PROYECTO NEWMAN

Desarrollo de materiales cerámicos de coste reducido para el tratamiento de emisiones gaseosas complejas a alta temperatura

Entregable 3

Modelización y optimización del reactor con elementos filtrantes

Octubre 2023

Delia Trifi Rufino

Redacción del proyecto

Raúl Martínez Cuenca

Supervisión y revisión

Índice

1 Resumen ejecutivo. 3

2 Objetivos. 3

3 Simulación CFD. 4

3.1 Simulación del reactor piloto (Entregable 3.2). 6

3.1.1 Herramienta de cálculo ANSYS Fluent . 6

3.1.2 Modelo de turbulencia. 7

3.1.3 Modelo Euler-Lagrange para la simulación de las partículas. 8

3.1.4 Resultados de simulaciones en estado estacionario. Análisis fluido dinámico. 9

3.1.5 Resultados de simulaciones transitorias. Análisis de deposición de partículas 11

3.2 Estudio de alternativas (Entregable 3.4) 18

4 Conclusiones 22

5 Justificación del presupuesto 23

1 Resumen ejecutivo.

Se ha obtenido un modelo tridimensional del reactor a partir de los planos de construcción. Las geometrías de los elementos filtrantes han sido obtenidas también a partir de planos. Esta geometría se ha mallado estructuradamente con refinamiento cerca de las paredes, tanto del reactor como del elemento filtrante. Con esta malla se ha propuesto un modelo base de simulación que utiliza un modelo de turbulencia tipo SST k-ω. La trayectoria de las partículas se ha modelizado utilizando una aproximación de tipo Lagrangiano, que resuelve la ecuación de Newton para cada partícula. Se han incluido fuerzas gravitatorias, arrastre (drag), sustentación (lift) y dispersión turbulenta. El flujo a través de las membranas se ha implementado mediante una aproximación de fuente de momento, en la que se han incluido los efectos del medio filtrante a través de su porosidad, resistencia hidráulica y permeabilidad. Se ha introducido, además, una función que permite modelizar el atrapado de las partículas en función de su tamaño. Esta aproximación es relativamente novedosa a la hora de describir esta fenomenología, y se considera más próxima a la realidad que las aproximaciones basadas en crecimiento de película encontrados en la literatura.

Los resultados proporcionados por la simulación se han comparado a nivel local y global con datos experimentales en la instalación para validar los modelos. A nivel global se han usado de caudal y presión, instalando sensores de presión a la entrada y salida del reactor. Finalmente, se han utilizad dos distribuciones de tamaño de partícula gracias a la adquisión de dos trazadores de tamaño monodisperso (5 y 50 micras). Respecto de la validación a nivel local, se ha tratado de usar aproximaciones tipo PIV y técnicas de visualización del flujo para, al menos de forma cualitativa, comprobar los resultados de las simulaciones. También se ha medido la variación en la pérdida de carga introducida por el filtro tras su operación con las partículas de ambos tipos, observando una escasa influencia en el trabajo con partículas de 50 micras (prácticamente no impactan contra el filtro y se entiende que pueden rebotar sobre él), mientras que las de 5 micras efectivamente acaban aumentando esta pérdida de carga al atravesar parcialmente el filtro, lo que conlleva su colmatación a largo plazo.

Finalmente, se han estudiado diversas geometrías a fin de proponer unas directrices generales en el diseño de los filtros.

2 Objetivos.

Simulación del flujo en un reactor similar al usado por AICE y su caracterización experimental, incluyendo características del flujo multifásico para distintas condiciones de trabajo. También se propondrán alternativas.

3 Simulación CFD.

Este apartado se corresponde con los Entregables 3.1 y 3.2 de la memoria de solicitud. La simulación CFD trata de modelizar el comportamiento dinámico de los fluidos. Para ello, se basa en el **método de los volúmenes finitos** (MVF), que es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El método está pensado para ser usado en ordenadores y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. Se utiliza en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. La variedad de problemas a los que se puede aplicar ha crecido enormemente, siendo el único requisito básico que las ecuaciones constitutivas y ecuaciones de evolución temporal del problema sean conocidas de antemano.

El método permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del problema, dividiéndolo en un número elevado de subdominios llamados elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio, llamada discretización.

Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito. Un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos, considerando sus relaciones de adyacencia se nombra malla.

Los cálculos se realizan sobre esta malla de nodos. La generación de la malla se realiza con programas especiales en una etapa previa a los cálculos. De acuerdo con las relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad.

El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones. La matriz de este sistema de ecuaciones se nombra matriz de rigidez del sistema, y el número de ecuaciones que la forman es proporcional al número de nodos.

Este método es muy usado por su generalidad y la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además, el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor o de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD). Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, a menudo en la práctica ingenieril, los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa de cálculo.

En la práctica, el método de volúmenes finitos es un **método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales** y la solución obtenida coincide con la solución exacta solo en un número finito de puntos. En el resto de puntos en los que no coincide, la solución aproximada se obtiene interpolando a partir de los resultados obtenidos para los nodos.

El método de volúmenes finitos convierte un problema definido en términos de ecuaciones diferenciales en un problema en forma matricial que proporciona el resultado correcto para un número finito de puntos e interpola posteriormente la solución al resto del dominio, resultando finalmente en una solución aproximada.

Las técnicas CFD están siendo cada vez más utilizadas y sus resultados se utilizan para estudiar nuevos diseños, desarrollar nuevos productos e instalaciones. Gracias a la utilización de esta tecnología es posible realizar experimentos reduciendo al máximo el trabajo realizado en los laboratorios.

Realización del modelo geométrico: es necesario obtener un modelo tridimensional o bidimensional de la geometría que se quiere estudiar y que dicho modelo sea exactamente igual al modelo que se desea simular en la realidad con las mismas dimensiones y características geométricas. Cualquier variación en el modelo geométrico puede proporcionar malos resultados, así que es importante obtener un buen modelo. El modelo se obtiene mediante programas de dibujo CAD como puedan ser el "***SolidWorks***", "***ProEngineer***", "***Catia***" o el propio de ANSYS "***Design Modeler***". Una vez ya se tiene la geometría, esta se importa al programa ANSYS que es el programa que se utilizará para el estudio del modelo.

Realización del mallado: en este proceso, la geometría que va a ser analizada es dividido en un número finito de volúmenes o celdas, es decir, se discretiza el modelo en elementos mucho más pequeños. El mallado se considera la parte más crítica de la simulación CFD porque es muy importante que los resultados sean independientes de la malla. Un elemento puede ser mallado utilizando diferentes tipos de malla, ya que dependiendo de la geometría del elemento y de los parámetros que van a ser analizados, puede ser mejor utilizar un tipo de mallado u otro para obtener los resultados deseados.

Establecimiento de las condiciones de contorno: en esta parte es donde se indican todas las características físicas del modelo, como puedan ser la temperatura, presión, velocidad, turbulencia, tipo de material, reacciones que tienen lugar, etc. También se indican en esta parte las zonas del modelo que se consideran entradas de fluido, salidas, interfase entre dos elementos o paredes, etc.

Simulación del problema: la simulación permite obtener, a partir de todos los datos introducidos al programa en los pasos anteriores, los resultados y el comportamiento que tiene el fluido analizado. El proceso de cálculo que utiliza el programa es un proceso iterativo, en el que se puede indicar el número de iteraciones que se quieren realizar o el tiempo de cálculo que se quiere que realice el programa.

Análisis de los resultados: tras haber realizado la simulación en el ordenador y que esta haya convergido correctamente, hay una gran cantidad de información guardada. En la parte del análisis de los resultados se procesa toda esta información acerca de la simulación realizada para poder extraer resultados y conclusiones relevantes para el estudio que quiera llevarse a cabo.

3.1 Simulación del reactor piloto (Entregable 3.2).

3.1.1 Herramienta de cálculo ANSYS Fluent .

La base fundamental de estas herramientas son las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas (*Figura 1**).*** Estas ecuaciones describen como la velocidad, presión, temperatura y la densidad de un fluido en movimiento están relacionados, en la práctica estas ecuaciones son difíciles de resolver analíticamente. Actualmente gracias a la mejora en las prestaciones de los ordenadores se han mejorado las aproximaciones a las siguientes técnicas: Diferencias finitas, volúmenes finitos, elementos finitos y métodos espectrales.

En este caso se emplean el paquete de simulación *ANSYS Fluent 2022 R2,* siendo *Fluent* un solver comercial basado en volúmenes finitos. Este software cuenta con todos los modelos matemáticos para esta simulación, además de ofrecer la posibilidad de implementar modelos adaptados completamente a las necesidades del usuario mediante la compilación de UDF's que no son más que scripts programados en código C, un lenguaje mucho más "familiar" que FORTRAN *(lenguaje usado en CFX para modificar sus modelos).*

Continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0$$

Momento en X

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{1}{Re}\left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right]$$

Momento en y

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{Re}\left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right]$$

Momento en z

$$\frac{\partial (\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{Re}\left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right]$$

Energía

$$\frac{\partial (E_T)}{\partial t} + \frac{\partial (uE_T)}{\partial x} + \frac{\partial (vE_T)}{\partial y} + \frac{\partial (wE_T)}{\partial z} = -\frac{\partial (u\rho)}{\partial x} - \frac{\partial (v\rho)}{\partial y} - \frac{\partial (w\rho)}{\partial z} - \frac{1}{Re\ P_r}\left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right]$$
$$+\frac{1}{Re}\left[\frac{\partial}{\partial x}(u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y}(u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z}(u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz})\right]$$

Figura 1. Ecuaciones de conservación.

3.1.2 Modelo de turbulencia.

El modelado computacional de fluidos se usa para simulaciones donde se requiera un nivel adecuado de modelado tanto en la capa límite como en el flujo libre. Los flujos turbulentos se caracterizan por fluctuaciones de los campos de velocidad que producen una mezcla de las magnitudes transportadas.

Existen tres formas básicas de abordar las ecuaciones de Navier-Stokes mediante computación:

- Modelos de turbulencia Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS).
- Simulación a gran escala de remolinos y modelado de las pequeñas escalas: Large Eddy Simulations (LES).
- Simulación numérica directa o Direct Numerical Simulation (DNS)

Modelos de turbulencia RANS

Las siglas de estos modelos corresponden en inglés a *Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations*. Hace referencia a una de las técnicas más extendidas, descomponer las variables de interés en una parte media y otra fluctuante, de este modo promediando las ecuaciones clásicas obtenemos las que denominamos RANS. Dado que las ecuaciones de Navier-Stokes no son lineales, en las ecuaciones RANS aparece un término no lineal denominado “tensiones de esfuerzo de Reynolds” (Figura 2).

$$\tau_{xx} = \overline{\rho u'^2} \qquad \tau_{yy} = \overline{\rho v'^2} \qquad \tau_{zz} = \overline{\rho w'^2}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \overline{\rho u' v'} \qquad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \overline{\rho u' w'} \qquad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \overline{\rho u' w'}$$

Figura 2.Tensiones de esfuerzo de Reynolds.

Por lo que para obtener esos valores de velocidad y presión medios se necesita modelar estos términos como funciones de valor promedios. Existen muchos modelos que usan estas técnicas en la herramienta Fluent:

- Modelos Lineales:
  - Modelo $k-\varepsilon$:
    - Estándar.
    - RNG.
    - Realizable.
  - Modelo $k-\omega$:
    - Wilcox.
    - Near-wall treatement.
  - Shear Stress Transport (SST).

- Modelos no lineales:
    - Scale adaptative simulation (SAS).

Los más usados son el modelo $k-\varepsilon$ y el $k-\omega$, estos introducen tres nuevas variables de cálculo *($k, \varepsilon\ y\ \omega$)*:

- "k" representa la energía cinética turbulenta *(TKE)* y se define como la variación de la fluctuación de la velocidad.
- "ω" hace referencia a la frecuencia de turbulencia.
- "ε" corresponde a la disipación turbulenta.

Las grandes ventajas de estos modelos son las velocidades de cálculo y la amplia aceptación de estos modelos entre la comunidad científica. Esto último es debido a que a pesar de usar constantes y reducir el cálculo de la turbulencia a pequeñas operaciones, estos modelos son bastantes fieles a la realidad si se simula en estacionario. También si el efecto transitorio de los grandes remolinos no resulta de vital importancia en la fenomenología a estudiar.

El modelo $k-\varepsilon$ en términos generales funciona mejor en la parte central del flujo, por el contrario, el modelo $k-\omega$ se centra en la resolución del flujo más cercano a la pared. Debido a que cada modelo se centra en una parte del flujo, posteriormente se ha establecido lo que se conoce como "función de mezcla" calculada a partir de la distancia a la superficie más cercana y de las variables de flujo (tales como velocidad, viscosidad, etc.).

3.1.3 Modelo Euler-Lagrange para la simulación de las partículas.

Para la modelización en multifásico existen dos aproximaciones muy usadas en simulación CFD: Euler- Euler y Euler-Lagrange:

La aproximación Euler-Euler se ha usado con anterioridad en el grupo para modelizar otro tipo de medio poroso como son las membranas en los reactores biológicos. En este caso, el uso de este formalismo estaba justificado debido a que las partículas se comportan considerando las propiedades del tamaño medio de la distribución y el tamaño de los sólidos suspendidos muestra poca variabilidad. Por ello pierde precisión la modelización cuando se pretende modelizar un flujo polidisperso con un amplio rango de tamaños como es el caso que ocupa.

En este enfoque Euler-Lagrange, la fase de fluido se trata como un medio continuo mediante la resolución de las ecuaciones de continuidad y Navier-Stokes. Para implementar la fase discreta, se aplican las ecuaciones de movimiento de las partículas, en función del equilibrio de fuerzas. A continuación, se especifica el límite y las condiciones iniciales para las partículas. En el caso que ocupa, estas partículas representan un tipo de partícula que son las polyamide seeding particles (PSP), un tipo de trazador que se usa en técnicas PIV (Particle Image Velocimetry) y LDA (Laser Doppler Anemometry). Este tipo de partículas se ha modelado siguiendo estos parámetros:

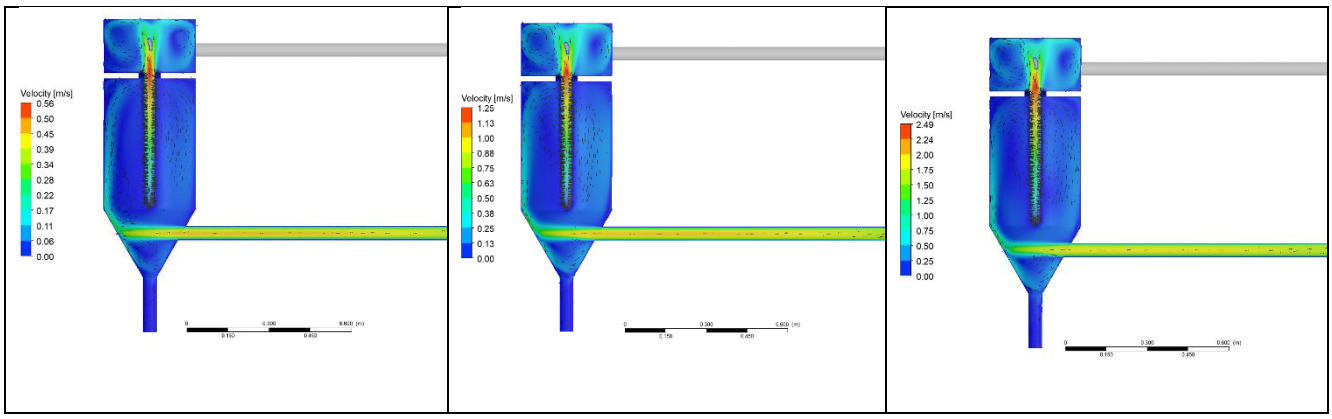
Tabla 1.Caracterización de las partículas (PSP.)

Densidad ($\boldsymbol{\rho}$)	$\mathbf{1030}\,\boldsymbol{\frac{kg}{m^3}}$
Distribución de diámetros	$\mathbf{[5-50]}\boldsymbol{\mu m}$
Velocidad (m/s)	$\boldsymbol{v_{air-Inlet}}$

3.1.4 Resultados de simulaciones en estado estacionario. Análisis fluido dinámico.

Inicialmente con la información proporcionada por AICE, como el rango de caudales a los que trabaja la soplante y la configuración de la manga filtrante, se han llevado a cabo los siguientes estudios aerodinámicos:

Tabla 2. a) Case SteadyQ2, b) Case SteadyQ5, c) Case SteadyQ10



Si nos centramos en cada uno de ellos podemos observar distintos patrones que también se repiten en las imágenes que se han adquirido con imágenes y también mediante inspección visual. Básicamente, el flujo impacta contra la cara del reactor en forma de tronco de cono que está enfrente de la entrada y se dirige hacia arriba, descendiendo por la parte del reactor superior derecha y derecha en la imagen. Esta similitud se puede observar si comparamos la distribución vectorial obtenida experimentalmente y la simulación. En la ***Figura 3*** se muestra con un caudal de succión de $Q = 2\ Nm^3/h$.

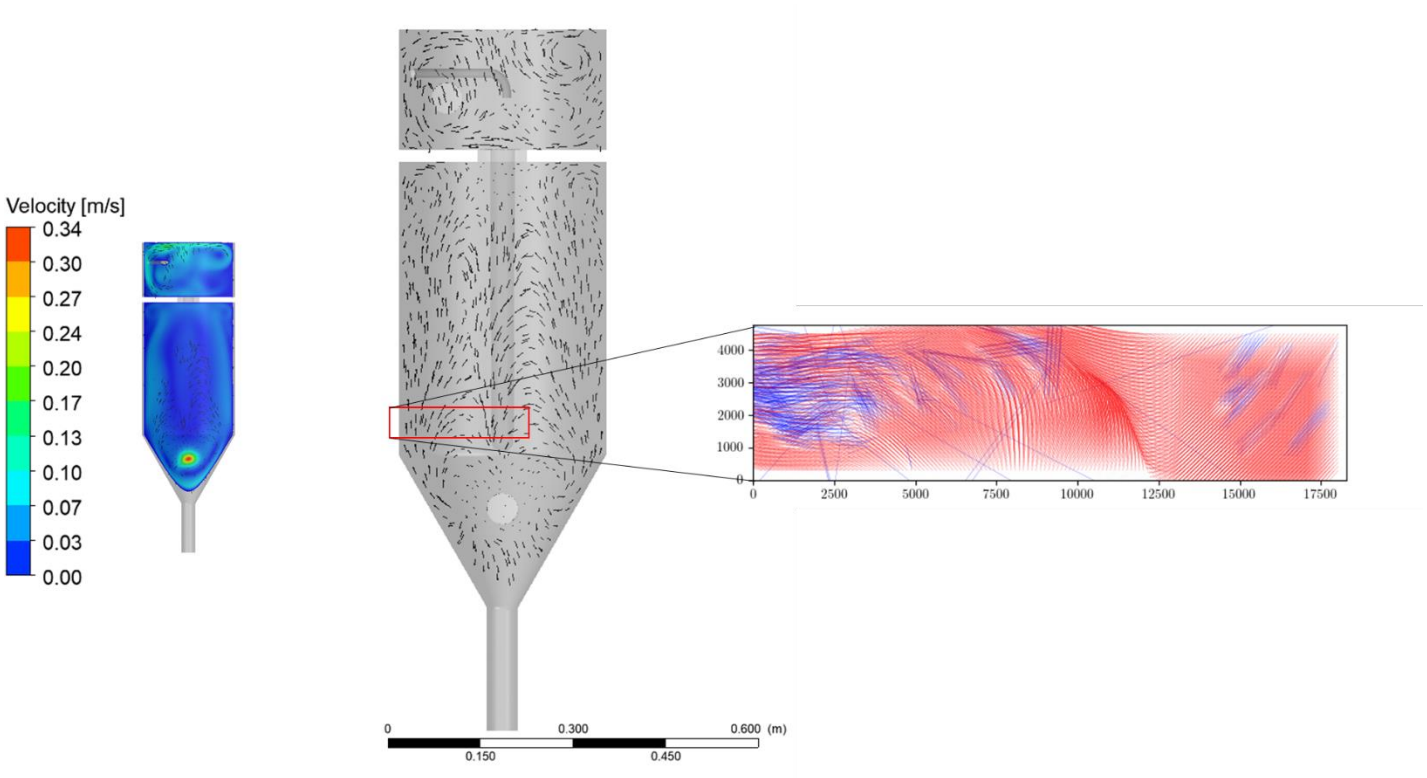


Figura 3. Comparativa entre patrones de flujo (simulación y experimental).

A nivel aerodinámico y para evaluar el caudal de succión óptimo en este tipo de casos un análisis en un plano horizontal proporciona gran información. En la *Figura 4* se muestra el caso de $10\ Nm^3/h$.

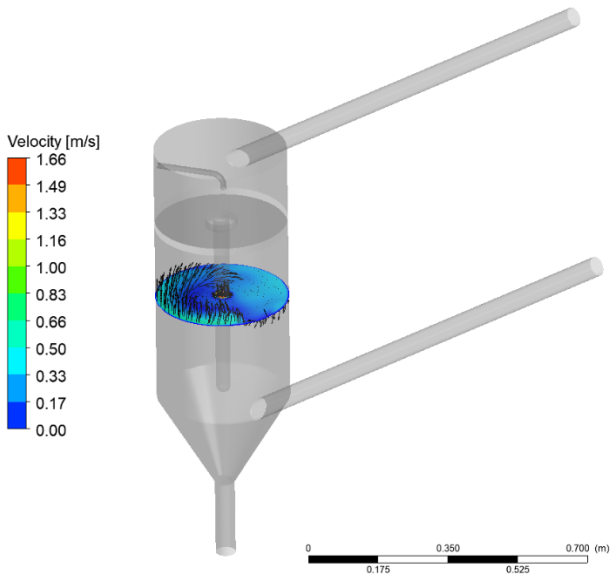


Figura 4. Distribución de velocidades en el plano medio horizontal del tronco del reactor.

3.1.5 Resultados de simulaciones transitorias. Análisis de deposición de partículas

Para analizar la deposición de partículas en el filtro se llevó a cabo un análisis a lo largo del tiempo (simulación en régimen transitorio) de como la manga filtra dejando pasar las partículas de menor tamaño y atrapando las de mayor, generando con estas últimas una torta que va creciendo a lo largo del tiempo.

Para conseguir este fenómeno de deposición y filtración por los poros del filtro se define dentro de la herramienta ANSYS Fluent una UDF (User Defined Function) de este modo mediante la programación en C++ se incluyen funcionalidades que en el programa por defecto no están configuradas. En este caso la UDF considera a las partículas de manera discreta, analizando su tamaño, si este es mayor que el tamaño de poro y está pasando por el filtro (mediante una condición determina si está en la superficie filtro) esta partícula queda atrapada en su superficie.

Este cabe resaltar que este método es distinto al que se implementa habitualmente para membranas en reactores, basado en una descripción Euleriana del flujo multifase:

$$\left(\frac{dM_c}{dt}\right) = \left(\frac{24CJ^2}{24J + K_l G}\right) - \left(\frac{\beta(1-\alpha)GM_c^2}{\gamma V_f \theta_f + M_c}\right)$$

donde

- $C =$ Concentración de sólidos $\left(\frac{\text{kg}}{m^3}\right)$,
- $J =$ Flujo de permeado $\left(\frac{L}{m^2 h}\right)$,
- $G = Shear\ rate\ (s^{-1})$,
- $\beta =$ Tasa de erosión de la capa $[-]$
- $\alpha =$ Pegajosidad de la capa $[-]$
- $\gamma =$ Coeficiente de compresión $\left(\frac{kg}{m^3 s}\right)$
- $V_f =$ Volumen filtrado(m^3)
- $\theta_f =$ Tiempo de filtrado (min)

En el post-procesado, para visualizar este fenómeno de adición de partículas al filtro se usa la variable ***Accumulated Parcels in Cell.*** En el propio solver de Fluent se aprecia esta adhesión de las partículas al filtro.

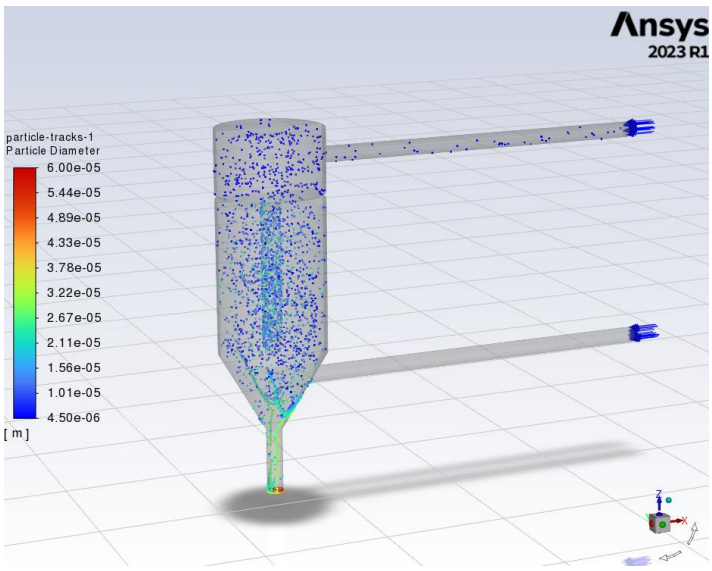
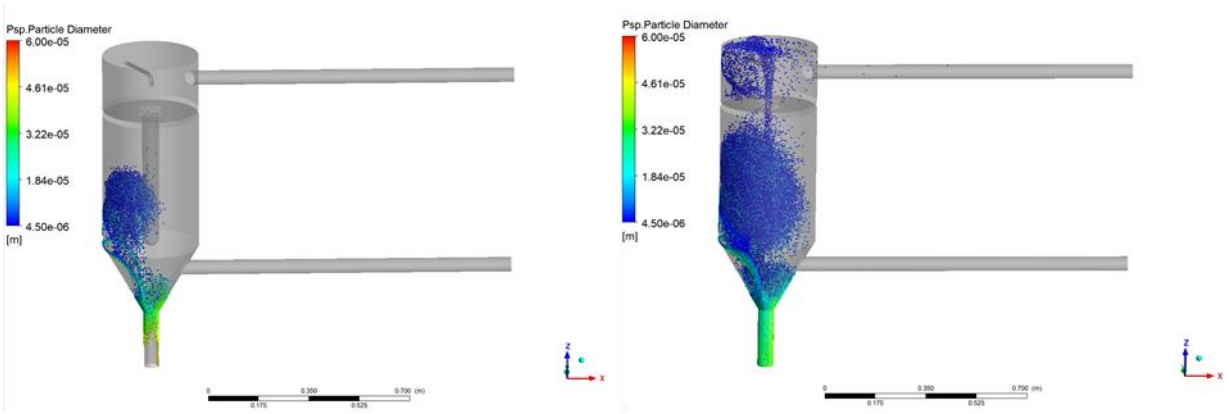


Figura 5. Visualización de la adhesión de las partículas al filtro y a la tapa inferior (caso de muestra, time=46s).

En el caso de del caudal más bajo, el flujo de partículas se describe perfectamente entre estos dos instantes de tiempo (existiendo un incremento temporal de 10 segundos).



(a) (b)

Figura 6. Deposición de las partículas en la manga cerámica a) Tiempo 10s, b) Tiempo 20s

Además, para analizar la deposición de partículas en el filtro se muestra la ***Figura 7*** donde se observa claramente el incremento entre estos dos instantes.

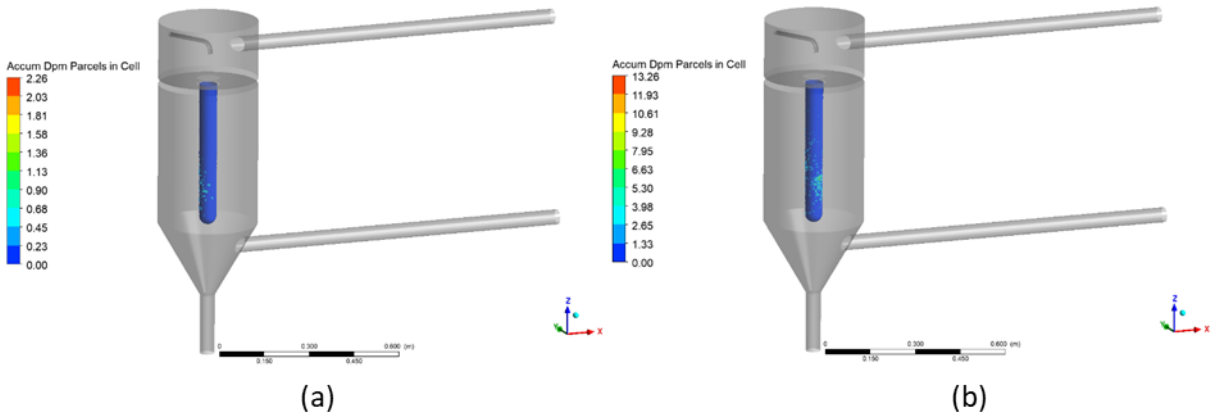
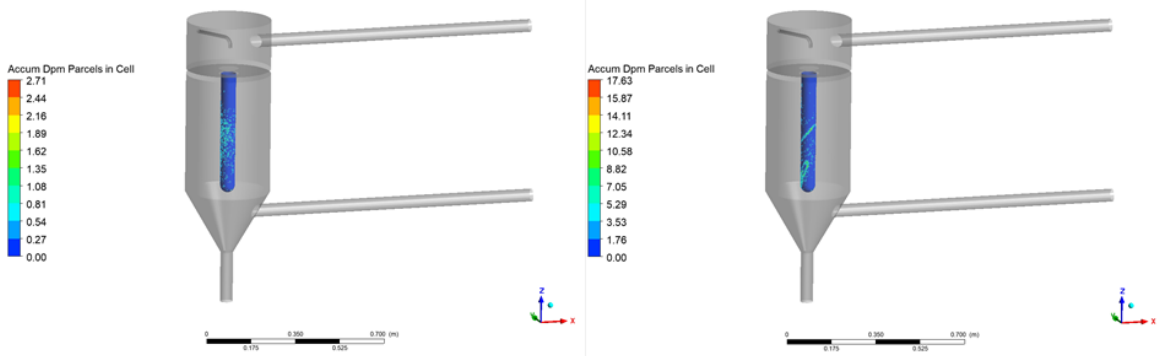


Figura 7. Deposición de las partículas en la manga cerámica a) Tiempo 10s, b) Tiempo 20s

El incremento temporal se repite para los dos casos restantes:

Q = 5Nm^3/h



Q = 10Nm^3/h

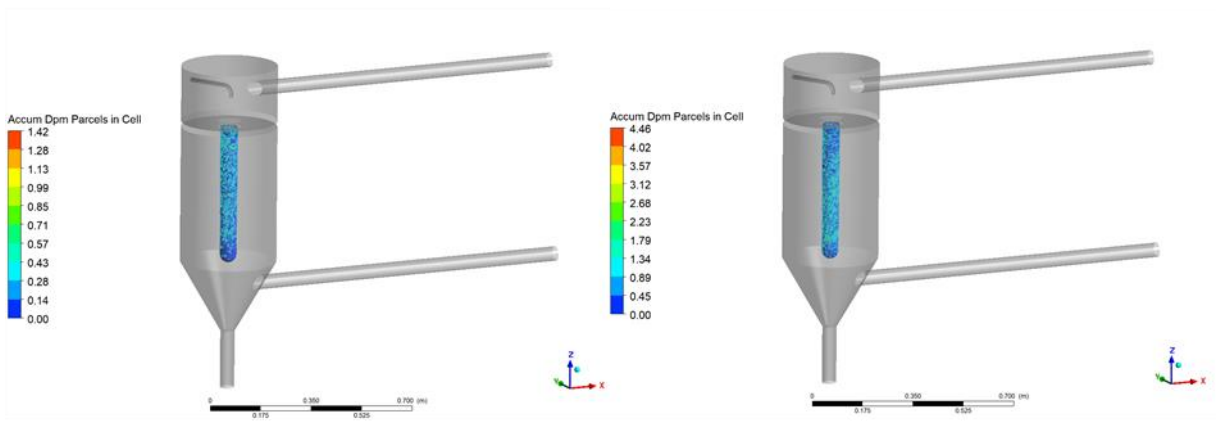
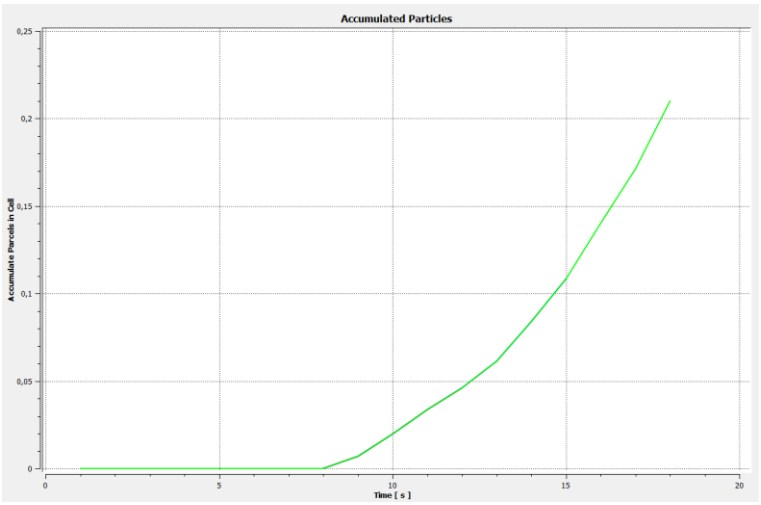
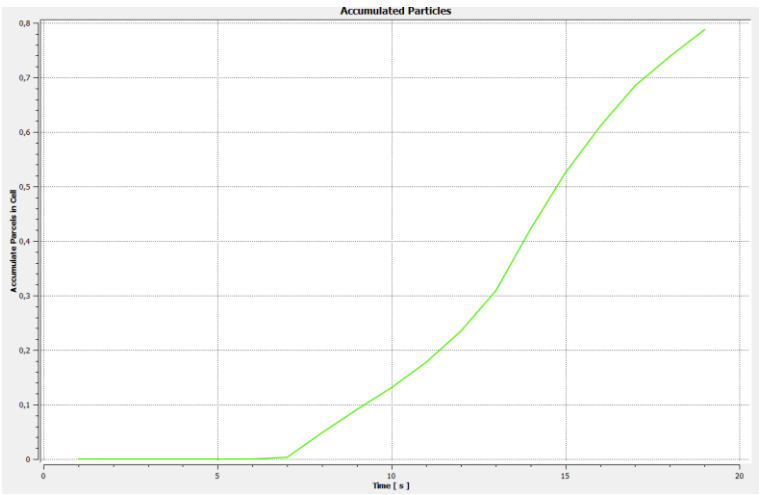


Figura 8. Deposición de las partículas en la manga cerámica para cada caudal.

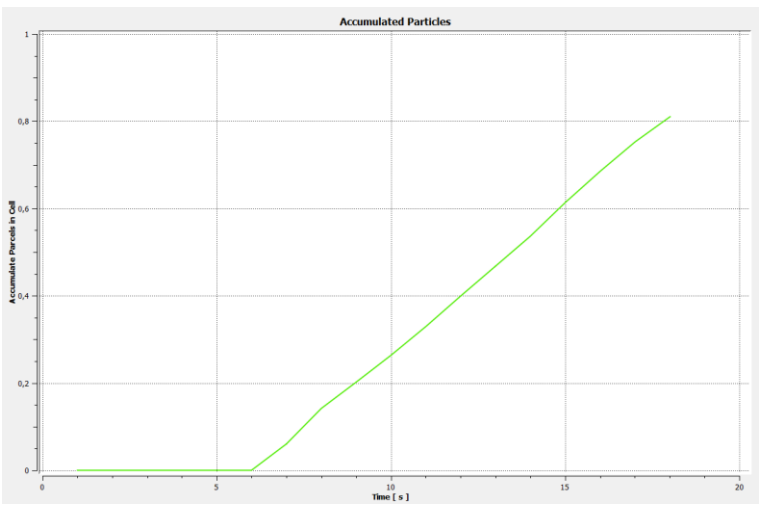
Este incremento no solo se observa a nivel visual, sino que si hacemos un promediado de esta variable en toda la superficie de la manga a lo largo del tiempo también se observa este aumento en la concentración de partículas (***Figura 9***). Cabe destacar que inicialmente la curva es plana porque hasta el instante 5 segundos las partículas no son lanzadas, para asegurar una convergencia de la aerodinámica previa. Se observa un aumento en la tasa de deposición conforme se aumenta el caudal como consecuencia de la llegada de más partículas al filtro.



a) Caso Q2



b) CasoQ5



c) CasoQ10

Figura 9. Acumulado de las partículas en el filtro a lo largo del tiempo.

Para incrementar el conocimineto a nivel conceptual se modeliza también el filtro desarrollado por ITC-AICE con la particularidad de seguir trabajando con la geometría del comercial. Esto se debe a que como fin último del proyecto se prentende desarrollar geoemtrías comerciales con materiales más eficiente tanto tecnologica como medioambientalmente.

Por lo tanto, esta nueva configuración se traduce en usar la misma geometría y malla pero modificando la *porous cell zone* del solver con el nuevo comportamiento de las pérdidas por inercia y viscosidad.

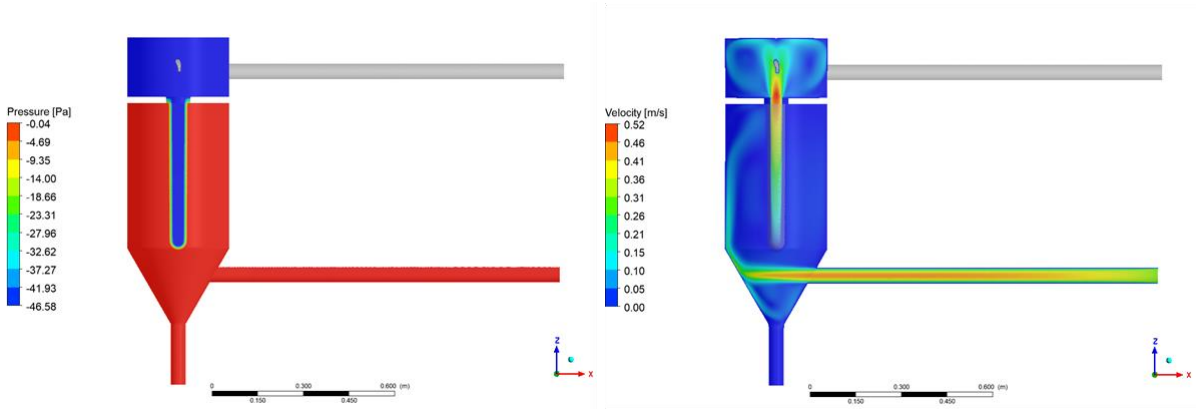
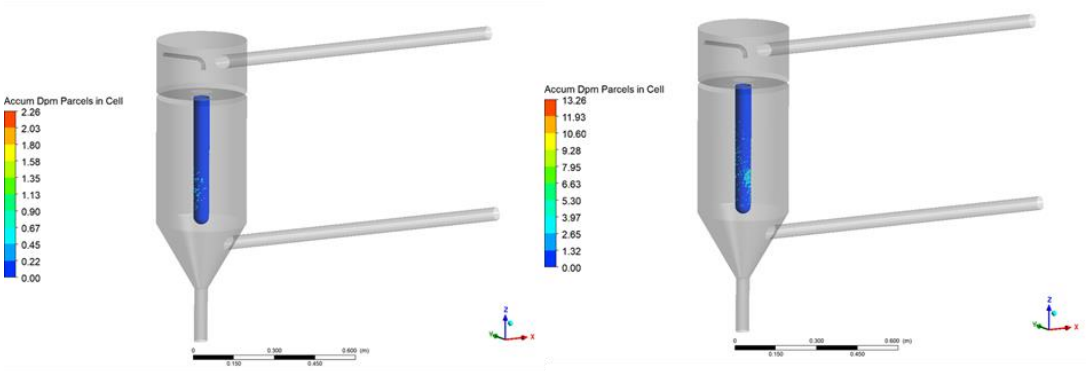


Figura 10. Distribución de presión y velocidad en el plano medio.

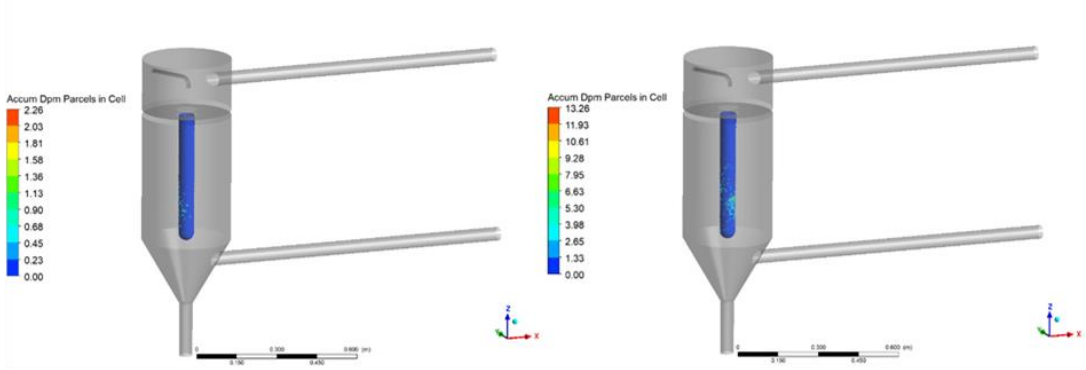
Con esta configuración también se analiza la deposición de las partículas que se adhieren al filtro cerámico durante dos instantes de tiempo determinados, 10 y 20 segundos.

Q = 2Nm³/h con Filtro ITC:



(a) 10s (b)20s

Q = 2Nm³/h con Filtro Comercial:



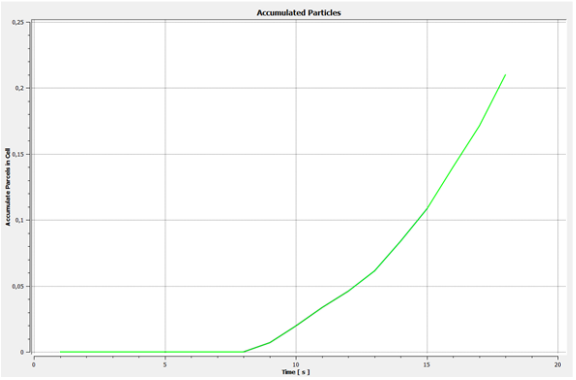
(a) 10s (b)20s

Figura 11. Distribución de la deposición de partículas para cada filtro.

Se puede observar en la ***Figura 11*** que, si se usa el mismo rango de valores tanto para el filtro fabricado por el ITC como para el comercial, la distribución de partículas mostradas sigue el mismo patrón.

De igual modo, si se analiza mediante el promediado de la variable en toda la superficie a lo largo del tiempo se tiene una distribución de la tasa de disposición un poco más elevada si se analiza a nivel comparativo con el filtro comercial. Esto se debe a que a pesar de que al variar la presión se reajusta para seguir proporcionado el mismo caudal, la distribución de velocidades junto con la trayectoria de las partículas puede variar ligeramente.

Q = 2Nm³/h con Filtro Comercial:



Q = 2Nm³/h con Filtro ITC:

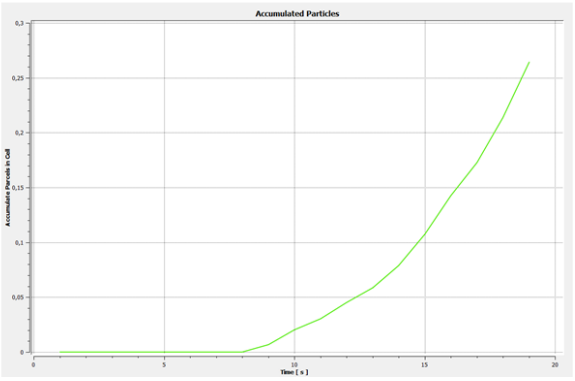


Figura 12. Acumulado de las partículas en cada filtro a lo largo del tiempo.

3.2 Estudio de alternativas (Entregable 3.4)

Tras los resultados obtenidos en el apartado anterior y en vista de los resultados experimentales se procedió a hacer la siguiente modificación, una reducción a la mitad de la longitud del filtro (Figura 13).

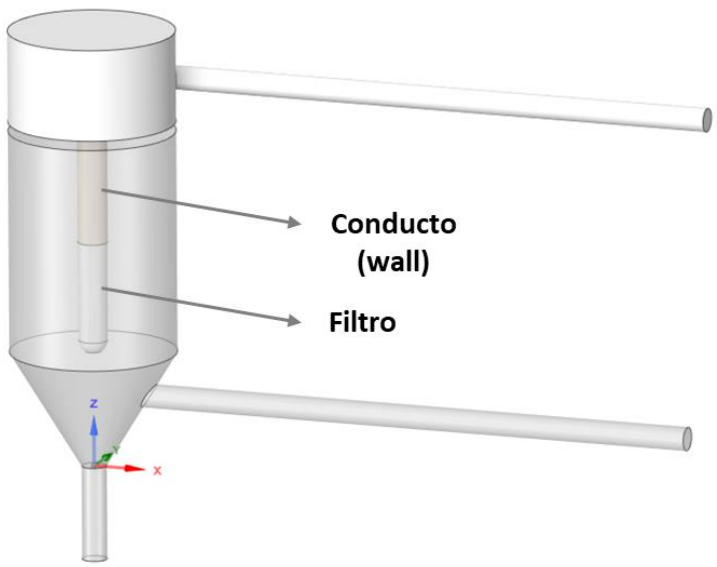


Figura 13. Primera alternativa.

Atendiendo al análisis previo de la deposición de partículas se obtienen los siguientes resultados para los distintos caudales

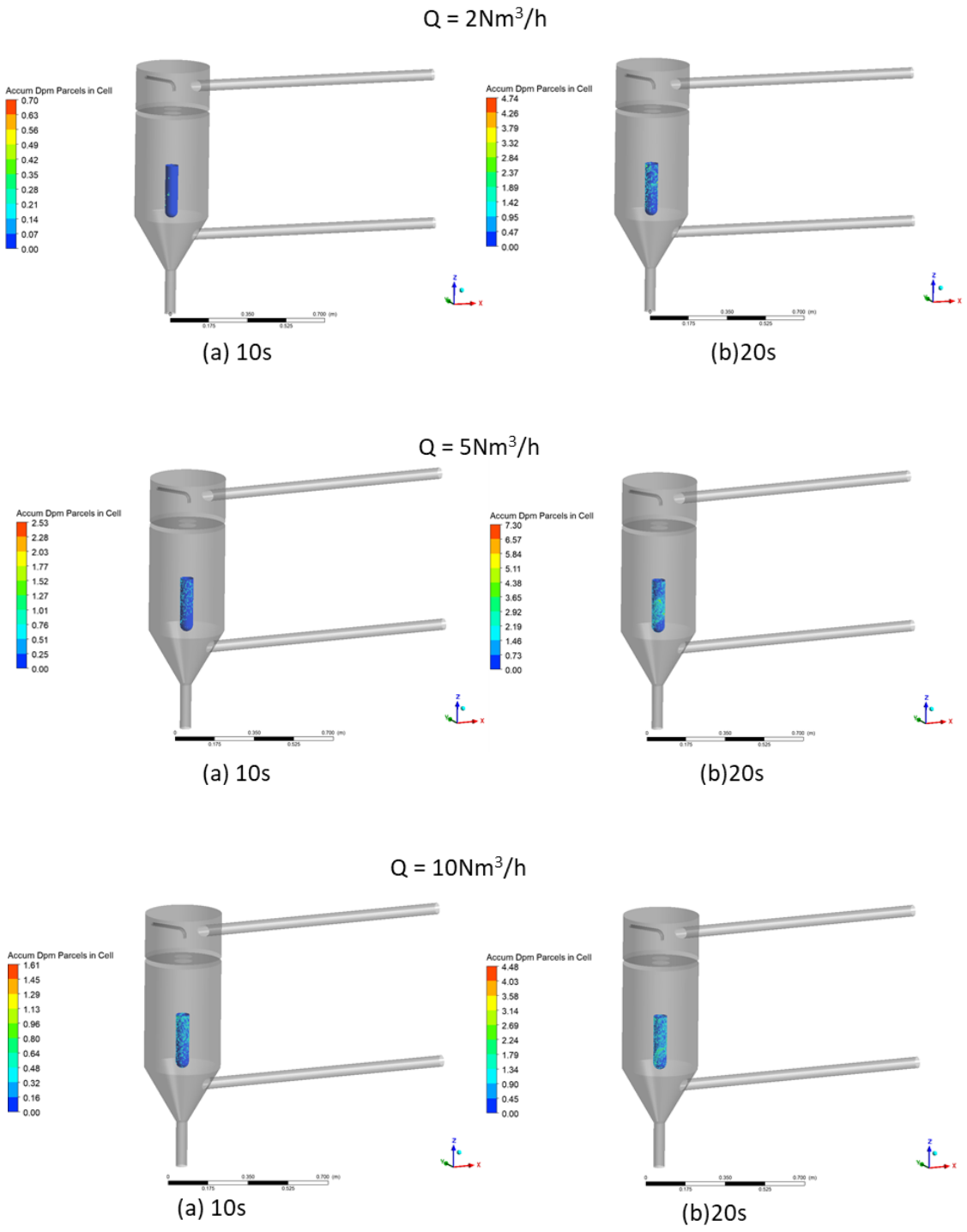
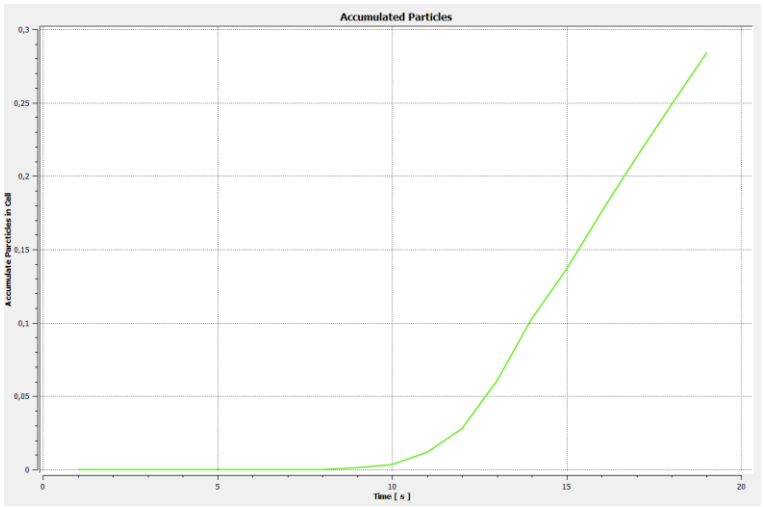


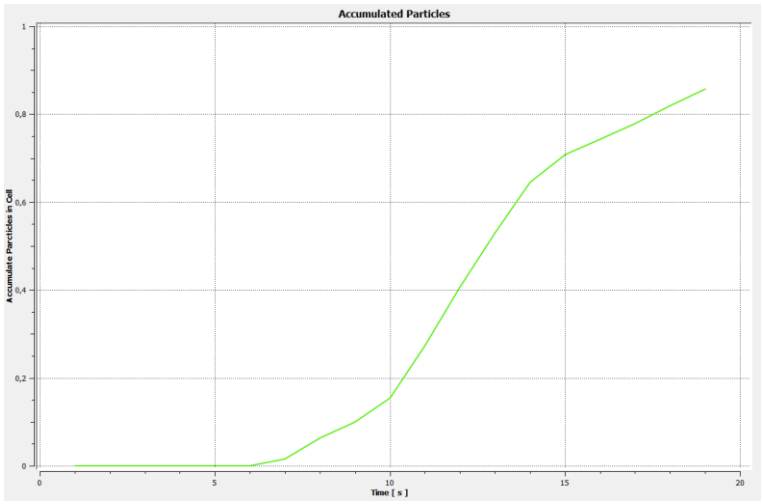
Figura 14.Deposición de las partículas en la manga cerámica modificada para cada caudal.

Se produce un ligero aumento a la hora de atrapar las partículas que se puede observar mediante el promediado de la variable en superficie, ya que los valores observados en la ***Figura 14*** muestran las acumuladas en celda (el área se ha reducido). Es decir, el filtro es atravesado por el mismo caudal, pero por un área menor. Esto hace que las partículas se concentren más sobre el filtro, por lo que aumenta su colmatación.

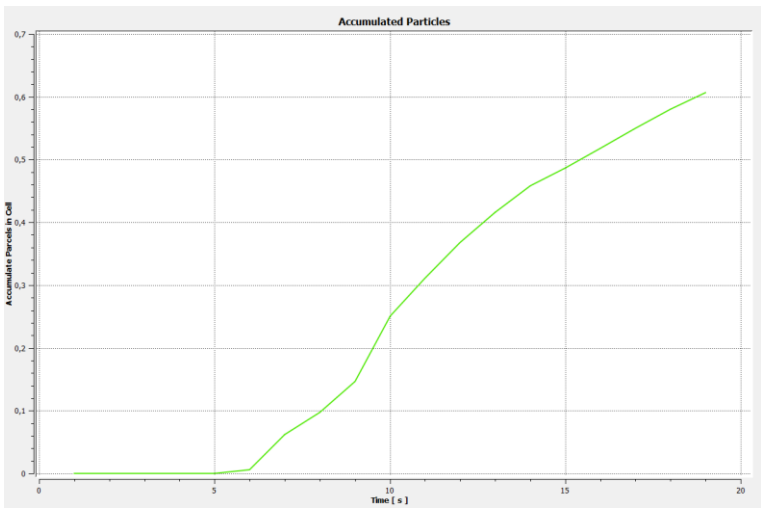
Cabe destacar que, en vista del comportamiento hidrodinámico, el material de la manga no afecta a los patrones de flujo. En efecto, un cambio en el componente de la manga conduciría a un cambio en la presión necesaria para proporcionar el mismo caudal. Pero una vez establecido dicho caudal, el comportamiento sería similar al presentado. Lo que sí que puede influir es la forma en que se atrapan las partículas.



a) Caso Q2



b) Caso Q5



c) Caso Q10

Figura 15.Acumulado de las partículas en el filtro modificado a lo largo del tiempo para cada caso.

4 Conclusiones

Se ha realizado una configuración base para la modelización del filtrado mediante mangas basado en una aproximación Lagrangiana que permite actuar directamente sobre qué tamaños de partícula se produce la absorción y en qué medida. Se considera que el objetivo de este estudio es la obtención del modelo, dejando para futuros estudios el determinar cómo caracterizar el proceso de atrapado de partículas en función del material y del tamaño de partícula.

Para posteriores estudios se considerará necesario no solo modificar la geometría de la manga cerámica, sino también caracterizar la geometría del reactor a fin de producir una distribución más uniforme del impacto de las partículas sobre la manga. Los resultados CFD muestran una distribución no uniforme sobre las mismas causada por la propia estructura del flujo, que tiende a hacer que las partículas se dirijan hacia la pared enfrentada con la entrada y accedan al filtro de forma no uniforme.

También se considera necesario mejorar la instalación para introducir sistemas de medida de velocidad de flujo más fiables, dado que el procesado de imágenes no ha aportado resultados cuantitativos, solo cualitativos.

5 Justificación del presupuesto

En la entrega, se adjunta por correo junto con la memoria la "RELACIÓ DE DESPESES DEL COMPTE JUSTIFICATIU" del Servei de Gestió Econòmica de la Universitat Jaume I. Aquí se resume el presupuesto.

Presupuesto de materiales:

Concepto	Coste
BOMBA AUTOSOPLANTE GAER 1.3KW MONOFA	392,29 €
CAUDALIMETRO AREA VARIABLE SC250 1"	1760,98 €
Dosificador de sólidos HI-DOSER	3214 €
2X Kingston Fury Beast DDR5 RGB 64GB (2x32GB)	462,82 €
ORDENADOR HP OMEN 45L GT22-1005NS i9	2252,07 €
PSP-50 POLYAMID PARTICLES	402 €
Tubo de metacrilato 1.25m D.Ext. 300mm D.Int. 292mm	480,87 €
Total:	**8.965,03** €

Estos materiales se han dedicado a la construcción de la instalación de laboratorio y la realización de medidas (bomba, tubo de metacrilato, dosificador), la realización de medidas (partículas , y caudalímetro), y la simulación (ordenador y memoria RAM).

Presupuesto de personal:

La realización de las actividades del proyecto ha conllevado la dedicación de las siguientes horas por parte de personal del Grupo de Flujos Multifásicos:

DNI	Investigador	Coste hora	Horas dedicadas	Coste total de dedicación
24385733Y	Raúl Martínez Cuenca	36,33	25	908,25
52794899D	Sergio Chiva Vicent	47,87	20	957,40
20259919R	Salvador Francisco Torro Cueco	31,68	30	950,40
53792870X	Delia Trifi Rufino	18,49	80	1479,20
			TOTAL	4295,25

A este coste hay que añadir 1000 € como ingreso en nómina a Salvador Torró como técnico de laboratorio.