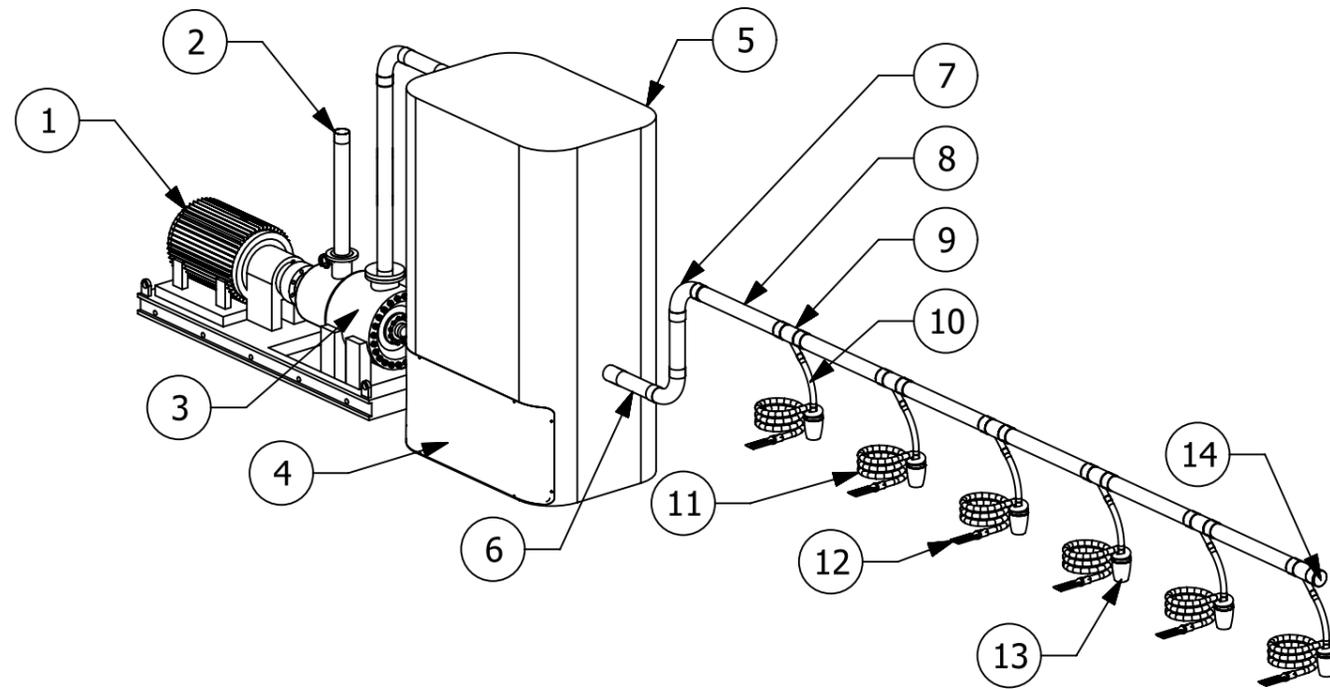
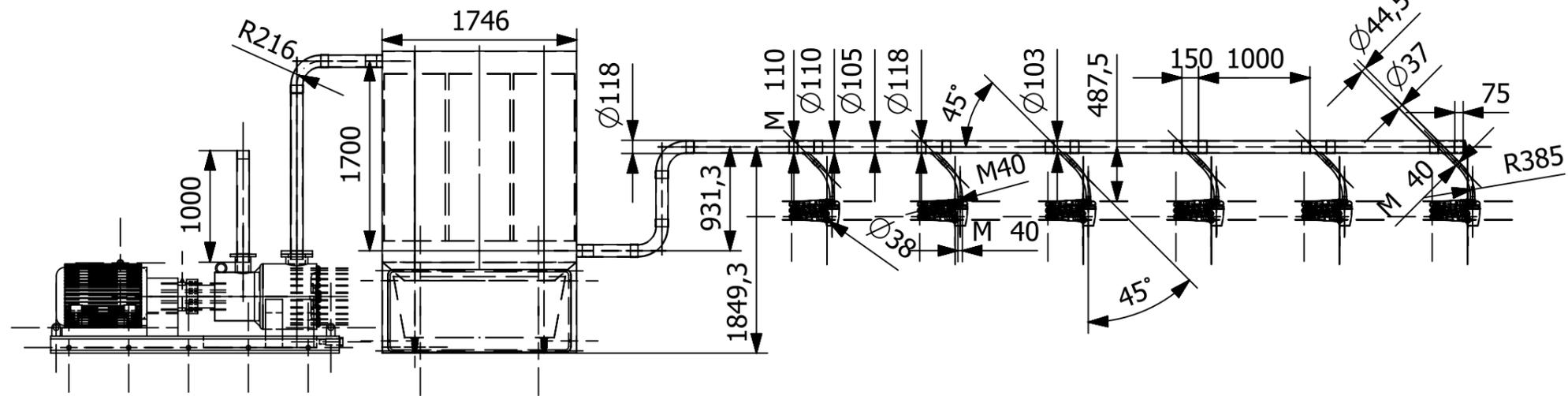
		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	
		CODIRECTORES	FIRMA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA		MIGUEL ÁNGEL JIMENEZ BELLO JUAN MANZANO JUÁREZ	
ESCALA	FECHA	AUTOR DEL PROYECTO	Nº PLANO
1:2	SEPTIEMBRE 2020	JESÚS GRACIA CASANI	3
		SEPARADOR CICLÓNICO M64	A3



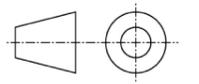
Vista isométrica del colector general de polvo



		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	
		CODIRECTORES	FIRMA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA		MIGUEL ÁNGEL JIMENEZ BELLO JUAN MANZANO JUÁREZ	
ESCALA	FECHA	AUTOR DEL PROYECTO	Nº PLANO
1:20	SEPTIEMBRE 2020	JESÚS GRACIA CASANI	4
		Colector de polvo general 1980 m ³ /h	A3



Lista de componentes	
Nº	Nombre Componente
1	Motor
2	Conducto de salida
3	Compresor multietapa
4	Puerta de acceso al depósito de polvo
5	Colector de polvo
6	3xConducto lineal 0,5 m DN110
7	3xConducto curvo 90° (R/DN=2)
8	8xConducto lineal 1 m DN110
9	6xUnion (110/110/40)
10	6xConducto curvo 45° (R/DN=10)
11	6xConducto corrugado 3m (38 Øint)
12	6xBoquilla
13	6xSeparador ciclónico M40
14	Tapa punto de acceso DN 110

		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	
		CODIRECTORES	FIRMA
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA		MIGUEL ÁNGEL JIMENEZ BELLO JUAN MANZANO JUÁREZ	
DISEÑO Y CÁLCULO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA CENTRAL DE ASPIRADO			
ESCALA	FECHA	AUTOR DEL PROYECTO	Nº PLANO
1:50	SEPTIEMBRE 2020	JESÚS GRACIA CASANI	5
		SISTEMA DE ASPIRADO CENTRALIZADO (6 USUARIOS)	