

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Estudio del flujo en una bomba de polígono mediante simulación numérica
(CFD) y simulación física**

Memoria

**Adrián Muñoz Martín
PONENTE: Klára Vékony**

PRIMAVERA 2016



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Resum

Estudiar i investigar el flux que te lloc dins de una bomba de polígon, de cargol i cilíndrica, estudiar les bombes, el seu funcionament i característiques, realitzant simulacions i preparant els experiments i el equip per tindre en un petit model per investigar els paràmetres de flux dins de la bomba i per estudiar les condicions de flux. S'ha fet servir programes de CAD i CFD per fer el model 3D i les simulacions paramètriques amb diferents velocitats i viscositats per poder comparar les simulacions de totes les bombes. Y s'ha construït un equip experimental senzill per realitzar assajos físics.

Resumen

Estudiar e investigar el flujo que tiene lugar dentro de una bomba de polígono de tornillo y cilíndrica, estudiar las bombas, su funcionamiento y sus características, realizando simulaciones numéricas y tener preparado un equipo para investigar los parámetros de flujo dentro de la bomba y para estudiar las condiciones de flujo. Se han usado programas de CAD y CFD para hacer el modelo 3D y las simulaciones paramétricas con diferentes velocidades y viscosidades para poder comparar las simulaciones de todas las bombas. Y se ha construido un equipo experimental sencillo para realizar ensayos físicos.

Abstract

Study and investigate the flow inside a polygonal pump study the pumps, cylindrical and screw pump, its performance and characteristics, performing numerical simulations and prepare the experiment and equipment to investigate the flow parameters within the pump and to study flow conditions. It has been used CAD and CFD programs to make the 3D model and parametric simulations with different speeds and viscosities to compare all those simulations. And it has built a simple experimental equipment to perform physical tests.

Índice.

| | |
|--|------|
| Índice de figuras. | III |
| Índice de tablas. | VII |
| Glosario de términos..... | VIII |
| 1. Objetivos..... | 1 |
| 1.1. Propósitos. | 1 |
| 1.2. Introducción..... | 1 |
| 1.3. Objeto. | 1 |
| 1.4. Alcance. | 1 |
| 2. Introducción..... | 3 |
| 2.1. Bombas y sus diferentes aplicaciones. | 3 |
| 2.2. Idea original. | 4 |
| 2.3. Objetivos y especificaciones técnicas..... | 5 |
| 3. Estado de las bombas..... | 7 |
| 3.1. Tipos de bombas..... | 7 |
| 3.2. Ecuaciones de los fluidos | 11 |
| 4. Simulación numérica con OpenFoam..... | 17 |
| 4.1. Navier Stokes..... | 17 |
| 4.2. Procesos para obtener una simulación numérica. | 19 |
| 4.2.1. Geometria..... | 19 |
| 4.2.2. Mallado. | 20 |
| 4.2.3. Simulación..... | 21 |
| 4.2.4. Post Processing..... | 21 |
| 5. Procesos para la realización de una simulación..... | 23 |
| 5.1 Geometria..... | 23 |
| 5.1.1 Creación de la geometria 2D..... | 23 |
| 5.1.2 Creación de la geometria 3D..... | 27 |
| 5.2 Malla. | 30 |
| 5.3 Simulación OpenFoam y pyFoam | 36 |
| 5.3.1 Preparación de archivos | 36 |
| 5.3.2 pyFoam..... | 43 |

| | |
|---|----|
| 5.4 Post Processing | 52 |
| 6. Resultados de las simulaciones. | 55 |
| 6.1. Bomba Cilíndrica | 55 |
| 6.1.1. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica..... | 55 |
| 6.1.2. Presión en la salida de la bomba cilíndrica. | 57 |
| 6.2. Bomba de tornillo. | 59 |
| 6.2.1. Dirección en la bomba de tornillo para diferentes viscosidades | 59 |
| 6.2.2. Tensión cortante según la velocidad de giro..... | 61 |
| 6.2.3. Vorticidad de las 3 bombas. | 64 |
| 6.3 Bomba Poligonal..... | 66 |
| 6.3.1. Velocidad bomba poligonal..... | 66 |
| 6.3.2 Presión en la bomba poligonal según la velocidad.. | 68 |
| 6.3.3. Desplazamiento de varios fluidos en la bomba poligonal..... | 72 |
| 7. Construcción modelo práctico. | 73 |
| 7.1. Componentes. | 73 |
| 7.2. Configuración. | 74 |
| 7.3 Monaje. | 75 |
| 7.4 Prueba. | 76 |
| 8. Planificación del proyecto. | 77 |
| 8.1 Definición de tareas. | 77 |
| 8.2 Tareas y precedencias. | 79 |
| 8.3 Diagrama de Gantt | 80 |
| 9. Impacte Medioambiental. | 81 |
| 9.1 Impactos | 81 |
| 9.2 Resumen y conclusiones | 82 |
| 10. Conclusiones..... | 83 |
| 10.1 Desviaciones | 84 |
| 11. Referencias. | 87 |

Índice de figuras.

| | |
|--|----|
| Fig. 3.1. Clasificación de los varios tipos de bombas | 8 |
| Fig. 3.2. Geometrías eje interior..... | 14 |
| Fig. 3.3. Excentricidad eje interior..... | 14 |
| Fig. 3.4. Sentido de rotación..... | 15 |
| Fig.5.1. Geometría Eje interior 2D bomba poligonal..... | 25 |
| Fig.5.2. Geometría Eje exterior 2D bomba poligonal..... | 26 |
| Fig.5.3. Geometría Eje interior 3D bomba poligonal tras extrusión y torsión..... | 27 |
| Fig.5.4. Zona de estudio y circulación de fluido de la bomba poligonal..... | 28 |
| Fig.5.5. Varias vistas de la zona de estudio y circulación de fluido de la bomba poligonal..... | 28 |
| Fig.5.6. Varias vistas de la zona de estudio y circulación de fluido de la bomba tornillo..... | 29 |
| Fig.5.7. Varias vistas de la zona de estudio y circulación de fluido de la bomba cilíndrica..... | 29 |
| Fig.5.8 Grupos de la simulación..... | 30 |
| Fig.5.9. Vista de la malla en la bomba poligonal..... | 31 |
| Fig.5.10. Elección de la geometría de la malla..... | 32 |
| Fig.5.11. Evaluación de la malla..... | 32 |
| Fig.5.12. Vista interior de la malla en la bomba de tornillo..... | 33 |
| Fig.5.13. Vista transparente de la malla..... | 33 |
| Fig.5.14. Vista superior de la malla en la bomba cilíndrica..... | 34 |
| Fig.5.15. Vista transparente de la malla en la bomba cilíndrica..... | 34 |
| Fig.5.16. Vista interior de la malla en la bomba poligonal..... | 35 |
| Fig.5.17. Vista transparente de la malla en la bomba poligonal..... | 35 |
| Fig.5.18. Comando de conversión para el terminal..... | 36 |

| | |
|---|----|
| Fig.5.19. Malla en OpenFoam. | 36 |
| Fig.5.20. Variables “0” | 37 |
| Fig.5.21. Variables de epsilon. | 37 |
| Fig.5.22. Variables de “k” y “nut”. | 38 |
| Fig.5.23. Variables de “p” y “Urel” | 39 |
| Fig.5.24. Variables “Constant”. | 40 |
| Fig.5.25. RASProperties | 40 |
| Fig.5.26. SRFProperties | 41 |
| Fig.5.27. transportProperties. | 41 |
| Fig.5.28. Numero de caras de la malla. | 42 |
| Fig.5.29. Parámetros de controlDict. | 42 |
| Fig.5.30. Programa ejecución en cadena. | 45 |
| Fig.5.31. Archivo vorticity.C antes de la modificación.. | 46 |
| Fig.5.32. Archivo wallShearStress.C antes de la modificación.. | 47 |
| Fig.5.33. Archivo Make/files de vorticity | 48 |
| Fig.5.34. Archivo Make/files de wallShearStress | 48 |
| Fig.5.35. Código de acceso | 48 |
| Fig.5.36. Archivo options de vorticity | 49 |
| Fig.5.37. Archivo options de wallShearStress | 49 |
| Fig.5.38. Código creación de librería.. | 49 |
| Fig.5.39. Archivos generados por la simulación | 51 |
| Fig.5.40. Archivo ejecutable. | 52 |
| Fig.5.41. Interfaz ParaView. | 53 |

| | |
|---|----|
| Fig.5.42. Presión a lo largo de la bomba. | 54 |
| Fig.5.43. Esfuerzo cortante en las paredes.. | 54 |
| Fig.6.1. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 700 rpm | 55 |
| Fig.6.2. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 1400 rpm | 55 |
| Fig.6.3. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 2100 rpm..... | 56 |
| Fig.6.4. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 2800 rpm. | 56 |
| Fig.6.5. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 700rpm..... | 57 |
| Fig.6.6. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 1400rpm. | 57 |
| Fig.6.7. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 2100rpm..... | 58 |
| Fig.6.8. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 2800rpm..... | 58 |
| Fig.6.9. Grafica relación entre presión y velocidad..... | 59 |
| Fig.6.10. Trayectoria de la glicerina en la bomba de tornillo para 700 rpm. | 59 |
| Fig.6.11. Trayectoria de la leche en la bomba de tornillo para 700 rpm. | 60 |
| Fig.6.12. Trayectoria del petróleo en la bomba de tornillo para 700 rpm..... | 60 |
| Fig.6.13. Trayectoria del agua en la bomba de tornillo para 700 rpm..... | 61 |
| Fig.6.14. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 700rpm. | 62 |
| Fig.6.15. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 1400 rpm | 62 |
| Fig.6.16. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 2100 rpm..... | 63 |
| Fig.6.17. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 2800rpm..... | 63 |
| Fig.6.18. Vorticidad en la bomba poligonal a 700rpm. | 64 |
| Fig.6.19. Vorticidad en la bomba cilíndrica a 700rpm. | 64 |
| Fig.6.20. Vorticidad en la bomba de tornillo a 700rpm | 65 |
| Fig.6.21. Vorticidad dependiendo de la forma de la bomba.. | 65 |

| | |
|--|----|
| Fig.6.22. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 700rpm..... | 66 |
| Fig.6.23. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 1400 rpm. | 67 |
| Fig.6.24. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 2100rpm. | 67 |
| Fig.6.25. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 2800rpm..... | 68 |
| Fig.6.26. Presión viscosidad de $8.8e-07$ | 69 |
| Fig.6.27. Presión viscosidad de $1.13e-04$ | 69 |
| Fig.6.28. Presión viscosidad de $1.004e-06$ | 70 |
| Fig.6.29. Presión viscosidad de $6.48e-04$ | 70 |
| Fig.6.30. Relación presión - viscosidad..... | 71 |
| Fig.6.31. Trayectoria de los fluidos en la bomba poligonal..... | 72 |
| Fig.7.1. Conexionado Corriente – Variador - Motor..... | 75 |
| Fig.7.2. Modelo de prácticas ensamblado..... | 76 |
| Fig.8.1. Diagrama de Gant del proyecto..... | 80 |

Índice de tablas.

| | |
|---|----|
| Tabla 7.1. Tabla de tareas y precedencias..... | 80 |
| Tabla 9.1 Tabla Acciones impactantes..... | 81 |
| Tabla 9.2. Factores ambientales impactados..... | 81 |

Glosario de términos.

| | |
|------|---|
| CFD | Computational Fluid Design |
| CAD | Computer-aided-design |
| OSS | Open source software |
| 2D | Dos dimensiones |
| 3D | Tres dimensiones |
| Mm | Milímetros |
| VOF | Volume of Fluid |
| PVC | Polyvinyl Chloride |
| STEP | Standart for the Exchange of Product Data |
| UNV | application/i-deas |
| IVA | Impuesto sobre el valor añadido |
| Rpm | Revoluciones por minuto |
| “ | Pulgadas |
| Hz | Hertz |
| V | Voltio |
| CV | Caballos de vapor |
| L | Litros |
| Gb | Gigabytes |

1. Objetivos.

1.1. Propósitos.

Investigar el flujo que tiene lugar dentro de una bomba de polígono mediante simulación numérica con un programa de CFD y preparar una maqueta para poder realizar experimentos.

1.2. Finalidad.

Conocer tanto las bombas, su funcionamiento, características, simulaciones numéricas como construir un equipo experimental sencillo y hacer medidas para validar dichas simulaciones.

1.3. Objeto.

Estudio del comportamiento del fluido dentro de una bomba poligonal, mediante una simulación numérica con programas CAD y CFD. Modelo de la bomba para la realización de ensayos y resultados.

1.4. Alcance.

Realización de la geometría del eje interior y exterior de la bomba tanto en 2D como en 3D. Mallado de la camisa del eje. Simulación de la circulación del líquido dentro de la zona de estudio y visualización de las líneas de flujo en una bomba poligonal, cilíndrica y de tornillo, realizando una simulación paramétrica con diferentes viscosidades y velocidades y comparación de las distintas simulaciones de cada una de las bombas. Construcción de una bomba a pequeña escala que permita realizar pruebas para ver su funcionamiento y posteriormente comparar los resultados. Queda fuera del alcance el diseño del resto de componentes de la bomba.

2. Introducción.

2.1 Bombas y sus diferentes aplicaciones

Una bomba hidráulica es una maquina generadora que transforma la energía (generalmente mecánica) en energía del fluido incompresible que mueve. El fluido puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o altura, todas ellas relacionadas con el principio de Bernoulli (explicado posteriormente). En general una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Las primeras bombas de las que se tiene conocimiento son las ruedas persas, ruedas de agua o norias. La más conocida es el tornillo de Arquímedes, aun persistente en los tiempos modernos, todavía se manufactura para aplicaciones de baja carga (con sedimentos y otros solidos). Con todo el desarrollo tecnológico posterior que ha ocurrido se ha conseguido la transformación de la potencia del agua en otras formas de energía, hasta la fisión nuclear, la bomba queda como la segunda máquina de uso más común, excedida apenas por el motor eléctrico.

Las bombas tiene una gran cantidad de aplicaciones en la industria como por ejemplo en la extracción de agua de los pozos; en la industria petrolífera para bombear fluidos dispersos cuya finalidad es remover los productos sólidos, en la industria textil para manejar colorantes, agua, sulfuros etc. Enfriamiento de hornos y eliminación de escoria en la industria siderúrgica. Para la industria alimenticia, aunque deben tener una gran resistencia a la corrosión, no dañar los alimentos, no producir espuma etc. Por último la industria química es la que presenta problemas de bombeo más complejos y la que requiere más variedad de bombas para manejar substancias de diferente naturaleza.

2.2 Idea original

El objetivo final es poder visualizar el comportamiento de un fluido de una bomba poligonal. Se realizara de dos formas distintas de manera que se podrán comparar los resultados. Por una parte se realizara con varios software de diseño y simulación numérica, con los que se conseguirá ver el movimiento del fluido en el interior. De igual manera se ha construido un sistema que permite realizar ensayos con los que se puede ver el flujo de forma práctica.

Para la parte de la simulación se parte de un seguido de fórmulas que determinan la forma del resultado final. Posteriormente se ha creado el modelo en 3D de la parte donde circulara el fluido, una vez se tiene la forma de la bomba hay que mallarlo para crear todos los puntos donde queremos obtener información, realizar la simulación numérica y finalmente visualizar las líneas de movimiento.

Por lo que respeta a la parte práctica, se ha construido un pequeño modelo de la bomba junto con todo lo necesario para su funcionamiento (bancada, motor, tuberías etc.) Es en este punto donde podremos comparar los resultados de ambos métodos.

Dado que la parte más crítica es la fabricación y él envío de la bomba por parte del fabricante, el pedido se ha lanzado lo antes posible, de igual forma debido a la larga duración del cálculo computacional, se ha trabajado en paralelo con el montaje y construcción del ensayo. Cabe destacar que la limitación se tiene en la bomba física, por lo tanto esta es la que marca la geometría y dimensiones de la bomba, de tal forma que toda la geometría y dimensiones en la simulación vienen dadas por la bomba real.

2.3. Objetivos y especificaciones técnicas.

Este proyecto se ha fijado a conseguir los siguientes objetivos con las siguientes especificaciones técnicas.

Simular una bomba de polígono computacionalmente, cambiando los parámetros de viscosidad, revoluciones por minuto, velocidad y caudal para obtener múltiples datos con los que se puedan extraer información del comportamiento. También se realizara el mismo proceso para dos bombas distintas (Cilíndrica y de tornillo) para conocer mejor el comportamiento de las bombas poligonales al poder comparar posteriormente su comportamiento con estas.

- Preparar un modelo CAD del eje de la bomba
 - Usar mediante información ya existente y [1], [2] el diseño del eje de la bomba, este debe tener características iguales a un eje real pudiendo así usarlo para casos físicos. El modelo CAD se preparara con el programa Solid Works, con la herramienta de curva conducida por ecuación, extrusión, torsión... Y todos los procesos necesarios para obtener los resultados.
- Preparar la simulación numérica y analizar los resultados.
 - Realización del mallado. Usando una malla de tetraedros de 0.05mm de distancia. Con el programa Salome 7.5.1 (o versión superior)
 - Resolución numérica de la malla. Para una simulación paramétrica, los cuales consta de 4 Viscosidades, 4 pesos específicos y 4 velocidades, los cuales se combinaran para obtener una simulación para cada posibilidad existente. Se usara OpenFoam y pyFoam.
 - Visualización del recorrido del fluido dentro de la zona a estudiar de la bomba para poder comprobar su trayectoria, presión, velocidad y fuerza. Análisis de los resultados para ver si corresponden con el comportamiento de una bomba de polígonos. Se usara ParaView.

Montar un equipo de prácticas para poder ver cómo funciona una bomba poligonal real.

- Realización de medidas y análisis de resultados.
 - Hacer un ensayo con la maqueta para comprobar el funcionamiento, el comportamiento del fluido y tomar nota de los resultados obtenidos. Se usara una bomba con las mismas medidas que la diseñada por ordenador, motor AL-206, depósito de 57L de capacidad, variador de frecuencia PowerFlex40 y más utensilios de carácter general.

3. Estado de las bombas

3.1 Tipos de bombas

Las Bombas pueden clasificarse sobre la base de las aplicaciones a que están destinadas, los materiales con que se construyen, los líquidos que mueven y su orientación en el espacio. Todas estas clasificaciones, sin embargo, se limitan en amplitud ya que tienden sustancialmente a traslaparse entre sí. Por lo que su clasificación se reduce en; según el principio por el cual se agrega energía al fluido y la geometría comúnmente empleada. Bajo este sistema, todas las bombas pueden dividirse en dos grandes categorías:

Dinámicas, en las cuales se añade energía continuamente, para incrementar las velocidades de los fluidos dentro de la máquina a valores mayores de los que existen en la descarga, de manera que la subsecuente reducción en velocidad dentro, o más allá de la bomba, produce un incremento en la presión. Las bombas dinámicas pueden, a su vez, subdividirse en otras variedades de bombas centrífugas y de otros efectos especiales.

De desplazamiento, en las cuales se agrega energía periódicamente mediante la aplicación de fuerza a uno o más límites móviles de un número deseado de volúmenes que contienen un fluido, lo que resulta en un incremento directo en presión hasta el valor requerido para desplazar el fluido a través de válvulas o aberturas en la línea de descarga. Las bombas de desplazamiento se dividen esencialmente en los tipos reciprocantes y rotatorios, dependiendo de la naturaleza del movimiento de los miembros que producen la presión.

Cada una de estas clasificaciones mayores puede, a su vez, subdividirse en varios tipos específicos como se indica en la siguiente figura.



Fuente: Propia

Fig.3.1. Clasificación de los varios tipos de bombas

Según su forma podemos tener las siguientes:

Bomba de Potencia.

Una bomba de potencia es una máquina alternativa de velocidad constante, par motor constante y capacidad casi constante, cuyos émbolos o pistones se mueven por medio de un cigüeñal, a través de una fuente motriz externa. La capacidad de la bomba varía con el número de émbolos o pistones. En general, mientras mayor sea el número, menor es la variación en capacidad, a un número dado de rpm. La bomba se diseña para una velocidad, presión, capacidad y potencia específicas. La bomba puede aplicarse a condiciones de potencia menores que las del punto específico de diseño, pudiendo trabajar tanto en vertical como en horizontal.

Bomba de Vapor de doble acción.

Bomba alternativa de desplazamiento positivo en la que el embolo o pistón desplaza un volumen dado de fluido en cada carrera. El principio básico es que un sólido desplazara un volumen igual de líquido que su volumen sumergido. Como el nombre indica tiene 2 acciones, el golpe de succión y el golpe de descarga. El golpe de succión sucede cuando el embolo se mueve hacia fuera, provocando que presión del fluido se reduzca. Cuando la presión es menor que la de la tubería de succión la válvula de succión se abre y el líquido fluye para llenar el volumen al retirar el embolo. Cuando el embolo llega al extremo el movimiento se invierte, iniciándose el golpe de descarga. Este origina un incremento en la presión del líquido, esta es mayor que la presión en la tubería de succión originando que la válvula se cierre. En este punto la presión sigue elevándose,

cuando esta alcanza la presión de la válvula de descarga es forzada a abrirse y el líquido fluye por la tubería de descarga.

Bomba Centrífuga

Las bombas centrífugas prevén su nombre al hecho de que elevan el líquido por la acción de la fuerza centrífuga, que la imprime un rotor, colocado en su interior, el cual es accionado por un motor eléctrico. Esta consta de un rotor el cual gira dentro de la caja envolvente, generalmente de forma espiral. El líquido proveniente de la cañería por el centro del rotor, al girar bruscamente la masa líquida crea una fuerza centrífuga, que lo hace salir por los canales situados entre los alavés.

Las bombas centrífugas evolucionaron a las bombas de hélice o de flujo axial, como inconveniencia por ir aumentando el diámetro de la caja del rotor para así permitir el ingreso de mayores caudales. Con estas si se dispone de más caudal se dispone de uno o más rotores sobre el mismo árbol motor.

Bomba de desplazamiento no positivo

Una bomba de desplazamiento no positivo, también llamada hidrodinámica no dispone de sistemas de estanqueidad entre los orificios de entrada y salida; por ello produce un caudal que varía en función de la contrapresión que encuentre el fluido a su salida. El caudal suministrado por la bomba no tiene suficiente fuerza para vencer la presión que encuentra en la salida y al no existir estanqueidad entre esta y la entrada el fluido fuga interiormente de un orificio a otro y disminuye el caudal a medida que aumenta la presión.

Bomba de desplazamiento positivo

Al contrario que las no positivas estas son llamadas hidrostáticas, son las encargadas de transformar la energía mecánica en hidráulica. Son aquellas que suministran la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independiente de la presión que encuentre el líquido a su salida. Guían el fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa etc. Y la carcasa o cilindro. Consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de

desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo, sino que puede tener movimiento rotatorio.

Según la energía que se suministra tenemos los siguientes tipos:

Electrobombas: es una máquina generadora que transforma energía mecánica, en energía hidráulica del fluido incompresible que desplaza. Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.

Bombas neumáticas: Es un tipo de bomba de desplazamiento positivo alternativo, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas membranas elásticas que permiten crear un volumen variable en la cámara de bombeo, aumentándola en la fase de aspiración y reduciéndola en la fase de expulsión del fluido. Unas válvulas de retención controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión. La acción de estas bombas es neumática, o sea que se aprovecha la presión del aire comprimido, o de cualquier otro gas compatible con el uso.

Bombas de accionamiento hidráulico: Es una bomba que utiliza la energía cinética de un golpe de ariete sobre un fluido para subir una parte de ese fluido a un nivel superior. No necesita por lo tanto aporte de otra energía exterior. Esto y su sencillez la hacen adecuada para lugares remotos donde no hay acceso a energía eléctrica o motores de otro tipo. Mediante un ariete hidráulico, se puede conseguir elevar parte del agua de un arroyo a una altura superior. También se puede emplear para riego por aspersión. El ariete hidráulico es un sistema de construcción sencilla y su rendimiento energético es de cerca del 70%.

Bombas manuales: Es una bomba hidráulica, que usa la fuerza humana y la ventaja mecánica para mover los líquidos o el aire de un lugar a otro. Son ampliamente utilizadas en todos los países del mundo para una variedad de aplicaciones industriales, marinas, riego y actividades de ocio.

Hay muchos diferentes tipos de bomba de mano disponibles, que operan principalmente mediante un pistón, un diafragma o un principio de paletas rotativas con una válvula antiretorno a la entrada y uno o más agujeros de salida en la cámara de operación en direcciones opuestas. La mayoría de las bombas manuales tienen émbolos o pistones alternativos, y son de desplazamiento positivo.

3.2 Ecuaciones de los fluidos

Ecuación de Bernoulli.

Un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento e isotérmico) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
- Potencial o gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.
- Energía de presión: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

Ecuación de Bernoulli:

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{Constante} \quad (3.1)$$

Dónde:

- V = velocidad del fluido en la sección considerada.
- ρ = densidad del fluido.
- P = presión a lo largo de la línea de corriente.
- g = aceleración gravitatoria
- z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

Para aplicar la ecuación se deben realizar los siguientes supuestos:

- Viscosidad (fricción interna) = 0 Es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra en una zona 'no viscosa' del fluido.

- Caudal constante
- Flujo incompresible, donde ρ es constante.
- La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente o en un flujo laminar.
- Es un fluido isotérmico, tiene la misma temperatura.

En este punto se puede explicar el **Efecto Venturi** partir del principio de Bernoulli. El efecto Venturi consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor

Si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, necesariamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Por el teorema de la conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión disminuye forzosamente.

Según el principio de Bernoulli:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \quad (3.2)$$

Dónde:

- V = velocidad del fluido en la sección considerada.
- g = aceleración gravitatoria, $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$.
- P = presión en cada punto de la línea de corriente.
- γ es el peso específico.
- z = altura, en vertical, sobre una cota de referencia.

3.3 Explicación Ecuaciones paramétricas.

Para el diseño 2D de la bomba es necesario el uso de estas ecuaciones, permiten representar una curva o superficie en el plano o en el espacio, mediante valores que recorren un intervalo de números reales o mediante una variable, considerando cada coordenada de un punto como una función dependiente del parámetro.

La expresión paramétrica de una función permite la construcción de una gran variedad de formas, simplemente variando alguna constante. Es necesario el uso de la función paramétrica:

$$x = h \cos \varphi + e \cos n \varphi \quad (3.3)$$

$$y = h \sin \varphi - e \sin n \varphi \quad (3.4)$$

La cual generara posteriormente la geometría necesaria para obtener el diseño 2D de los dos ejes.

Un ejemplo para entender como funcionaria en un caso conocido:

Circunferencia:

Una circunferencia con centro en el origen de coordenadas y radio “r” verifica que:

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (3.5)$$

Una expresión paramétrica es:

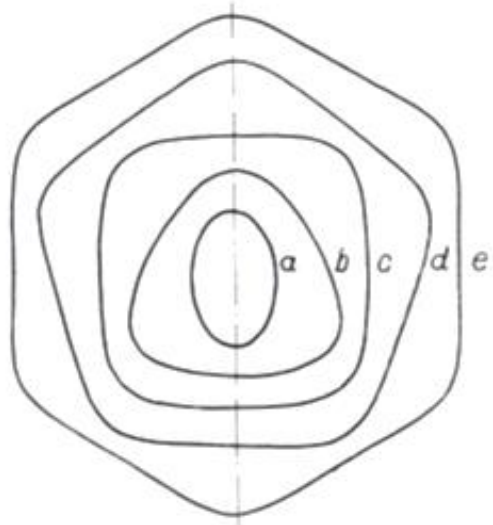
$$\left\{ \begin{array}{l} x = r * \cos(t) \\ y = r * \sin(t) \end{array} \right. \quad (3.6)$$

Respecto a la ecuación (3.3) los parámetros h, e, n y el sentido de rotación a la hora de fabricarla (no se refleja en la formula pero modifica su geometría) la modifican de la siguiente manera.

Altura “h”: Al aumentar la altura la forma del polígono no cambia, solamente incrementa su tamaño, manteniendo su geometría.

Numero de ángulos “n”: según el número de ángulos que contenga la ecuación la geometría variara. Pudiendo tener forma triangular, cuadrada, pentagonal etc.

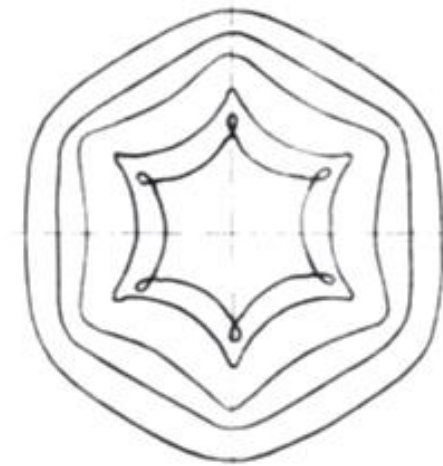
Donde en la figura 3.2 (a) tiene 2 ángulos, (b) tiene 3 ángulos, (c) tiene 4 ángulos etc.



Fuente: [2]

Fig.3.2. Geometrías eje interior

Excentricidad “e”: Al modificar la excentricidad que existe entre los dos centros hace que los “vértices” del polígono adopten diferentes formas, haciendo que se retuerzan o se estiren.

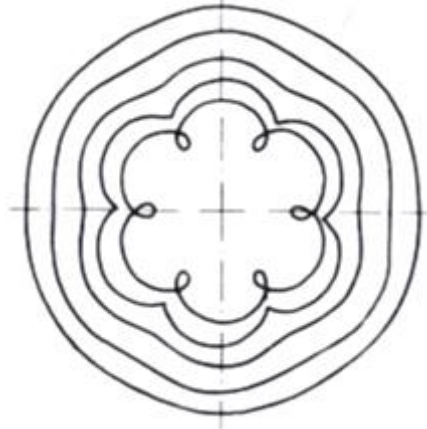


Fuente: [2]

Fig.3.3. Excentricidad eje interior

Sentido de rotación.

Si el sentido de rotación entre el torno y el cilindro interior-exterior es opuesto, la geometría del polígono también se ve afectada. Se convierte en la imagen inversa de la figura.3.3



Fuente: [2]

Fig.3.4. Sentido de rotación

4. Simulación numérica con OpenFoam

Para entender las simulaciones realizadas se deben explicar los siguientes conceptos, debido a que describen matemáticamente los comportamientos que tendrán los fluidos y son la base teórica de ellas.

4.1. Navier Stokes

Las ecuaciones de Navier-Stokes reciben su nombre de Claude-Louis Navier y George Gabriel Stokes. Se trata de un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido. Estas ecuaciones gobiernan la atmósfera terrestre, las corrientes oceánicas y el flujo alrededor de vehículos o proyectiles y, en general, cualquier fenómeno en el que se involucren fluidos newtonianos.

Estas ecuaciones se obtienen aplicando los principios de conservación de la mecánica y la termodinámica a un volumen fluido. Haciendo esto se obtiene la llamada formulación integral de las ecuaciones. Para llegar a su formulación diferencial se manipulan aplicando ciertas consideraciones, principalmente aquella en la que los esfuerzos tangenciales guardan una relación lineal con el gradiente de velocidad (ley de viscosidad de Newton), obteniendo de esta manera la formulación diferencial que generalmente es más útil para la resolución de los problemas que se plantean en la mecánica de fluidos.

Sirven para modelar un fluido:

- sin conductividad térmica;
- sin reacciones químicas;
- sin transferencia de calor por radiación;
- sin efectos relativistas (mucho más lento que la luz);
- modelable como un medio continuo (así que no valen para atmósferas muy enrarecidas).

Estas hipótesis, aunque parecen restrictivas, son aplicables a muchísimos casos de interés práctico. El aire alrededor de un vehículo con buenas formas aerodinámicas (por ejemplo, un avión).

Como ya se ha dicho, las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales. No se dispone de una solución general para este conjunto de ecuaciones, y salvo ciertos tipos de flujo y situaciones muy concretas no es posible hallar una solución analítica; por lo que en muchas ocasiones es preciso recurrir al análisis numérico para determinar una solución aproximada. A la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa de la obtención de estas soluciones mediante métodos numéricos se la denomina dinámica de fluidos computacional o CFD (Computational Fluid Dynamics).

Esta expresión representa el principio de conservación del momento lineal aplicada a un fluido general, la cual establece que si la resultante de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo o sistema es nula, su momento lineal permanece constante en el tiempo, esta es una consecuencia de la tercera ley de Newton.

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [2\mu (e_{ij} - \Delta\delta_{ij}/3)] \quad (4.1)$$

La ley de conservación de la masa se escribe:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.2)$$

En estas ecuaciones ρ representa la densidad, u_i ($i = 1, 2, 3$) las componentes cartesianas de la velocidad, F_i las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo, como la gravedad, P la presión del fluido, y μ la viscosidad dinámica.

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.3)$$

$\Delta_{ij}=1$ si “i” es igual a “j”; $\Delta_{ij}=0$ si “i” es diferente que “j”. D / Dt es la derivada total o derivada material temporal siguiendo el fluido:

$$\frac{D}{Dt}(\cdot) \equiv \frac{\partial(\cdot)}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla)(\cdot) \quad (4.4)$$

La no linealidad de las ecuaciones se debe precisamente al término relacionado con la derivada total. Cuando μ es uniforme sobre todo el fluido las ecuaciones de fluido se simplifican de la manera siguiente:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{3} \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_j} \right) \quad (4.5)$$

O en forma vectorial:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \rho \mathbf{F} - \nabla P + \mu \left(\frac{1}{3} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \nabla^2 \mathbf{u} \right) \quad (4.6)$$

4.2 Procesos para obtener una simulación numérica.

A continuación se explican de forma genérica los procesos y tipos de programas necesarios para la obtención de una simulación numérica, así como los pasos más generales. Hay 4 grandes etapas; Creación de la geometría, Mallado, simulado y post proceso. Para la creación de la geometría es necesario un programa CAD, uno de mallado para crear la Malla, un programa CFD para la simulación y un software de visualización para el post proceso.

Todos estos procesos se realizaran 3 veces, una para la bomba poligonal, otra para la de tornillo y por última para la cilíndrica, el método es el mismo tan solo cambia la geometría cuando se debe de crear con el programa CAD

4.2.1 Geometría.

El proceso de creación empieza a partir de una geometría 2D con la forma del eje tanto interior como exterior, para ello es necesario usar formulas paramétricas que generen dicha geometría. Como ya se ha comentado antes, la geometría de estas cambiara según el valor de las variables, de forma que se pueda ajustar y obtener las dimensiones requeridas.

Cuando ya se tiene las 2 geometrías en 2D lo siguiente que hay que hacer es convertirlas a 3D y además en este caso darles una forma concreta. Para ello hay que seguir los siguientes pasos:

Extrusión

Partiendo de la geometría 2D anterior el siguiente paso es darle volumen en la tercera dimensión. Utilizando la herramienta “Extrusión” con una cierta longitud obtenemos la geometría a lo largo del plano seleccionado.

Torsión

La forma de los ejes no es recta, por lo que hay que aplicar una torsión en ambos ejes. Se debe seleccionar ambas caras del eje y aplicar una diferencia (en grados). Recordar que un eje debe tener el doble de grados que el otro.

Obtención de la zona de circulación.

Una vez se dispone de los dos ejes en 3D, con la torsión correcta, centrados uno con el otro y a la misma altura; Solamente nos interesa estudiar la zona por la cual circulara el fluido, y esa es la que no es común entre los dos ejes, por lo tanto hay que aplicar la operación “Combinar” para que elimine el material común entre ambos y reste solamente el material que nos interesa, ya que el líquido no pasara ni por dentro del eje interior ni por fuera del eje exterior, solamente por el espacio que resta entre los dos.

Preparación archivo

El último paso es la conversión del diseño CAD para poder ser tratado en un programa de CFD, el formato de salida tiene que ser “STEP” para que pueda haber compatibilidad con los siguientes procesos.

4.2.2. Mallado

Partiendo del archivo anterior el cual es la zona por donde circula el fluido se debe aplicar un mallado a la figura para tener información del comportamiento del fluido a lo largo del cuerpo. El primer paso es marcar las entidades del cuerpo. En este caso se marca una de las caras del eje como “entrada” la otra como “salida” y la parte restante como “paredes”. Este proceso es necesario para el posterior cálculo ya que será la forma en la que indicaremos por donde entrara el líquido, por donde habrá “muros” que impiden su salida y por donde evacuará.

Una vez aplicados todos los grupos (identidades) se procede a la creación de la malla. En este punto se debe elegir un tipo de malla, teniendo varias opciones, como forma, dimensiones de la malla, tamaño.... Como la figura esta en 3D la malla elegida es 3D debido a que necesitamos información dentro del cuerpo (las mallas 1D solo son solo una línea y las 2D una superficie),

cuanto más pequeña sea el tamaño de la malla más pequeño será la figura y más tendremos en su interior, por lo tanto más puntos de información. Por contra se requiere más tiempo para el proceso de cálculo.

Preparación archivo

De igual manera que en el proceso anterior se debe exportar en un formato adecuado para poder ser tratado por un programa de cálculo computacional posteriormente, de esta forma será extraído en “unv”.

4.2.3. Simulación.

Tras obtener el archivo unv creado por el mallado el siguiente paso es tratar dicho archivo. Para poder realizar la simulación se debe aplicar todos los parámetros que afectan a nuestro objeto; Presión que tiene en la entrada y salida, velocidad del fluido, que fluido circula, viscosidad etc. De tal forma que la simulación se realice conforme lo que nosotros queremos ver. Una vez ajustados todos los parámetros se requiere un programa CFD que solucione este problema mecánico continuo. De forma que calcule los parámetros en todos y cada uno de los puntos de la malla que contiene el objeto 3D y además que realice múltiples iteraciones para poder observar su variación a lo largo del tiempo. Una vez finalizado se obtiene todas las reacciones que han sucedido en cada punto de la malla.

4.2.4. Post Processing.

Partiendo de los resultados anteriores y utilizando un software de visualización de post-proceso se puede observar el comportamiento del fluido, su recorrido, presión a lo largo de los puntos, velocidad a lo largo de la bomba, fuerza que reciban las paredes etc. En este punto no existe solución única, todo depende de lo que se desea ver. Se dispone de una gran variedad de posibilidades, herramientas de cortes para poder ver el interior del eje, leyendas con paletas de color para poder ver los valores máximos y mínimos de cierto parámetro, funciones para poder ver el movimiento del eje a lo largo del tiempo etc.

5. Procesos para la realización de una simulación.

5.1 Geometría

Mencionar en este punto donde se genera el diseño, que como se ha dicho previamente las medidas y geometrías con las que se trabajan vienen dadas por la bomba con la que se realiza el experimento práctico, de forma que la dos tengan las mismas dimensiones para que se puedan comparar los resultados y funcionamiento. Se puede crear una bomba con diferentes números de ángulos, pero tanto en la simulación como en la práctica se ha optado por 2 (Elipse) ya que es la más fiable y fácil para la fabricación. El proceso para el diseño de las 3 bombas es el mismo, a continuación se detalla el de la bomba de Polígono solamente para no repetir los mismos procesos 3 veces siempre.

Los datos para la bomba poligonal son los siguientes:

Eje interior Db: 26mm Dk: 38mm Eje exterior Db 32mm Dk: 44mm

5.1.1 Creación de la geometría 2D.

Para la creación de la geometría de los dos ejes se ha usado las siguientes formulas:

$$x = h \cos \varphi + e \cos n \varphi$$

$$y = h \sin \varphi - e \sin n \varphi$$

$$h = ((Db + Dk)/2)/2$$

$$e = ((Db + Dk)/2)/2$$

$$n = N - 1$$

-h: distancia entre el círculo de rodadura y el centro de gravedad

-e: excentricidad

-N: número de ángulos de la geometría

-Db: longitud del círculo interior

-Dk: longitud del círculo exterior

Calculo de la geometría del eje interior.

La distancia entre el círculo de rodadura y el centro de gravedad es:

$$h = ((Db + Dk)/2)/2$$

$$h = \frac{\frac{38 + 26}{2}}{2}$$

$$h = 16\text{mm}$$

Excentricidad:

$$e = ((Db - Dk)/2)/2$$

$$e = \frac{\frac{38 - 26}{2}}{2}$$

$$e = 3\text{mm}$$

El número de ángulos es 2 debido a que la bomba tiene forma de elipse, por lo tanto N=2.

$$n = N - 1$$

$$n = 2 - 1$$

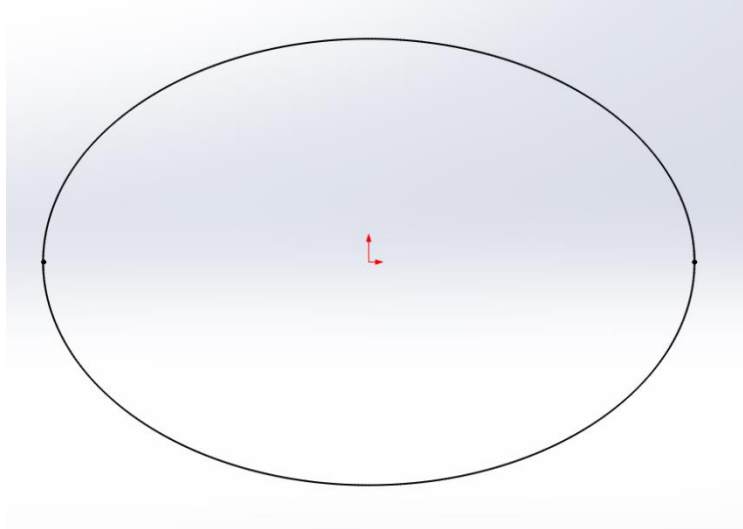
$$n = 1$$

La fórmula con nuestros valores es la siguiente:

$$x = 16 \cos \varphi + 3 \cos 1 \varphi$$

$$y = 16 \sin \varphi - 3 \sin 1 \varphi$$

Donde φ vale desde 0 hasta 2π . De esta forma se obtiene la siguiente geometría:



Fuente: Propia

Fig.5.1. Geometría Eje interior 2D bomba poligonal

Calculo de la geometría del eje exterior

Para la geometría del eje exterior hay una modificación en la fórmula que calcula “n”.

$$n2 = (0.5 * n1) - 1$$

La distancia entre el círculo de rodadura y el centro de gravedad es:

$$h = ((Db + Dk)/2)/2$$

$$h = \frac{\frac{44 + 32}{2}}{2}$$

$$h = 19\text{mm}$$

Excentricidad:

$$e = ((Db + Dk)/2)/2$$

$$e = \frac{\frac{44 - 32}{2}}{2}$$

$$e = 3mm$$

Para N=2:

$$n2 = (0.5 * n1) - 1$$

$$n = (0.5 * 1) - 1$$

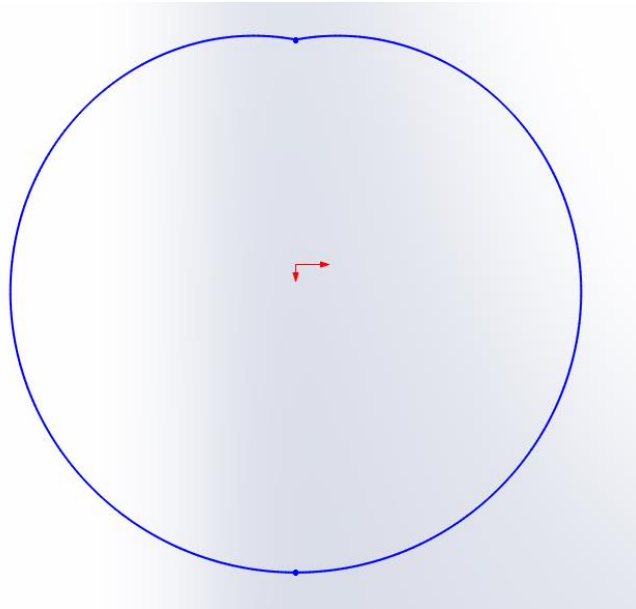
$$n = -0.5$$

La fórmula con nuestros valores es la siguiente:

$$x = 19 \cos \varphi + 3 \cos(-0.5) \varphi$$

$$y = 19 \sin \varphi - 3 \sin(-0.5) \varphi$$

Donde φ vale desde 0 hasta 2π . De esta forma se obtiene la siguiente geometría:



Fuente: Propia

Fig.5.2. Geometría Eje exterior 2D bomba poligonal

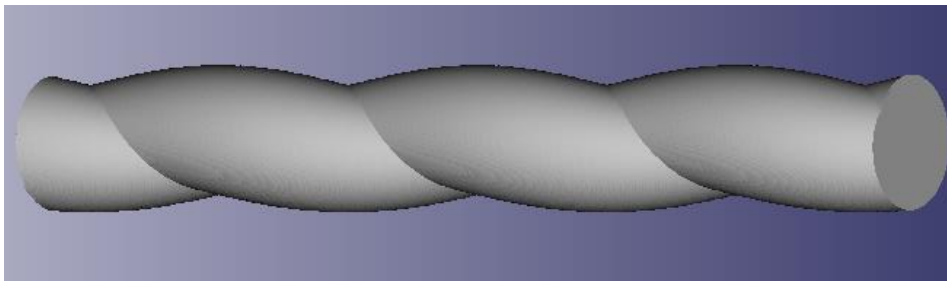
5.1.2. Creación de la geometría 3D

Extrusión

Partiendo de la geometría anterior el siguiente paso es darle volumen en la tercera dimensión. Utilizando la herramienta “Extrusión” con una longitud de 188,5mm obtenemos la geometría a lo largo del eje.

Torsión

La forma del eje no es recta, por lo que hay que aplicar una torsión en ambos ejes. Para el eje interior tiene que haber una diferencia de ángulo de 360° desde su inicio hasta su final. Mientras que para el eje exterior debe ser del doble, es decir 720° .

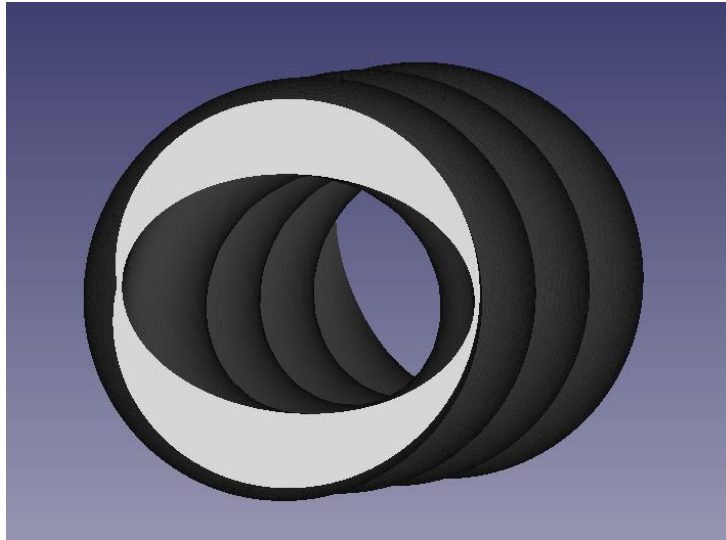


Fuente: Propia

Fig.5.3. Geometría Eje interior 3D bomba poligonal tras extrusión y torsión

Obtención de la zona de circulación.

Como se ha mencionado anteriormente solamente interesa estudiar la zona por la cual circula el fluid, y esa es la que se encuentra entre los dos ejes, por lo tanto hay que aplicar la operación “Combinar” para que elimine el material común entre ambos y reste solamente el material que nos interesa.



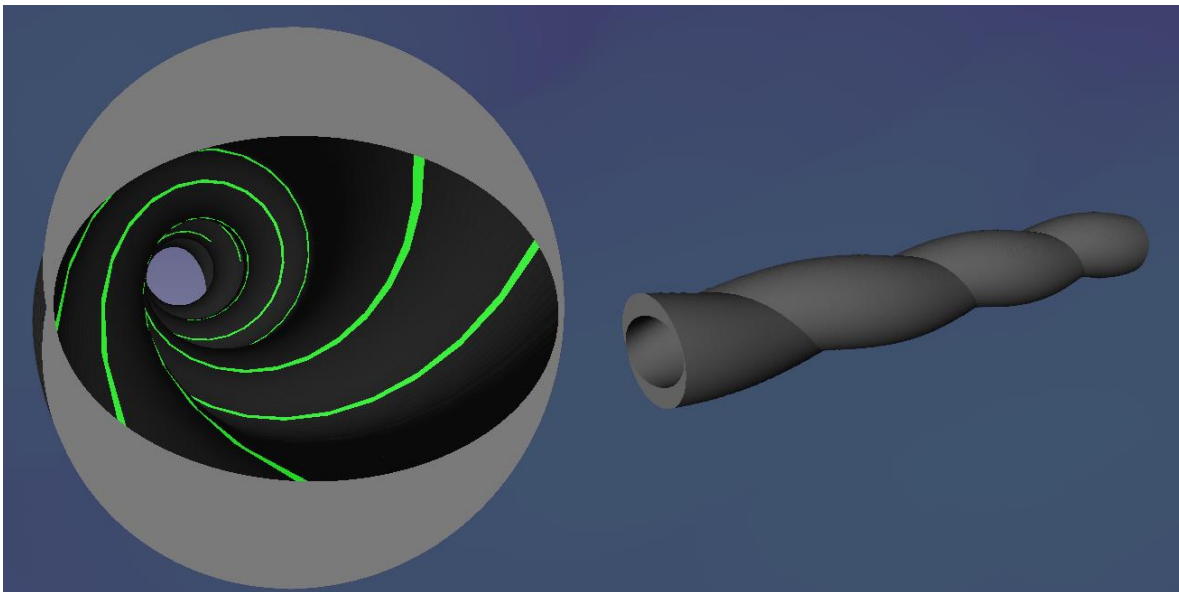
Fuente: Propia

Fig.5.4. Zona de estudio y circulación de fluido de la bomba poligonal

Preparación archivo

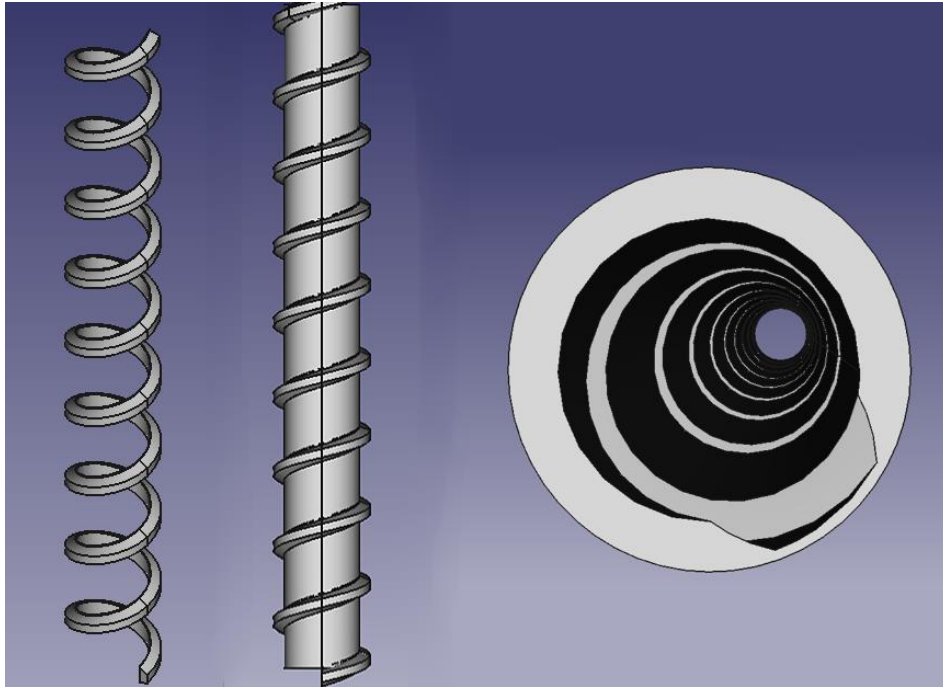
El último paso es la conversión del diseño en CAD para poder ser tratado en un programa de CFD, el formato de salida tiene que ser “.STEP” para que pueda haber compatibilidad con los siguientes procesos.

El resultado que se obtiene para la bomba poligonal la bomba de tornillo y el cilindro son:



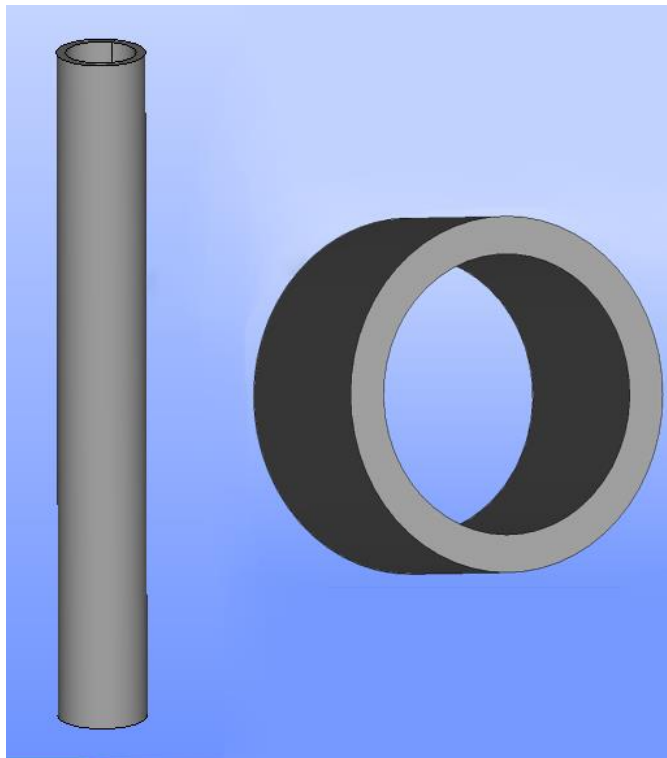
Fuente: Propia

Fig.5.5. Varias vistas de la zona de estudio y circulación de fluido de la bomba poligonal



Fuente: Propia

Fig.5.6. Varias vistas de la zona de estudio y circulación de fluido de la bomba de tornillo



Fuente: Propia

Fig.5.7. Varias vistas de la zona de estudio y circulación de fluido de la bomba cilíndrica

5.2 Malla

Partiendo del archivo anterior se debe aplicar un mallado a la figura 3D para tener información del comportamiento del fluido a lo largo del cuerpo. Al igual que con el mallado este es el proceso exacto para la bomba poligonal, la de tornillo y cilíndrica es parecido o sino el mismo, al final se mostrara el resultado de las 3.

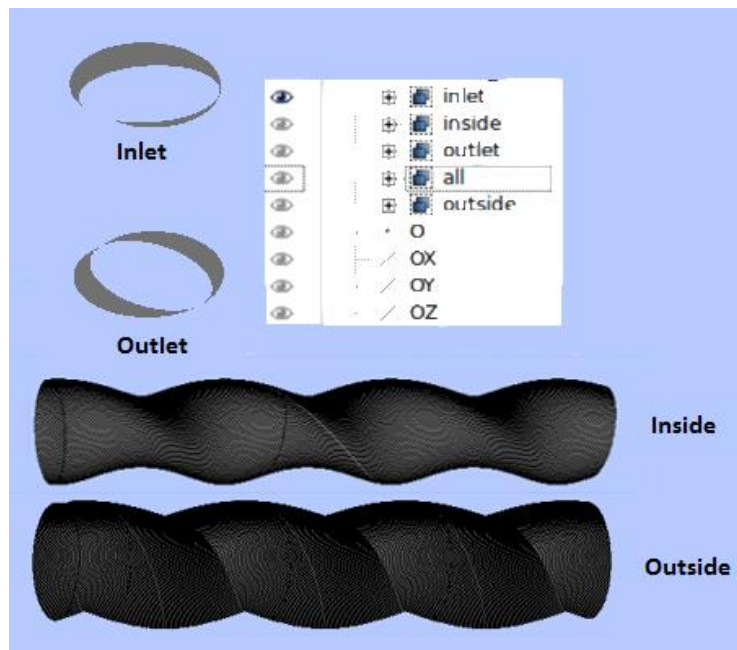
Primero hay que crear los grupos, que son divisiones en la geometría, para posteriormente cuando el programa CFD realice los cálculos se le indique la situación inicial en cada uno. Para ello hay que acceder a la barra de acción, allí hay que seleccionar New Entity / Group / Create y posteriormente seleccionar que elementos de la geometría forman parte de ese grupo. Para la bomba existe.

-Inlet: Entrada del líquido.

-Outlet: Salida del líquido.

-Inside: parte de la pared interior que está en contacto con el eje interior.

-Outside: parte de la pared que está en contacto con el eje exterior.

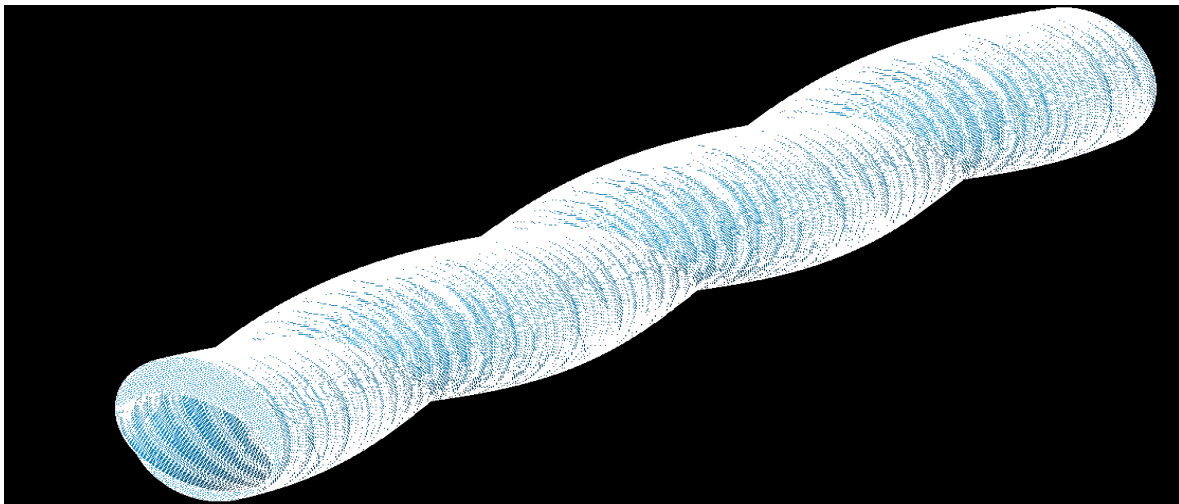


Fuente: Propia

Fig.5.8 Grupos de la simulación

Una vez aplicados todos los grupos (identidades) se procede a la creación de la malla.

En este punto se debe elegir un tipo de malla, teniendo varias opciones, como forma, dimensiones de la malla, tamaño.... Como la figura está en 3D la malla elegida es 3D debido a que necesitamos información dentro del cuerpo, las mallas 1D solo son una línea y las 2D una superficie, pero como es necesario conocer el comportamiento dentro del cuerpo hace falta una malla 3D, la geometría elegida es en forma de tetraedro ya que es más precisa, debido a que es la figura 3D más pequeña por lo tanto será con la que se obtiene más cantidad en el interior y por lo tanto más puntos de información. El tamaño máximo de la geometría será de 0.05mm (cuanto más pequeño más preciso, pero el tiempo de cálculo incrementa de forma significativa). Tras un tiempo moderado de cálculo se obtiene lo siguiente:

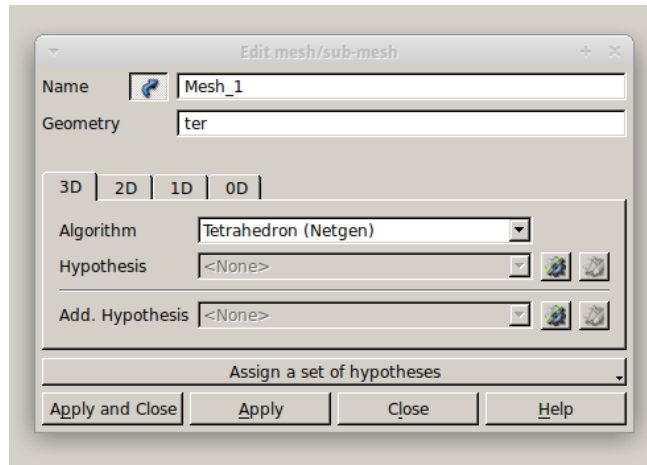


Fuente: Propia

Fig.5.9. Vista de la malla en la bomba poligonal.

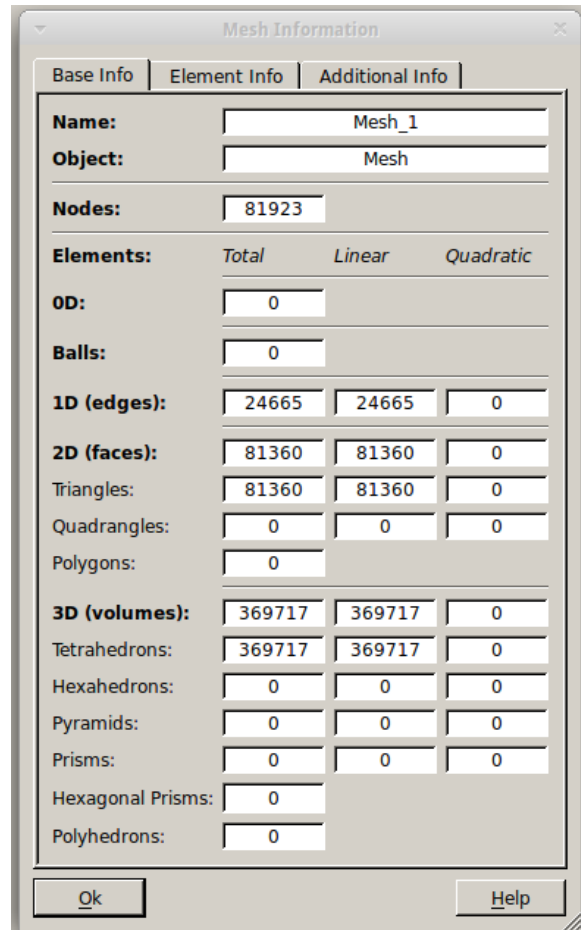
Como se puede apreciar la geometría que tiene la malla es triangular, debido a que como se trata de un Tetraedro, su base son triángulos, mientras que la tercera dimensión se encuentra dentro del cuerpo.

Una vez la malla se ha generado se puede obtener información de ella, como el número de esquinas que tiene, superficies y cantidad de polígonos que la conforman, para ello hay que acceder a Mesh/ Evaluate, este proceso puede tardar algo de tiempo.



Fuente: Propia

Fig.5.10. Elección de la geometría de la malla



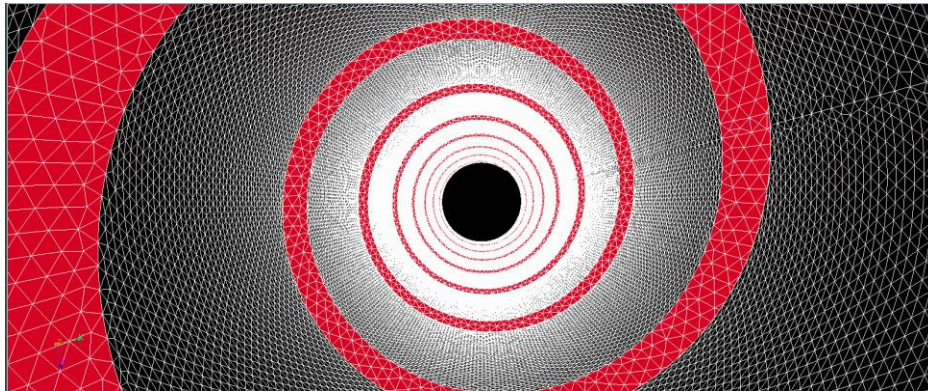
Fuente: Propia

Fig.5.11. Evaluación de la malla

Por lo que se puede observar en los resultados de la evaluación, se puede saber los números de nodos que tiene la malla, ejes 1D, caras 2D y nos confirma que las figuras que conforman la malla son Tetraedros debido a que hay 369.717 mientras que del resto de figuras hay 0.

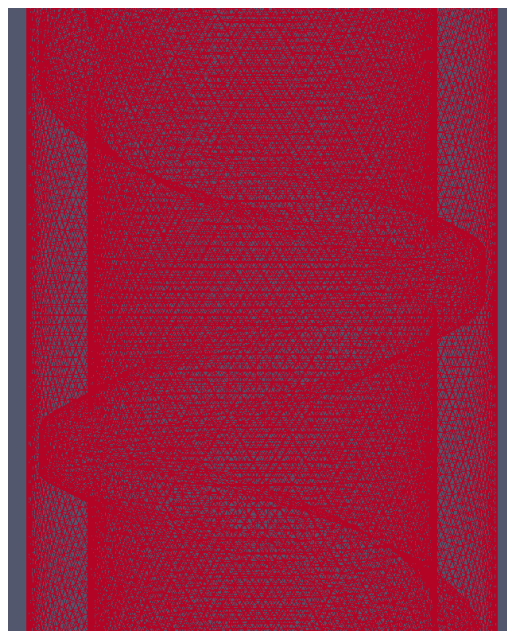
Los resultados para las 3 mallas son los siguientes:

Bomba de tornillo



Fuente: Propia

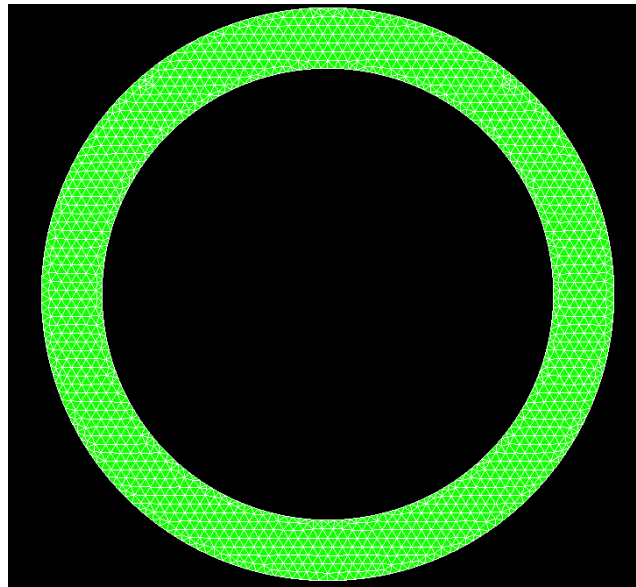
Fig.5.12. Vista interior de la malla en la bomba de tornillo



Fuente: Propia

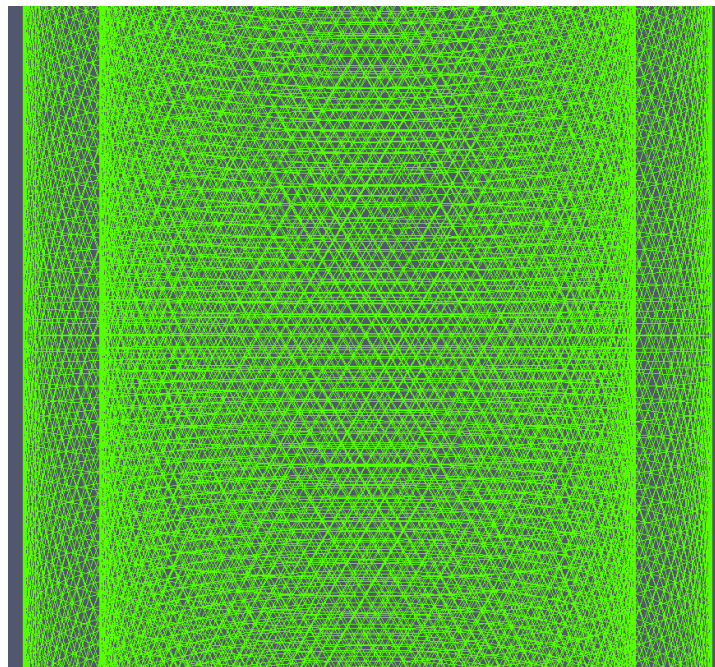
Fig.5.13. Vista transparente de la malla

Bomba cilíndrica



Fuente: Propia

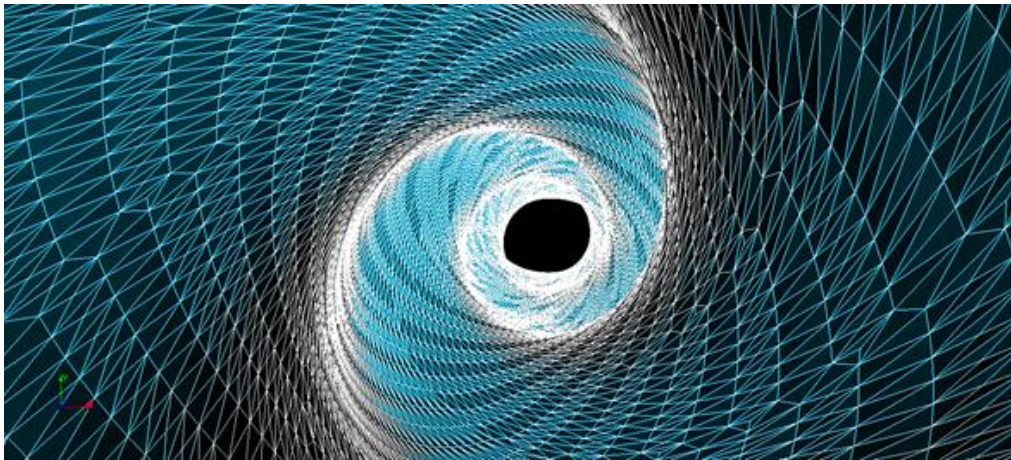
Fig.5.14. Vista superior de la malla en la bomba cilíndrica



Fuente: Propia

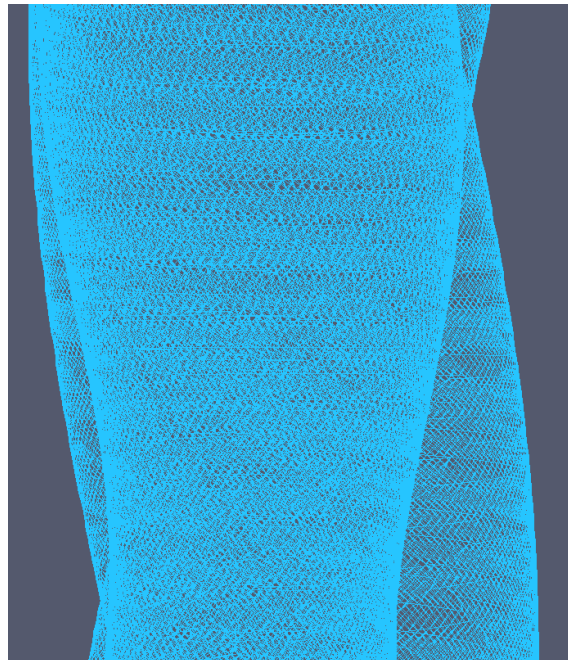
Fig.5.15. Vista transparente de la malla en la bomba cilíndrica

Bomba Poligonal



Fuente: Propia

Fig.5.16. Vista interior de la malla en la bomba poligonal



Fuente: Propia

Fig.5.17. Vista transparente de la malla en la bomba poligonal

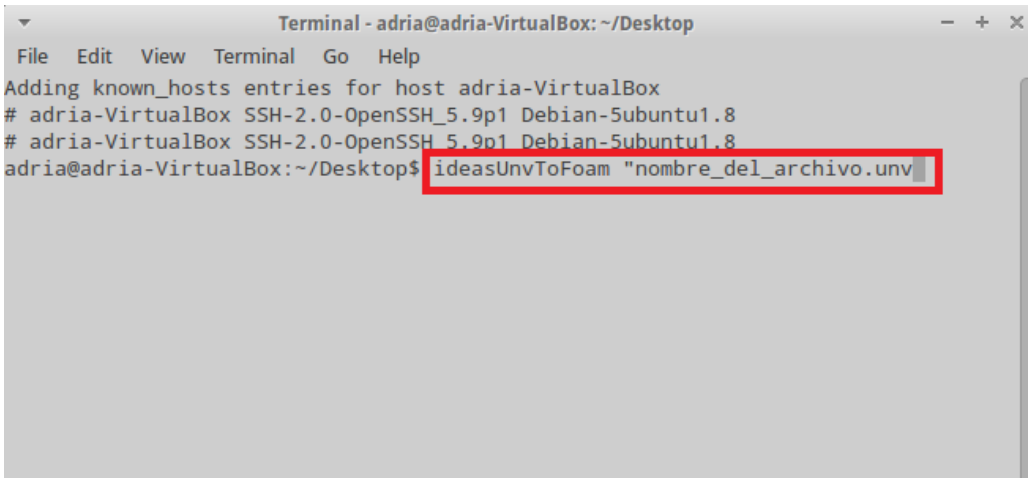
Preparación archivo

De igual manera que en el proceso anterior una vez terminado se debe exportar en formato “.UNV” para poder ser tratado por un programa de cálculo computacional.

5.3 Simulación OpenFoam y pyFoam.

5.3.1 Preparación de archivos.

Para que el programa OpenFoam pueda realizar el cálculo de toda la malla el primer paso es convertir el archivo UNV a formato de Foam con el siguiente comando:

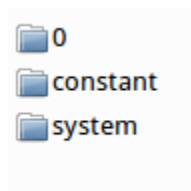


```
Terminal - adria@adria-VirtualBox: ~/Desktop
File Edit View Terminal Go Help
Adding known_hosts entries for host adria-VirtualBox
# adria-VirtualBox SSH-2.0-OpenSSH_5.9p1 Debian-5ubuntu1.8
# adria-VirtualBox SSH-2.0-OpenSSH_5.9p1 Debian-5ubuntu1.8
adria@adria-VirtualBox:~/Desktop$ ideasUnvToFoam "nombre_del_archivo.unv"
```

Fuente: Propia

Fig.5.18. Comando de conversión para el terminal.

De forma que se genere un archivo base de OpenFoam pero que tiene la malla preparada anteriormente. El archivo se llama “template” (del anglosajón Plantilla, y viene de serie con ese nombre). Dentro del contiene 3 carpetas: 0, “constant” y “system”.

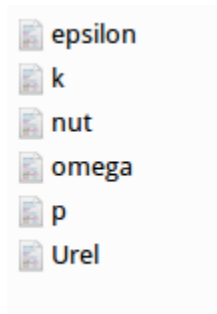


Fuente: Propia

Fig.5.19. Malla en OpenFoam

“0”

El programa calculara el valor de cada punto de la malla una gran cantidad de veces ya que se realizaran muchas iteraciones, pero la 0 marca el estado inicial, justo antes de realizar la primera iteración, de allí el nombre de la carpeta. En ella se encuentran las variables: ϵ , k , ν , ω , p , U_{rel} .



Fuente: Propia

Fig.5.20. Variables en la carpeta "0"

epsilon: Factor de disipación.

Dentro del archivo llamado epsilon se encuentra lo siguiente:

```

/*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
|=====|
|  \ \  /  /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|  \ \  /  /  O peration   | Version: 2.4.0
|  \ \  /  /  A n d        | Web: www.OpenFOAM.org
|  \ \  /  /  M anipulation |
|-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        volScalarField;
  location     "0";
  object       epsilon;
}
// *****

dimensions    [ 0 2 -3 0 0 0 ];
internalField uniform 30;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type        fixedValue;
    value       uniform 3;
  }
  outlet
  {
    type        zeroGradient;
  }
  inside
  {
    type        epsilonWallFunction;
    Urel;
    value       uniform 3;
  }
  outside
  {
    type        epsilonWallFunction;
    Urel;
    value       uniform 3;
  }
}

```

Fuente: Propia

Fig.5.21. Variables de epsilon

El contenido que queda por encima de la línea de estrellas es prescindible, solamente muestra información del nombre del archivo y la ubicación.

Por debajo podemos ver la variable “dimensions” [0 2 - 3 0 0 0] la cual indica el vector, las dimensiones de este son respectivamente [kg m s K A Cd] con lo que al final se obtiene como resultado “(m^2/s^3)”, debajo tenemos 4 elementos que ya se han mencionado anteriormente. Son inlet, outlet, inside y outside; Estos son los 4 grupos que se crearon anteriormente en Salome cuando se creó la malla. En cada grupo hay varias variables;

Type: indica el tipo de valor que tendrá, fijo, variable, proveniente de otra función. En este caso inlet tiene un “fixedValue” y debajo podemos observar “uniform 3” por lo que siempre será ese. Mientras que en outlet “zeroGradient” indica que la diferencia siempre será 0.

Value: Indica el número que se introduce en la fórmula que llama a type. Menos en el caso de zeroGradient que su incremento es 0 y por lo tanto no cambia.

U: es la velocidad, en este caso se elige la velocidad relativa ya que trata paredes dinámicas que están en rotación. Esta estructura se mantiene en la de las demás variables y su funcionamiento es el mismo.

```

=====
  \ \ / \ / F i e l d
  \ \ / \ / O p e r a t i o n
  \ \ / \ / A n d
  \ \ / \ / M a n i p u l a t i o n
=====
OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
Version: 2.4.0
Web: www.OpenFOAM.org
-----*-----*-----*-----*
FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class volScalarField;
  location "0";
  object k;
}
// ***** //

dimensions [ 0 2 -2 0 0 0 ];
internalField uniform 1;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type fixedValue;
    value uniform 1;
  }
  outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  inside
  {
    type kqWallFunction;
    value uniform 1;
  }
  outside
  {
    type kqWallFunction;
    value uniform 1;
  }
}
// ***** //

=====
  \ \ / \ / F i e l d
  \ \ / \ / O p e r a t i o n
  \ \ / \ / A n d
  \ \ / \ / M a n i p u l a t i o n
=====
OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
Version: 2.4.0
Web: www.OpenFOAM.org
-----*-----*-----*-----*
FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class volScalarField;
  location "0";
  object nut;
}
// ***** //

dimensions [ 0 2 -1 0 0 0 ];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type calculated;
    value uniform 0;
  }
  outlet
  {
    type calculated;
    value uniform 0;
  }
  inside
  {
    type nutkWallFunction;
    U Urel;
    value uniform 0;
  }
  outside
  {
    type nutkWallFunction;
    Urel;
    value uniform 0;
  }
}
// ***** //
  
```

Fuente: Propia

Fig.5.22. Variables de “k” y “nut”


```

/*-----*- C++ -*-----*/
|=====|
| \\ / / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \\ / / O p e r a t i o n | Version: 2.4.0
| \\ / / A n d | Web: www.OpenFOAM.org
| \\ / / M a n i p u l a t i o n |
/*-----*- C++ -*-----*/
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        volScalarField;
  location     "0";
  object       p;
}
// *****

dimensions    [ 0 2 -2 0 0 0 0 ];

internalField uniform 0;

boundaryField
{
  outlet
  {
    type      zeroGradient;
  }
  inlet
  {
    type      fixedValue;
    value     uniform 0;
  }
  inside
  {
    type      zeroGradient;
  }
  outside
  {
    type      zeroGradient;
  }
}
}

/*-----*- C++ -*-----*/
|=====|
| \\ / / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| \\ / / O p e r a t i o n | Version: 2.4.0
| \\ / / A n d | Web: www.OpenFOAM.org
| \\ / / M a n i p u l a t i o n |
/*-----*- C++ -*-----*/
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        volVectorField;
  location     "0";
  object       Urel;
}
// *****

dimensions    [ 0 1 -1 0 0 0 0 ];

internalField uniform ( 0 0 0 );

boundaryField
{
  inlet
  {
    type      flowRateInletVelocity;
    volumetricFlowRate 1.032e-3;
    value     $internalField;
  }
  outlet
  {
    type      zeroGradient;
  }
  inside
  {
    type      fixedValue;
    value     uniform ( 0 0 0 );
  }
  outside
  {
    type      fixedValue;
    value     uniform ( 0 0 0 );
  }
}
}

```

Fuente: Propia

Fig.5.23. Variables de “p” y “Urel”

epsilon: Factor de disipación.

k: Energía cinética turbulenta

nut: Campo de viscosidad turbulenta

omega: Angulo que indica al dirección del fluido.

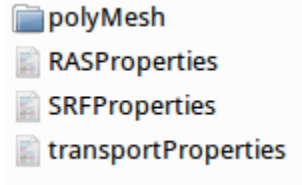
p: Presión

Urel: Velocidad relativa.

flowRateInletVelocity: Es el caudal volumétrico o másico, para este caso de la bomba es volumétrico, aparece en la figura 5.23. en el grupo “inlet”

Constant

Contiene los archivos: polyMesh, RASProperties, SRFProperties, transportProperties.



Fuente: Propia

Fig.5.24. Variables “Constant”

Los archivos contienen constantes que no se pueden elegir como en el caso anterior, solamente se puede indicar si el estado de la constante está activado o no.

RASProperties: contiene las variables “turbulence” y “printCoeffs” como se ha mencionado anteriormente pueden estar en posición “on” u “off”. RasModel es un modelo de turbulencias que utiliza kOmegaSST

```

/*-----* C++ *-----*/
  \ \      F i e l d           OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
  \ \      O p e r a t i o n    Version:  2.4.0
  \ \      A n d               Web:      www.OpenFOAM.org
  \ \      M a n i p u l a t i o n

FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  location     "constant";
  object       RASProperties;
}
// *****

RASModel      kOmegaSST;
turbulence    on;

printCoeffs   on;

// *****
  
```

Fuente: Propia

Fig.5.25. RASProperties

SRFProperties: indica la velocidad de giro de la bomba en rpm, y el origen y eje en el que giran de forma vectorial.

```

/*-----*- C++ -*-----*\
|=====|
|  \ \ / /  F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|  \ \ / /  O peration  | Version: 2.4.0
|  \ \ / /  A nd        | Web: www.OpenFOAM.org
|  \ \ / /  M anipulation|
|-----*\
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  location     "constant";
  object       SRFProperties;
}
// *****

SRFModel      rpm;

origin        (0 0 0);
axis          (0 0 1);

rpmCoeffs
{
  rpm         700;
}

// *****

```

Fuente: Propia

Fig.5.26. SRFProperties

transportProperties: indica el tipo de fluido que transporta, en este caso es tipo Newtoniano.

```

/*-----*- C++ -*-----*\
|=====|
|  \ \ / /  F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|  \ \ / /  O peration  | Version: 2.4.0
|  \ \ / /  A nd        | Web: www.OpenFOAM.org
|  \ \ / /  M anipulation|
|-----*\
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  location     "constant";
  object       transportProperties;
}
// *****

transportModel Newtonian;

nu          nu [ 0 2 -1 0 0 0 0 ] 1.004e-06;

CrossPowerLawCoeffs
{
  nu0          nu0 [ 0 2 -1 0 0 0 0 ] 1e-06;
  nuInf        nuInf [ 0 2 -1 0 0 0 0 ] 1e-06;
  m            m [ 0 0 1 0 0 0 0 ] 1;
  n            n [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 1;
}

BirdCarreauCoeffs
{
  nu0          nu0 [ 0 2 -1 0 0 0 0 ] 1e-06;
  nuInf        nuInf [ 0 2 -1 0 0 0 0 ] 1e-06;
  k            k [ 0 0 1 0 0 0 0 ] 0;
  n            n [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 1;
}

// *****

```

Fuente: Propia

Fig.5.27. transportProperties

Y por último la carpeta polyMesh, contiene todos los elementos que conforman la malla que se ha creado anteriormente, dentro hay los documentos: boundary, faces, points, neighbour y owner. Y simplemente contienen dentro el número de elementos que tiene de ese tipo. Esta carpeta no se debe modificar ya que es la que se genera automáticamente a partir de la información de la malla.

```
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       binary;
  class        faceCompactList;
  location     "constant/polyMesh";
  object       faces;
}
// * * * * *

1567957
(|
```

Fuente: Propia

Fig.5.28. Numero de caras de la malla

System

Por ultimo en esta carpeta se encuentra los archivos controlDict, fvSchemes y fvSolution, de las cuales solamente se debe modificar controlDict.

controlDict: en ella se controla el número de iteraciones que queremos que realice la simulación, cada cuantos intervalos guarde información, precisión temporal, formato de texto y cuantos dígitos guarde.

```
application      SRFSimpleFoam;  purgeWrite       0;
startFrom        startTime;      writeFormat      ascii;
startTime        0;              writePrecision    6;
stopAt           endTime;        writeCompression off;
endTime          1000;           timeFormat       general;
|
deltaT           1;              timePrecision    6;
writeControl     timeStep;        runtimeModifiable true;
writeInterval    10;
```

Fuente: Propia

Fig.5.29. Parámetros de controlDict

Todos estos parámetros archivos y carpetas son de los que se parten para hacer la simulación y como se ha mencionado anteriormente son los que proceden de la conversión de la malla (UNV) a formato “Foam”. De esta forma queda explicado los archivos bases y con los que se puede realizar la simulación.

5.3.2 pyfoam.

Para cada bomba hay realizadas varias simulaciones, en cada una de las 3 se ha hecho con 4 tipos de fluidos distintos y para cada uno de los 4 fluidos se ha modificado la velocidad 4 veces, por lo que hay un total de 16 simulaciones para cada una de las bombas; Sumando un total de 48 simulaciones. Como las simulaciones tienen una duración de horas incluso días en algún caso, se ha optado por ir un poco más allá y programar las simulaciones de forma que pueda ser capaz de realizar todas las simulaciones de una bomba (16 en total) una seguida de otra, de forma que no hace falta presencia humana que tenga que estar pendiente de la finalización de una simulación para poder iniciar la siguiente.

Para ello se ha usado pyFoam que es una librería para controlar las ejecuciones de OpenFOAM y manipular la información. Se ha tenido que crear un documento de texto para que realice múltiples operaciones y bucles.

El funcionamiento es el siguiente, la explicación se realiza por líneas:

- La primera parte lo que contiene la línea 1 hasta la 12 es una librería de OpenFoam.
- 14-16 Indica la versión del programa que usa
- 18-20 Se debe indicar el tipo de método de resolución que queremos que OpenFoam use, estos vienen dentro del programa y ya están creador, el nombre que queremos que tenga el documento, esto es meramente identificativo.
- 22-24 La viscosidad del material, las 4 que hay corresponden a la del agua, gasolina, leche y glicerina. Rho es la densidad de los 4 fluidos mencionados anteriormente y rpm las 4 velocidades que tendrá cada una de las simulaciones.
- La líneas 26 y 27 corresponden a la área y longitud de la figura.
- Las líneas entre 29-42 son meramente texto que escribiré posteriormente el programa.

- 47-53 Realiza el calcula del volumeFlowRate , la omega y la u en cada grupo y los substituye por los mencionados antes
- 55-59 Realiza la simulación para la viscosidad y la velocidad
- 61-74 Post proceso donde se utilizan varias herramientas para calcular los valores que más interesan como:
 - Vorticity
 - wallShearStress
 - La magnitud de wallShearStress
 - Integral de wallShearStress en la cara interior “inside”
 - Integral de wallShearStress en la cara exterior “outside”
 - Integral de la presión en la cara interior “inside”
 - Integral de la presión en la cara exterior “outside”

```

1  #! /usr/bin/env python
2
3  from PyFoam.Execution.UtilityRunner import UtilityRunner
4  from PyFoam.RunDictionary.ParsedParameterFile import ParsedParameterFile
5  from PyFoam.RunDictionary.SolutionDirectory import SolutionDirectory
6  from PyFoam.Applications.CaseReport import CaseReport
7  from PyFoam.Execution.AnalyzedRunner import AnalyzedRunner
8  from PyFoam.LogAnalysis.FoamLogAnalyzer import FoamLogAnalyzer
9  from PyFoam.LogAnalysis.TimeLineAnalyzer import TimeLineAnalyzer
10 import sys
11 from math import pi
12 from os import path, chdir
13
14 from PyFoam.FoamInformation import changeFoamVersion
15 changeFoamVersion("240")
16 from PyFoam.Error import error
17
18 solver="SRFSimpleFoam"
19 caseName="cilindro_"
20 templateCase=SolutionDirectory(path.expandvars("./template"), archive=None, paraviewLink=False)
21
22 viscosity = [1.004e-6, 6.48e-4, 1.13e-6, 8.8e-7] #m2/s
23 rho= [998, 1200, 1030, 750] #kg/m3
24 rpm = [700, 1400, 2100, 2800] #rpm
25
26 area = 470.9595 #mm^2
27 length = 94.274 #mm
28
29 for idx, nu in enumerate(viscosity):
30     for r in rpm:
31         print "Solution for case: (viscosity = ", nu, "density = ", rho[idx], " , rpm = ", r, ")"
32         case = templateCase.cloneCase(caseName+"_%f_visc%f_rpm%f" % (idx+1, nu, r)).name
33         print "Case is ", case
34
35         transport=ParsedParameterFile(path.join(case,"constant", "transportProperties"))
36         transport["nu"][2]= nu
37         transport.writeFile()
38
39         srf=ParsedParameterFile(path.join(case,"constant", "SRFProperties"))
40         srf["rpmCoeffs"]["rpm"]= r

```

```

41 srf.writeFile()
42
43 control= ParsedParameterFile(path.join(case,"system", "controlDict"))
44 control["functions"]["forces"]["rhoInf"] = rho[idx]
45 control.writeFile()
46
47 volumeFlowRate = (r/60.0)*area*length*1.0e-9
48 omega = r*2.0*pi/60.0 # rpm*2*pi/60
49 u= ParsedParameterFile(path.join(case,"0", "Urel"))
50 u["boundaryField"]["inlet"]["volumetricFlowRate"] = volumeFlowRate
51 u["boundaryField"]["inside"]["omega"] = omega # /2.0
52 u["boundaryField"]["outside"]["omega"] = omega
53 u.writeFile()
54
55 analyzer=FoamLogAnalyzer ()
56 analyzer.time =0. # fix around a bug
57 analyzer.addAnalyzer("time",TimeLineAnalyzer(progress=True))
58 theRun=AnalyzedRunner(analyzer, argv=[solver, "-case",case], silent=True, logname="run.log")
59 theRun.start()
60
61 directory = caseName+"_%f_visc%f_rpm%f" % (idx+1, nu, r)
62 chdir(directory)
63 args_ = [["vorticityUabs"], ["wallShearStressUabs"], ["foamCalc", "mag", "wallShearStress"],
64 ["patchIntegrate", "magwallShearStress", "inside"], ["patchIntegrate", "magwallShearStress", "outside"],
65 ["patchIntegrate", "p", "inside"], ["patchIntegrate", "p", "outside"]]
66 logname_ = ["vorticityUabs.log", "wallShearStress.log", "magwallShearStress.log", "shear_inside.log",
67 "shear_outside.log", "p_inside.log", "p_outside.log"]
68 for argument, name in zip(args_, logname_):
69     print "UtilityRunner, argument = ", argument, " logname = ", name
70     UtilityRunner(argv=argument, silent=True, logname=name).start()
71
72 print "CaseReport of case ",
73 CaseReport(argv=["--full-report", "."], file="report.log")
74 chdir('.')

```

Fuente: Propia

Fig.5.30. Programa ejecución en cadena

En este punto se tendría todo listo, pero hace falta hacer una última modificación de las herramientas “vorticity” y “wallShear”. OpenFOAM contiene múltiples condiciones de frontera y herramientas para poder elegir entre ellas puede pasar que alguna necesaria no esté incluida en OpenFOAM como es el caso de la condición para ejes giratorios. A continuación se explica cómo crearlo en el caso de “vorticity”, “wallShear” es el mismo procedimiento.

Cuando esto ocurre la única opción es copiar el código fuente de una ya existente con condiciones similares a la que se necesita y modificarlo, de una manera parecida a la que se requiere.

Para el caso de la vorticidad debemos de ir a:

```
opt/openfoam211/applications/utilities/postProcessing/velocityFields/vorticity
```

Y para el “wallShearStress”:

```
opt/openfoam211/applications/utilities/postProcessing/Wall/wallShearStress
```

Para Vorticidad:

```

40 void Foam::calc(const argList& args, const Time& runTime, const fvMesh& mesh)
41 {
42     bool writeResults = !args.optionFound("noWrite");
43
44     IObject Uheader
45     (
46         "U",
47         runTime.timeName(),
48         mesh,
49         IObject::MUST_READ
50     );
51
52     if (Uheader.headerOk())
53     {
54         Info<< "    Reading U" << endl;
55         volVectorField U(Uheader, mesh);
56
57         Info<< "    Calculating vorticity" << endl;
58         volVectorField vorticity
59         (
60             IObject
61             (
62                 "vorticity",
63                 runTime.timeName(),
64                 mesh,
65                 IObject::NO_READ
66             ),
67             fvc::curl(U)
68         );
69
70         volScalarField magVorticity
71         (
72             IObject
73             (
74                 "magVorticity",|
75                 runTime.timeName(),
76                 mesh,
77                 IObject::NO_READ
78             ),
79             mag(vorticity)
80         );
81
82         Info<< "vorticity max/min : "
83             << max(magVorticity).value() << " "
84             << min(magVorticity).value() << endl;
85
86         if (writeResults)
87         {
88             vorticity.write();
89             magVorticity.write();
90         }
91     }
92     else
93     {
94         Info<< "    No U" << endl;
95     }
96
97     Info<< "\nEnd\n" << endl;
98 }
99

```

Fuente: Propia

Fig.5.31. Archivo vorticity.C antes de la modificación

Se ha substituido “U” por “Uabs” en la línea 46, 54 y en la línea 97. Y se ha cambiado el nombre de la clase de vorticity a vorticityUabs

Para wallShearStress:

```

46 void calcIncompressible
47 (
48     const fvMesh& mesh,
49     const Time& runTime,
50     const volVectorField& U,
51     volVectorField& wallShearStress
52 )
53 {
54     #include "createPhi.H"
55
56     singlePhaseTransportModel laminarTransport(U, phi);
57
58     autoPtr<incompressible::RASModel> model
59     (
60         incompressible::RASModel::New(U, phi, laminarTransport)
61     );
62
63     const volSymmTensorField Reff(model->devReff());
64
65     forAll(wallShearStress.boundaryField(), patchI)
66     {
67         wallShearStress.boundaryField()[patchI] =
68         (
69             -mesh.Sf().boundaryField()[patchI]
70             /mesh.magSf().boundaryField()[patchI]
71             ) & Reff.boundaryField()[patchI];
72     }
73 }
74
75 void calcCompressible
76 (
77     const fvMesh& mesh,
78     const Time& runTime,
79     const volVectorField& U,
80     volVectorField& wallShearStress
81 )
82 {
83     IOobject rhoHeader
84     (
85         "rho",
86         runTime.timeName(),
87         mesh,
88         IOobject::MUST_READ,
89         IOobject::NO_WRITE
90     );
91
92     if (!rhoHeader.headerOk())
93     {
94         Info<< " no rho field" << endl;
95         return;
96     }
97
98     Info<< "Reading field rho\n" << endl;
99     volScalarField rho(rhoHeader, mesh);
100
101     #include "compressibleCreatePhi.H"
102
103     autoPtr<basicThermo> pThermo(basicThermo::New(mesh));
104     basicThermo& thermo = pThermo();
105
106     autoPtr<compressible::RASModel> model
107     (
108         compressible::RASModel::New
109         (
110             rho,
111             U,
112             phi,
113             thermo
114         )
115     );
116
117     const volSymmTensorField Reff(model->devRhoReff());
118
119     forAll(wallShearStress.boundaryField(), patchI)
120     {
121         wallShearStress.boundaryField()[patchI] =
122         (
123             -mesh.Sf().boundaryField()[patchI]
124             /mesh.magSf().boundaryField()[patchI]
125             ) & Reff.boundaryField()[patchI];
126     }
127 }
128 }
129
130 int main(int argc, char *argv[])
131 {
132     timeSelector::addOptions();
133     #include "addRegionOption.H"
134
135     argList::addBoolOption
136     (
137         "compressible",
138         "calculate compressible wall shear stress"
139     );
140
141     #include "setRootCase.H"
142     #include "createTime.H"
143     instantList timeDirs = timeSelector::select0(runTime, args);
144     #include "createNamedMesh.H"
145
146     const bool compressible = args.optionFound("compressible");
147
148     forAll(timeDirs, timeI)
149     {
150         runTime.setTime(timeDirs[timeI], timeI);
151         Info<< "Time = " << runTime.timeName() << endl;
152         mesh.readUpdate();
153
154         volVectorField wallShearStress
155         (
156             IOobject
157             (
158                 "wallShearStress",
159                 runTime.timeName(),
160                 mesh,
161                 IOobject::NO_READ,
162                 IOobject::AUTO_WRITE
163             ),
164             mesh,
165             dimensionedVector
166             (
167                 "wallShearStress",
168                 sqr(dimLength)/sqr(dimTime),
169                 vector::zero
170             )
171         );
172
173         IOobject UHeader
174         (
175             "U",
176             runTime.timeName(),
177             mesh,
178             IOobject::MUST_READ,
179             IOobject::NO_WRITE
180         );
181
182         if (UHeader.headerOk())
183         {
184             Info<< "Reading field U\n" << endl;
185             volVectorField U(UHeader, mesh);
186
187             if (compressible)
188             {
189                 calcCompressible(mesh, runTime, U, wallShearStress);
190             }
191             else
192             {
193                 calcIncompressible(mesh, runTime, U, wallShearStress);
194             }
195         }
196         else
197         {
198             Info<< " no U field" << endl;
199         }
200
201         Info<< "Writing wall shear stress to field " << wallShearStress.name()
202         << nl << endl;
203         wallShearStress.write();
204     }
205
206     Info<< "End" << endl;
207
208     return 0;
209 }

```

Fuente: Propia

Fig.5.32. Archivo wallShearStress.C antes de la modificación

Al igual que en el caso anterior se ha substituido en la línea 177, 186 y 200 “U” por “Uabs” y el nombre de la clase wallShearStress por wallShearStressUabs

Una vez hecho esto se las líneas de los documentos dentro de la ubicación “Make” deberían mostrar esto:

Para la vorticidad:

```
1 vorticity.C
2
3 EXE = $(FOAM_APPBIN)/vorticity
4 |
```

Fuente: Propia

Fig.5.33. Archivo Make/files de vorticity

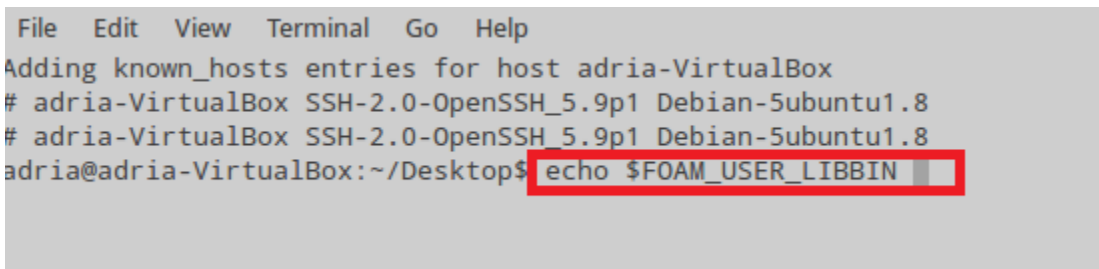
Para “wallShearStress”

```
1 wallShearStress.C
2
3 EXE = $(FOAM_APPBIN)/wallShearStress
4
```

Fuente: Propia

Fig.5.34. Archivo Make/files de wallShearStress

La primera línea indica la localización de los archivos de C con el código Fuente y la segunda el directorio donde se guardan las librerías de OpenFoam, seguido por el nombre de la librería que se quiere crear. El directorio está guardado en la variable \$FOAM_USER_LIBBIN y se puede acceder a ella fácilmente escribiendo en el terminal:



```
File Edit View Terminal Go Help
Adding known_hosts entries for host adria-VirtualBox
# adria-VirtualBox SSH-2.0-OpenSSH_5.9p1 Debian-5ubuntu1.8
# adria-VirtualBox SSH-2.0-OpenSSH_5.9p1 Debian-5ubuntu1.8
adria@adria-VirtualBox:~/Desktop$ echo $FOAM_USER_LIBBIN
```

Fuente: Propia

Fig.5.35. Código de acceso.

El archivo “options” tiene la función de mirar hacia a la dirección donde están los archivos creador por OpenFOAM en el directorio H y de cargar las librerías que se requieran:

Para la vorticidad:

```
EXE_INC = \  
-I$(LIB_SRC)/postProcessing/postCalc \  
-I$(LIB_SRC)/finiteVolume/lnInclude  
  
EXE_LIBS = \  
$(FOAM_LIBBIN)/postCalc.o \  
-lfiniteVolume \  
-lgenericPatchFields
```

Fuente: Propia

Fig.5.36. Archivo options de vorticity

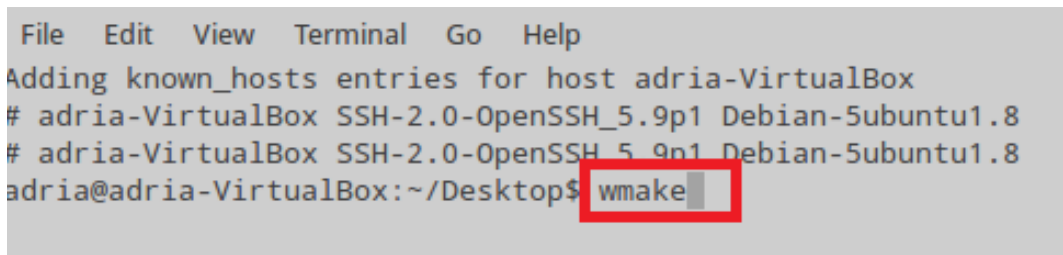
Para la herramienta “wallShearStress”

```
EXE_INC = \  
-I$(LIB_SRC)/transportModels \  
-I$(LIB_SRC)/turbulenceModels \  
-I$(LIB_SRC)/thermophysicalModels/basic/lnInclude \  
-I$(LIB_SRC)/finiteVolume/lnInclude  
  
EXE_LIBS = \  
-lincompressibleTransportModels \  
-lincompressibleRASModels \  
-lbasicThermophysicalModels \  
-lspecie \  
-lcompressibleRASModels \  
-lfiniteVolume \  
-lgenericPatchFields
```

Fuente: Propia

Fig.5.37. Archivo options de wallShearStress

Una vez todos los archivos están configurados correctamente se puede ejecutar la herramienta que se ha definido, cambiando la carpeta donde se almacenan los archivos y ejecutando:



```
File Edit View Terminal Go Help  
Adding known_hosts entries for host adria-VirtualBox  
# adria-VirtualBox SSH-2.0-OpenSSH_5.9p1 Debian-5ubuntu1.8  
# adria-VirtualBox SSH-2.0-OpenSSH_5.9p1 Debian-5ubuntu1.8  
adria@adria-VirtualBox:~/Desktop$ wmake
```

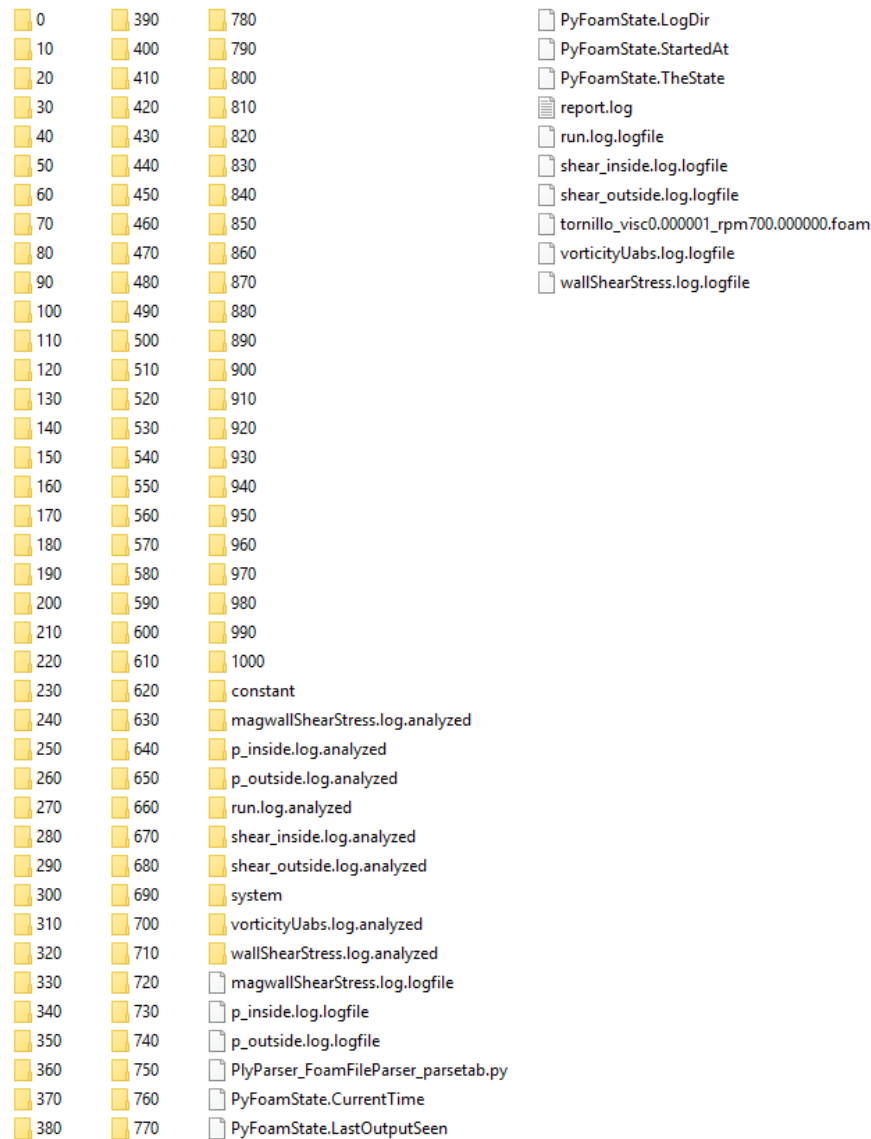
Fuente: Propia

Fig.5.38. Código creación de librería.

Entonces la herramienta que se ha definido se ha compilado correctamente. En este punto se tiene la variable “vorticityUabs” (vorticidad velocidad absoluta) y “wallShearUabs”, de forma que en las ecuaciones de cálculo aparecerá “vorticityUabs” en lugar de vorticity al igual que “wallShearUabs” sustituye a “wallShear”.

Llegados a este punto ya se puede ejecutar las simulaciones. Para ello hay que situarse en la carpeta que contiene los archivos “0”, “constant”, “system” y run_it_all y escribir en el terminal: “./run_it_all.py”; En ese momento empezara a calcular todas las iteraciones de las 16 simulaciones de una de las bombas. Para las otras 2 bombas hay que repetir los mismos pasos ya que la única diferencia entre ellas es la malla que es simplemente un archivo dentro de la carpeta “constants”. Los líquidos usados, rpm, condiciones de fronteras, y variables son las mismas excepto el nombre de la carpeta.

Una vez finalizada la simulación tras muchas horas la carpeta que anteriormente era solo “0”, “constants” y “system” ahora contiene:



Fuente: Propia

Fig.5.39. Archivos generados por la simulación

La carpeta que se observa anteriormente es justamente la generada para la simulación de la bomba de tornillo haciendo pasar agua y girando a 700 rpm. Para el resto de las 47 simulaciones la carpeta es la misma, solo que los valores de las iteraciones cambia. En la carpeta se puede observar muchas otras carpetas que van desde 0 hasta 1000; Estas son iteraciones por lo tanto se han realizado mil aunque hay 100 carpetas ya que las iteraciones se han marcado en “system” que vayan de diez en diez.

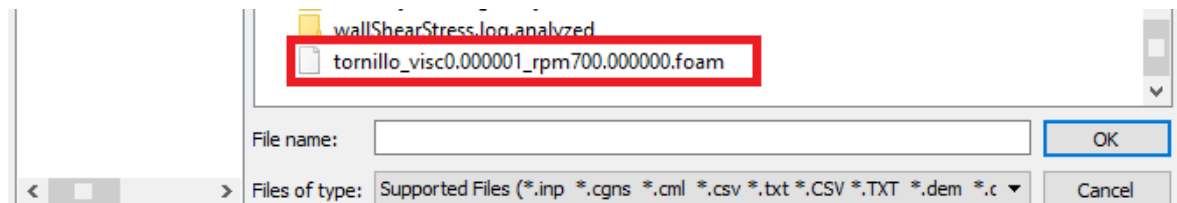
Aquí finaliza la simulación y el siguiente paso es tratar de ver los números de las iteraciones traducidos a un lenguaje más visual.

5.4. Post Processing.

El post proceso sirve para tratar los datos obtenidos y en este caso permite transformar toda la cantidad de números en imágenes visuales que hacen que la información sea mucho más fácil de visualizar. ParaView permite transformar conjuntos de datos en imágenes visuales que aparte de generar información son interactivas.

El método es el mismo para las 48 simulaciones, lo único que cambia son sus resultados, de forma que el ejemplo se ha realizado con la bomba de tornillo a 700 rpm usando agua pero se aplica de la misma forma al resto.

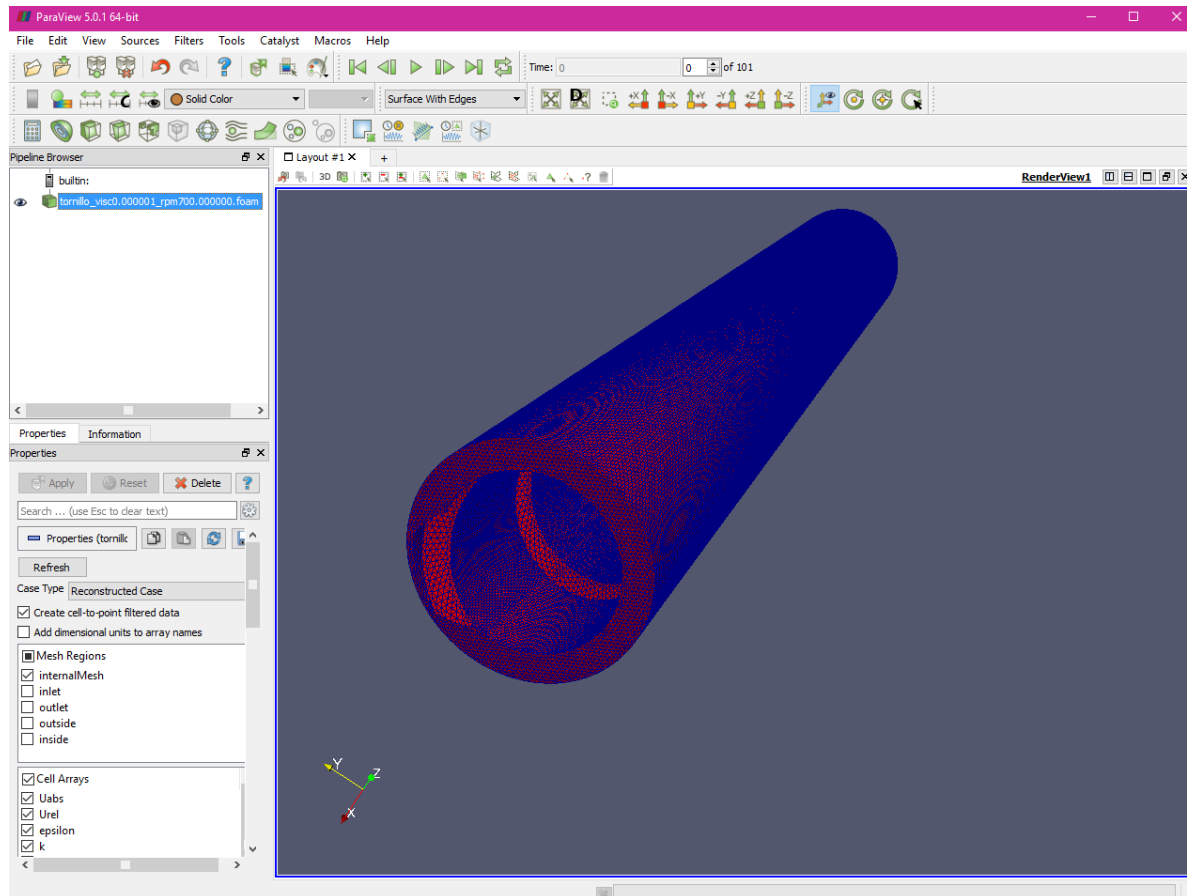
Para que ParaView pueda abrir la información de toda la carpeta y tener todo lo que contiene presente, se tiene que crear dentro de ella un documento de texto vacío que se llame como el directorio en el que está y luego añadir “.foam” para cambiar su extensión. En este caso para la bomba de tornillo a 700 rpm y con agua se debe llamar “tornillo_visc0.000001_rpm700.000000.foam”, de esta forma ParaView encuentra un archivo admisible que representa todo el contenido de la simulación.



Fuente: Propia

Fig.5.40. Archivo ejecutable

Una vez dentro del programa se tiene un producto que resume todo lo que se ha hecho anteriormente. Una figura 3D que contiene una malla y cada punto de la malla tiene datos que se han calculado con ciertas condiciones. La interfaz del programa es la siguiente:

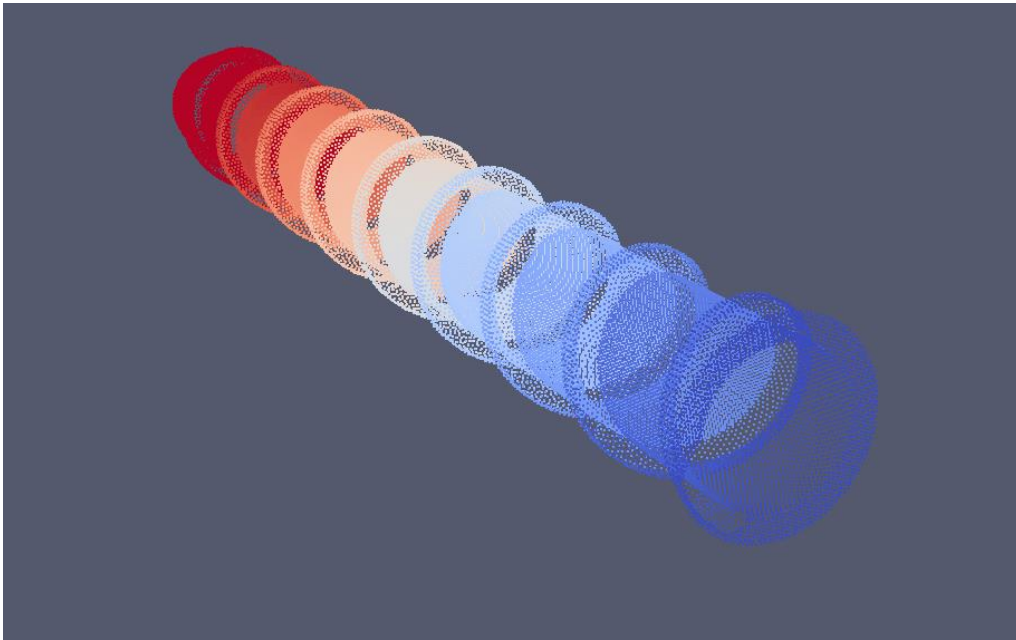


Fuente: Propia

Fig.5.41. Interfaz ParaView

Y como se mencionó anteriormente este es el único procedimiento que otorga libertad. La forma en la que se ve el objeto 3D, la variable que se quiere medir, cortes para ver el interior, se dispone de botones en la parte superior para ver una cinemática del movimiento, se pueden realizar cortes etc.

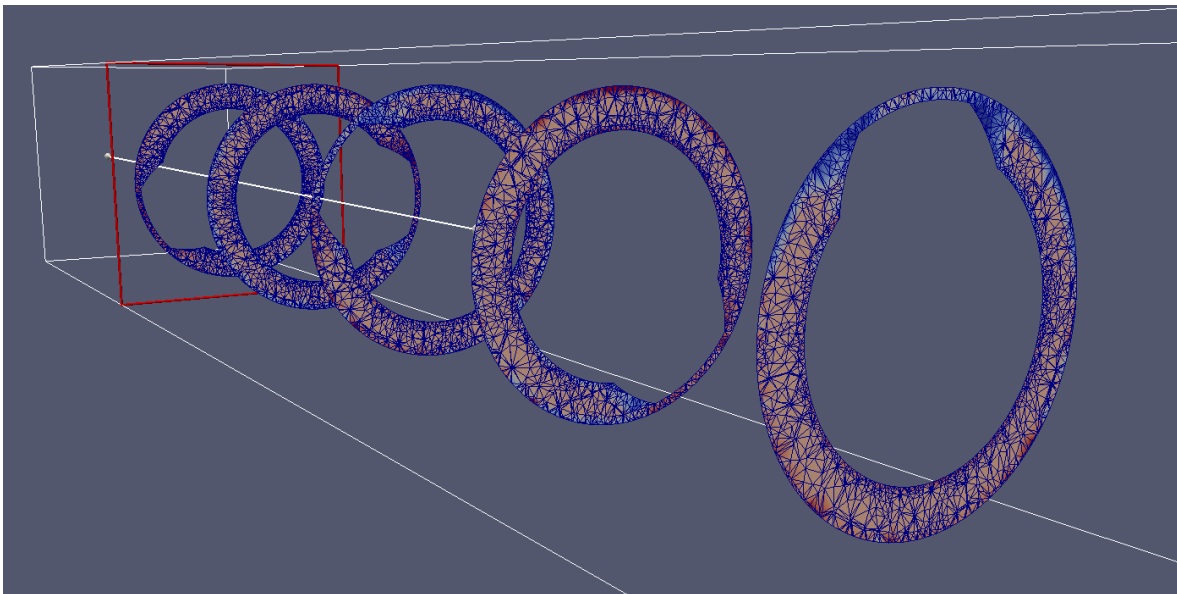
Hay muchas formas distintas de ver el objeto 3D; Solamente líneas exteriores, puntos, puntos de Gauss, Volumen, Superficies etc. Se puede ver la presión a lo largo de la bomba, velocidad, omega, vorticidad etc.



Fuente: Propia

Fig.5.42. Presión a lo largo de la bomba

La figura 5.42 y la figura 5.43 son dos visualizaciones de la misma malla, una por puntos y la otra son secciones del sólido en el eje “Z”, como se ha mencionado anteriormente hay gran cantidad de combinaciones. Este es el último paso para la visualización del flujo dentro de la bomba de tornillo (700 rpm con agua).



Fuente: Propia

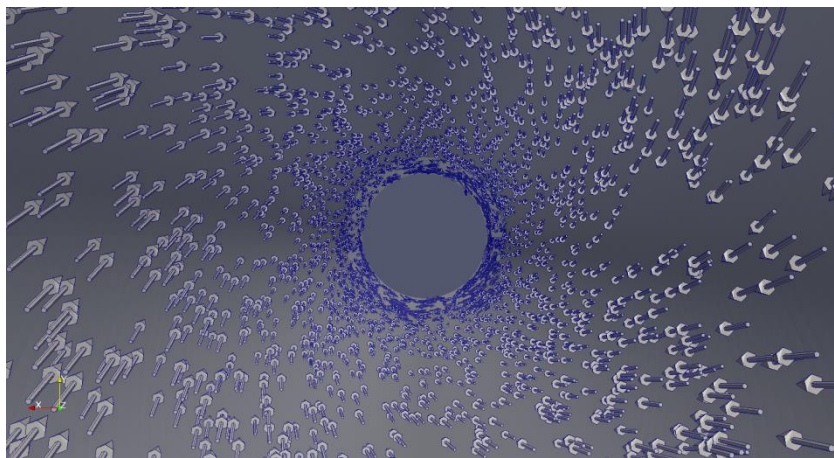
Fig.5.43. Esfuerzo cortante en las paredes.

6. Resultados de las simulaciones.

Los resultados obtenidos pueden ser muy variados según la forma en que se quieran observar como se ha mencionado anteriormente. A continuación se muestran algunas capturas del programa para mostrar el comportamiento de los fluidos.

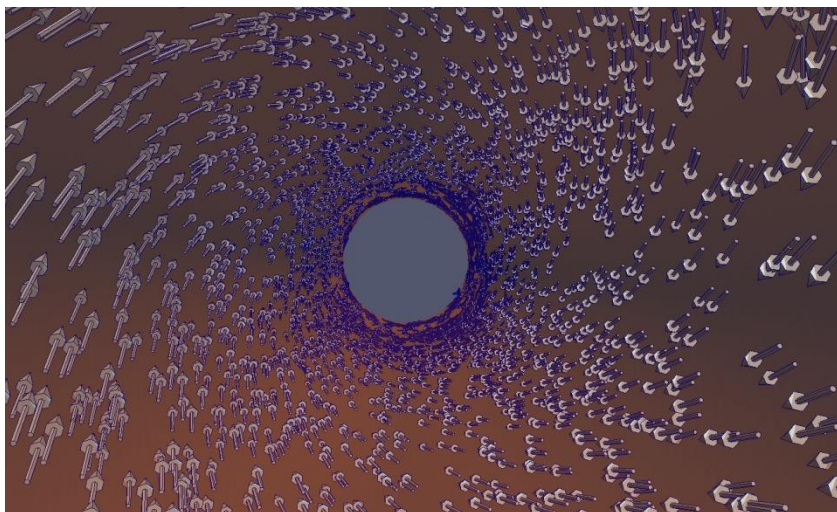
6.1 Bomba Cilíndrica.

6.1.1 Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica



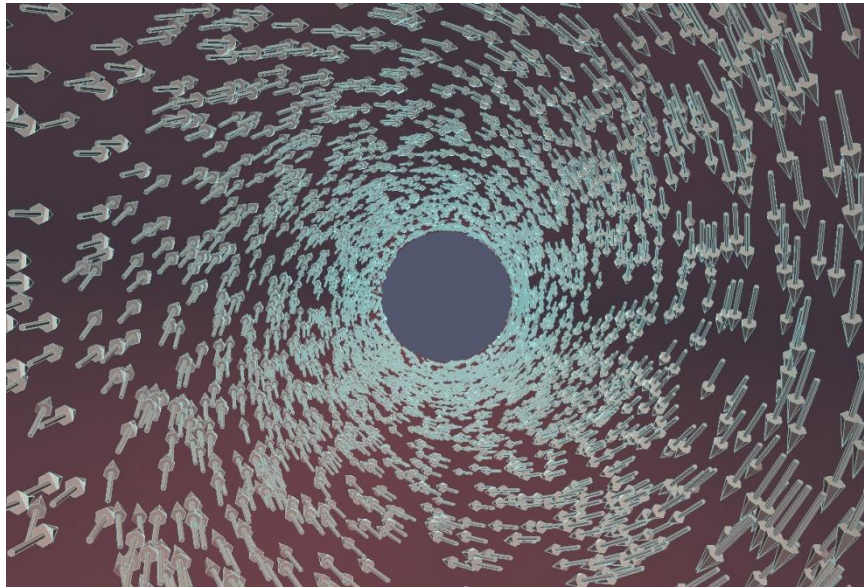
Fuente: Propia

Fig.6.1. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 700 rpm



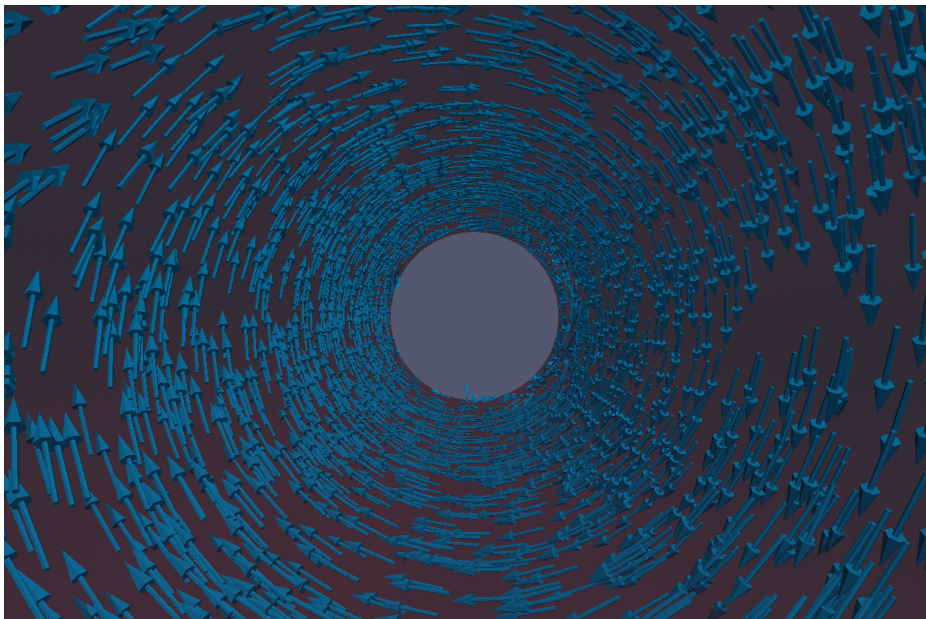
Fuente: Propia

Fig.6.2. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 1400 rpm



Fuente: Propia

Fig.6.3. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 2100 rpm

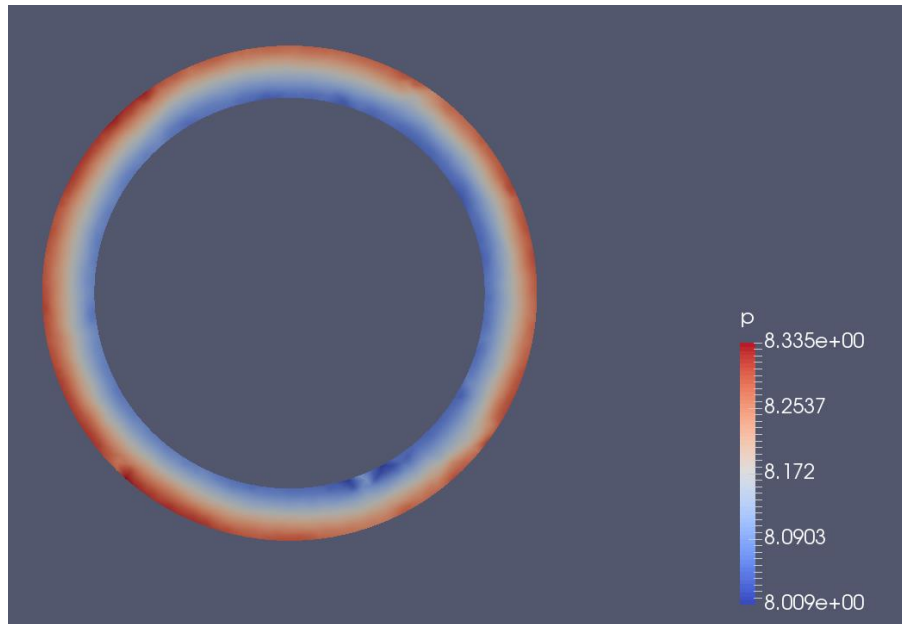


Fuente: Propia

Fig.6.4. Trayectoria del agua en la bomba cilíndrica para 2800 rpm

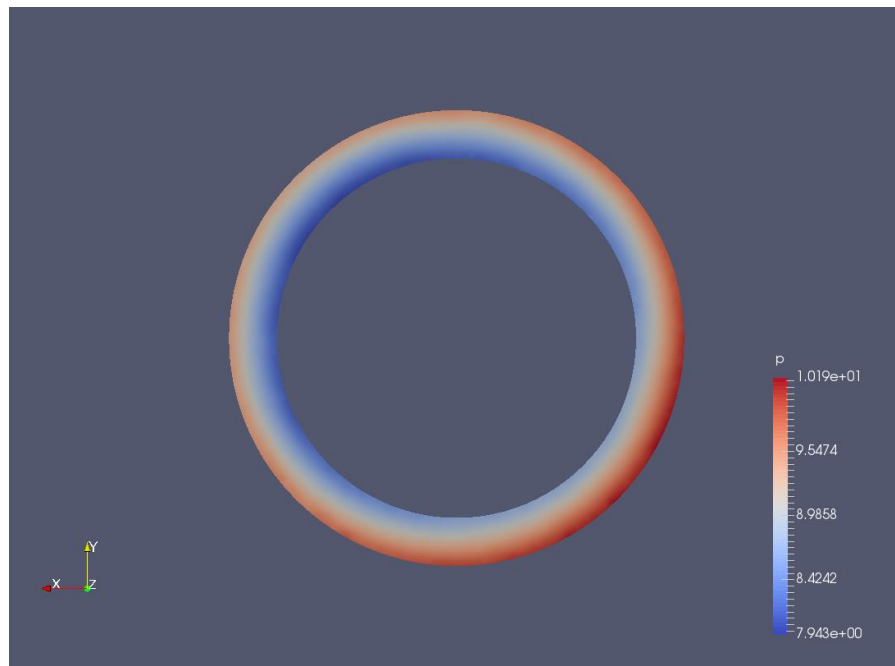
Como se puede observar con la velocidad más pequeña de 700rpm el fluido ya se mueve de forma rotativa, a medida que va aumentando las revoluciones también va aumentando la componente de rotación del fluido.

6.1.2. Presión en la salida de la bomba cilíndrica.



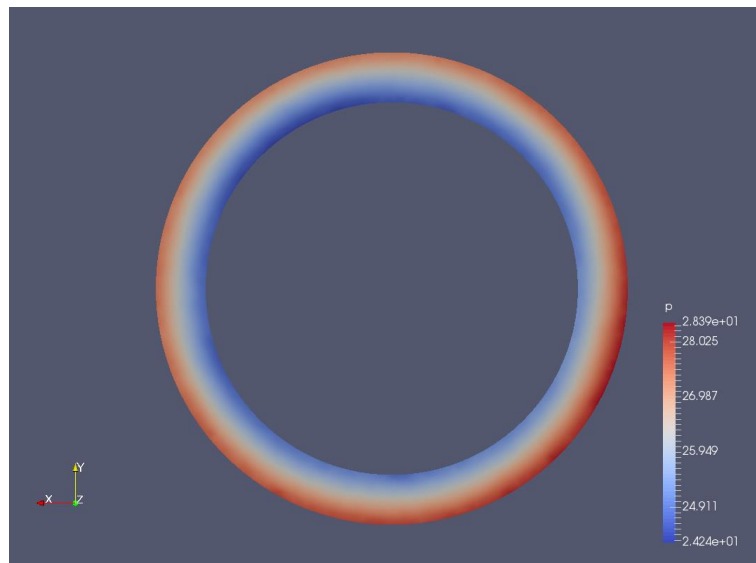
Fuente: Propia

Fig.6.5. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 700rpm



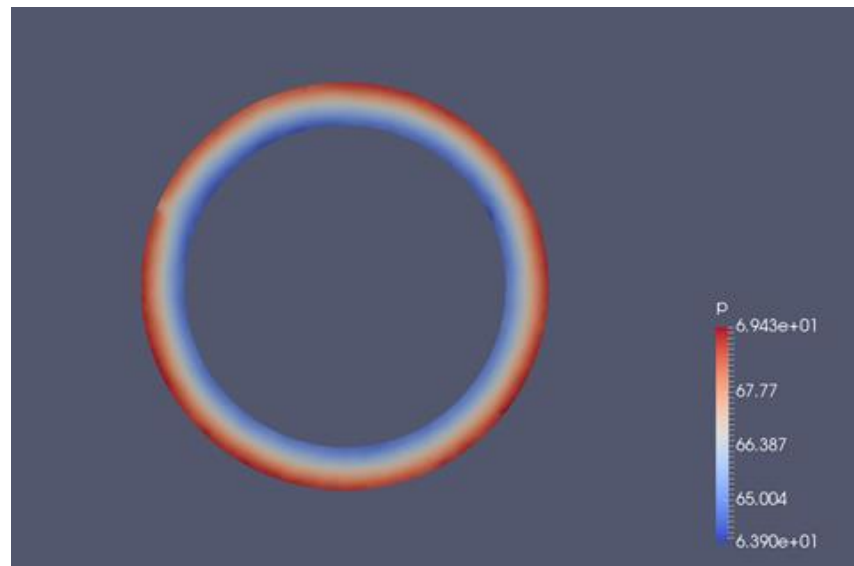
Fuente: Propia

Fig.6.6. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 1400rpm



Fuente: Propia

Fig.6.7. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 2100rpm

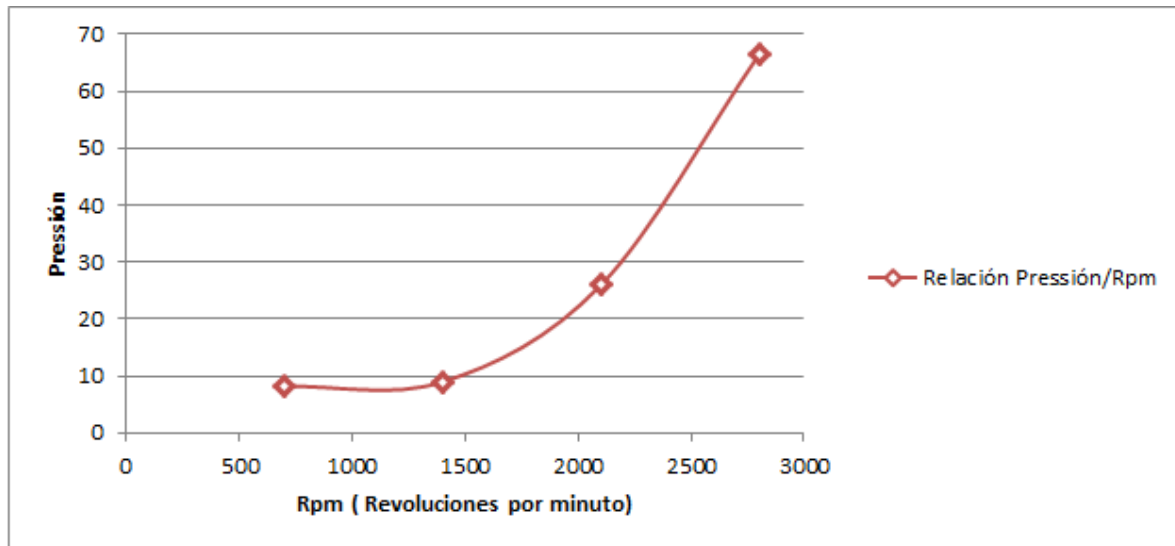


Fuente: Propia

Fig.6.8. Presión en la cara de salida de la bomba cilíndrica con agua a 2800rpm

Estas son las figuras que representan la presión ejercida por el fluido a la salida de la bomba, el resultado se asimila también en las otras bombas, como se puede observar, a medida que van

aumentando las revoluciones (las cuales provocan un aumento de la velocidad del fluido) aumenta la presión que este ejerce a la estructura de la bomba. Esta es la relación obtenida entre la velocidad de giro de la bomba y como aumenta la presión.

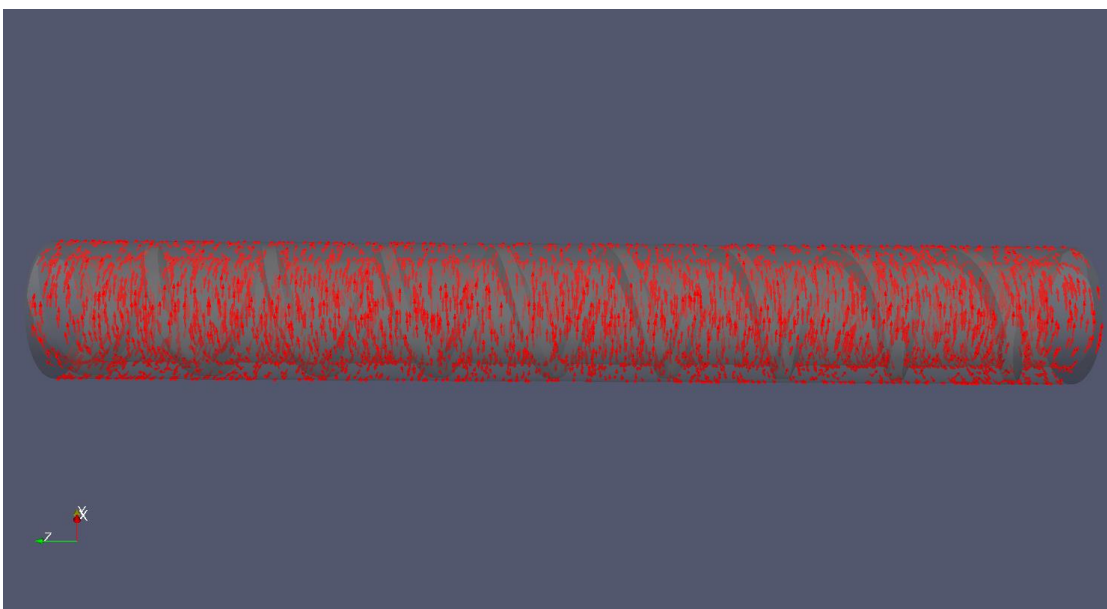


Fuente: Propia

Fig.6.9. Grafica relación entre presión y velocidad

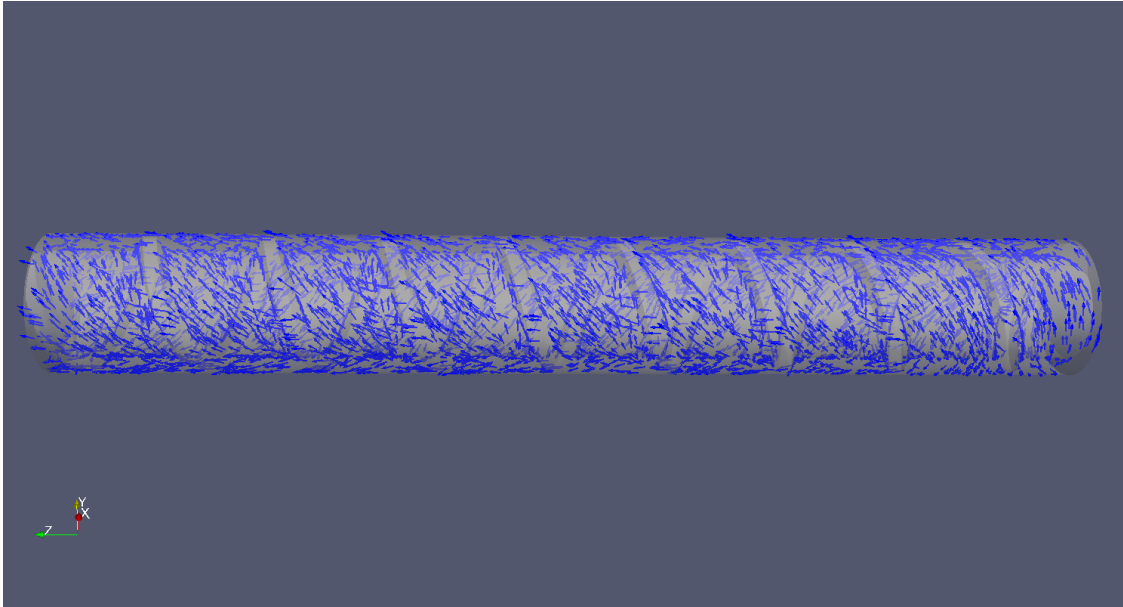
6.2. Bomba de tornillo

6.2.1 Dirección en la bomba de tornillo para diferentes viscosidades.



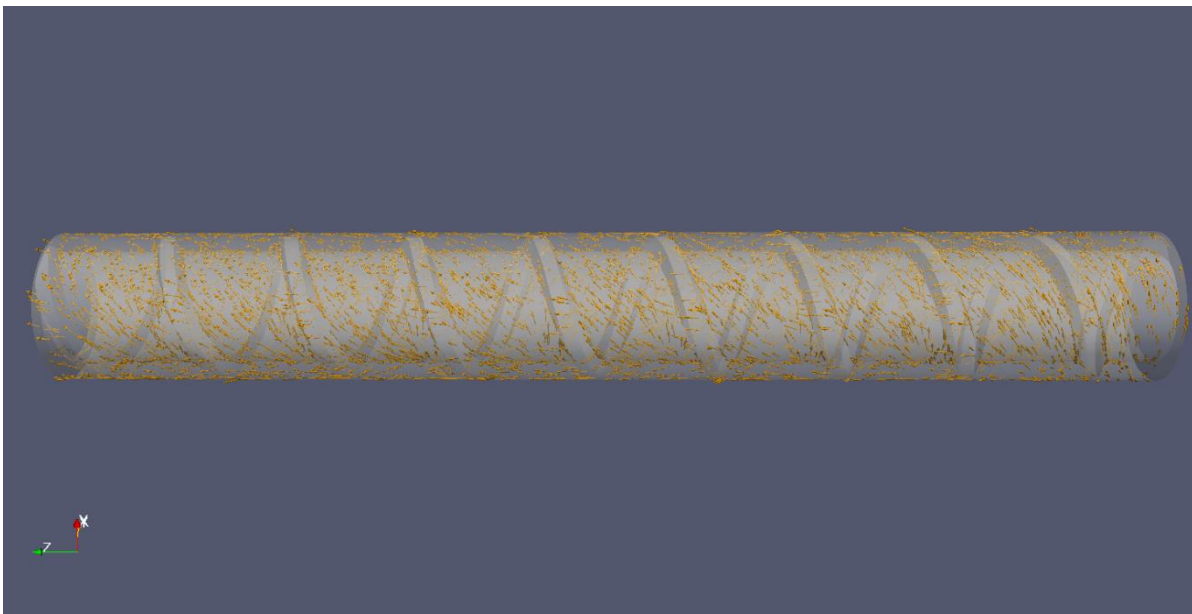
Fuente: Propia

Fig.6.10. Trayectoria de la glicerina en la bomba de tornillo para 700 rpm



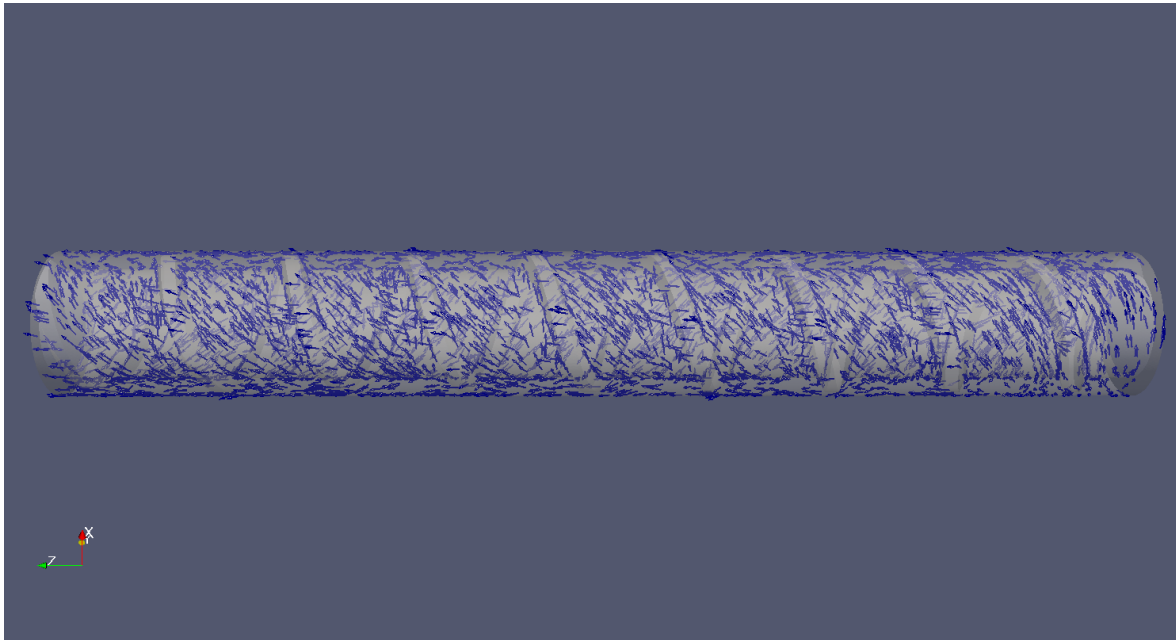
Fuente: Propia

Fig.6.11. Trayectoria de la leche en la bomba de tornillo para 700 rpm



Fuente: Propia

Fig.6.12. Trayectoria del petróleo en la bomba de tornillo para 700 rpm



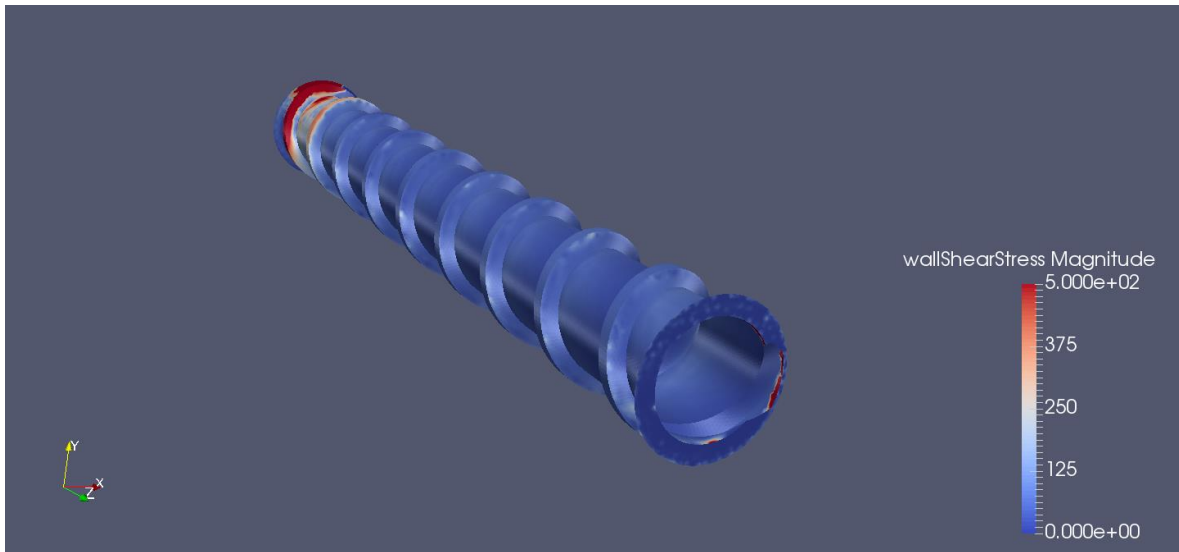
Fuente: Propia

Fig.6.13. Trayectoria del agua en la bomba de tornillo para 700 rpm

El funcionamiento tanto para el agua como para la leche y el petróleo es correcto, el fluido se mueve hacia la salida gracias a que la forma de tornillo lo arrastra, el problema surge como se puede ver en la figura 6.10. Cuando la viscosidad de la glicerina es demasiado alta, este tipo de bombas se vuelve ineficiente tanto mecánica como volumétricamente cuando van a bombear fluidos con viscosidad alta, es decir, el flujo disminuye y el consumo de energía aumenta. En este caso sería mejor usar una bomba de cavidad progresiva, son ideales para viscosidades altas ya que la eficiencia mecánica aumenta cuando más aumenta la viscosidad, lo que también comporta un menor consumo energético.

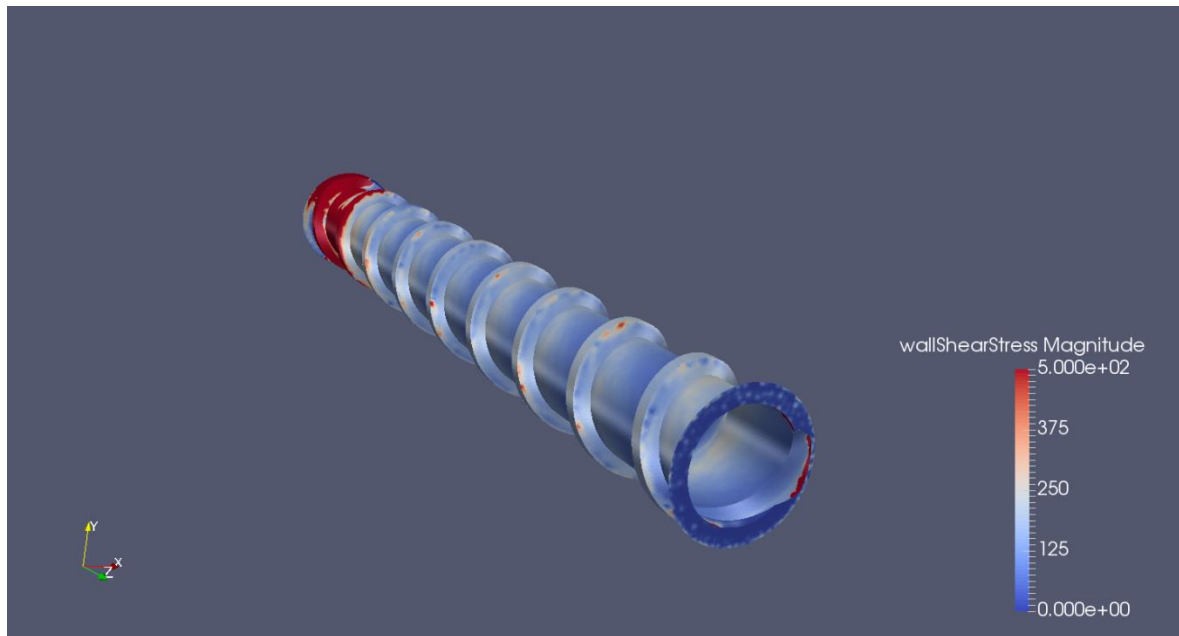
6.2.2. Tensión cortante según la velocidad de giro.

Parecido al resultado obtenido de la presión en la salida de la bomba cilíndrica, con la diferencia que muestra el esfuerzo cortante a lo largo de la bomba. Como se puede observar en las siguientes 4 figuras a medida que la velocidad aumenta el esfuerzo cortante provocado también se incrementa. También se observa que a lo largo de la bomba también hay variaciones, es sin duda en la salida donde se puede apreciar más color rojo (valores máximos) debido a que es la zona con mayor presión y por lo tanto se genera más esfuerzo.



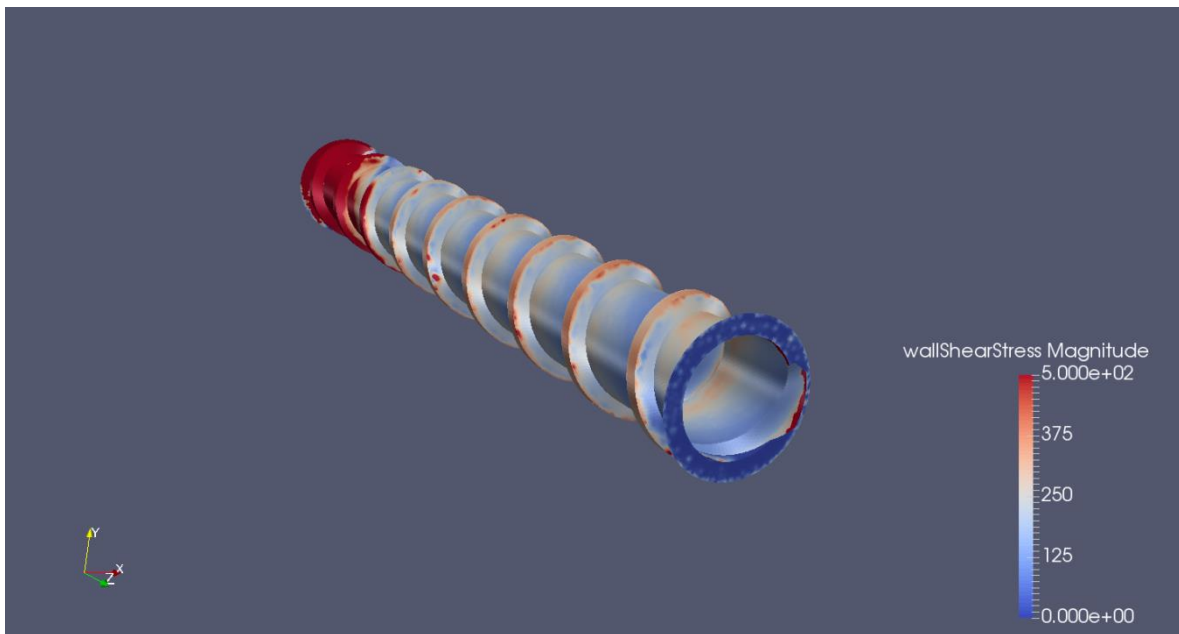
Fuente: Propia

Fig.6.14. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 700rpm



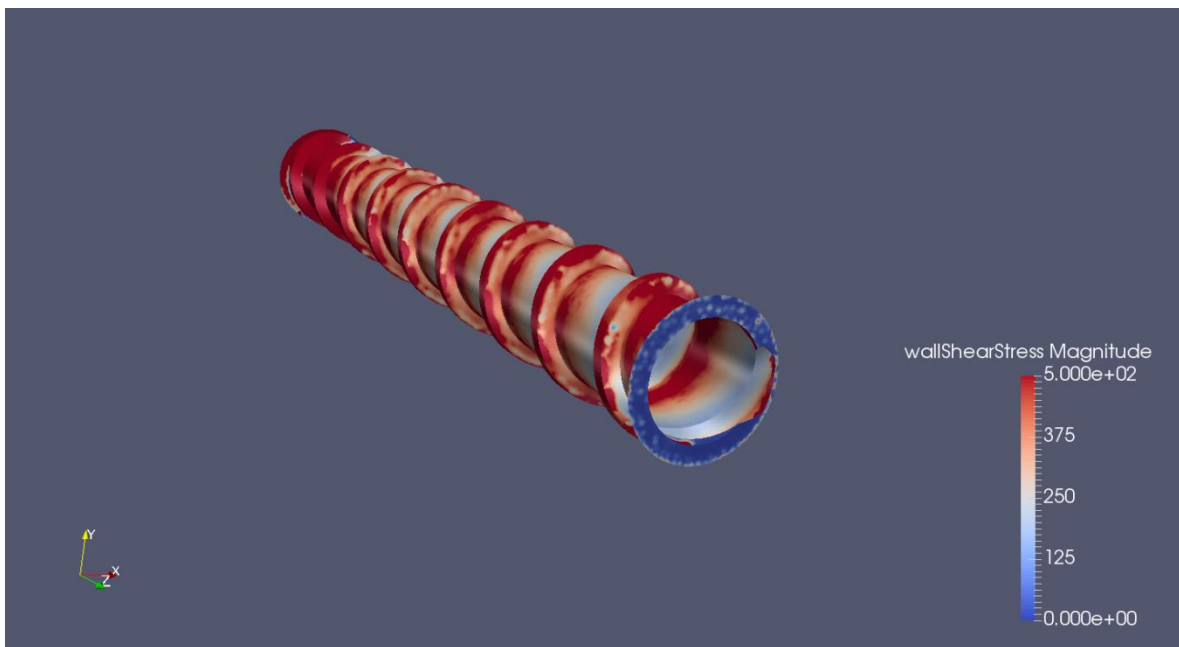
Fuente: Propia

Fig.6.15. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 1400 rpm



Fuente: Propia

Fig.6.16. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 2100 rpm



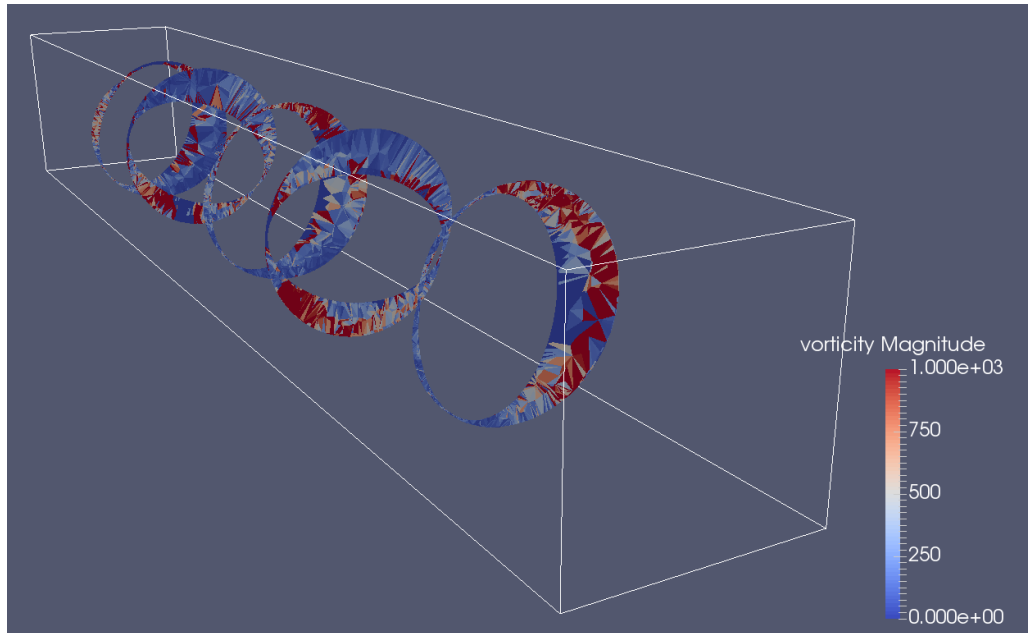
Fuente: Propia

Fig.6.17. Esfuerzo cortante en la bomba de tornillo 2800rpm

Como se mencionaba anteriormente se puede observar cómo a medida que va aumentando la velocidad se vuelve más color rojo lo cual indica un mayor valor.

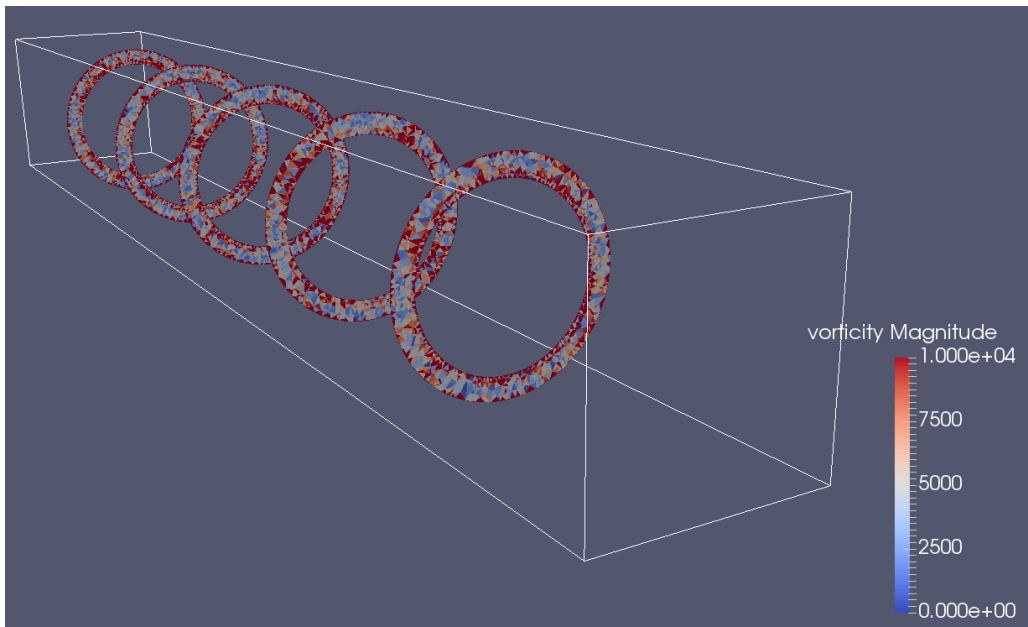
6.2.3 Vorticidad de las 3 bombas

Esta simulación aunque contenga simulaciones de las otras 2 está situada aquí debido al funcionamiento destacado de la bomba de tornillo.



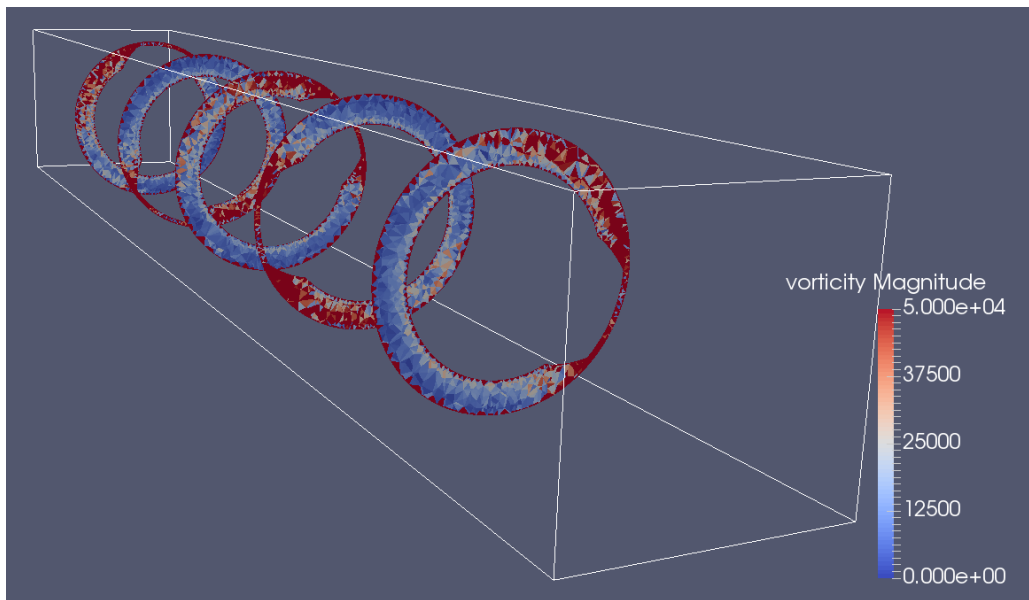
Fuente: Propia

Fig.6.18. Vorticidad en la bomba poligonal a 700rpm



Fuente: Propia

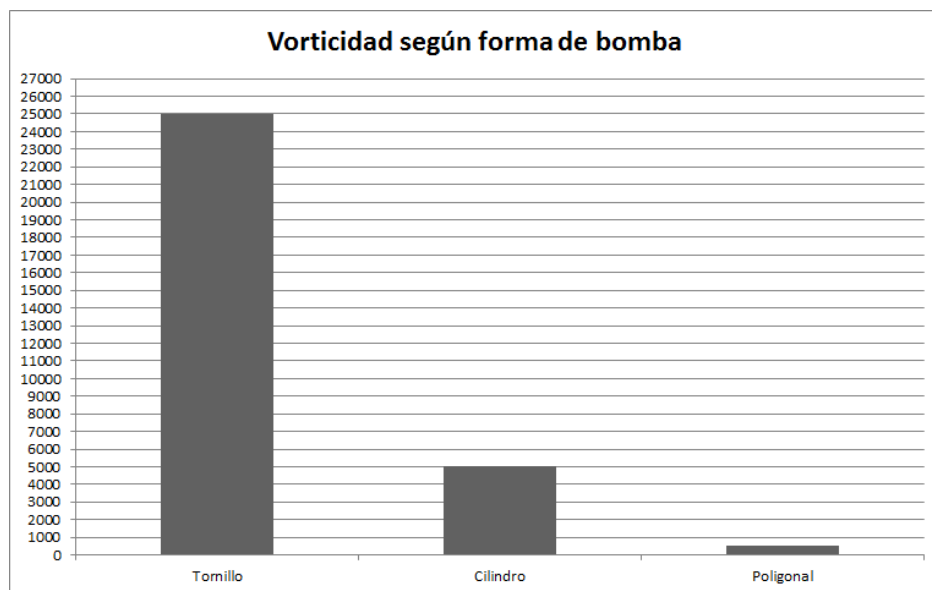
Fig.6.19. Vorticidad en la bomba cilíndrica a 700rpm



Fuente: Propia

Fig.6.20. Vorticidad en la bomba de tornillo a 700rpm

La Vorticidad es la magnitud física que se emplea en mecánica de fluidos para cuantificar al rotación de un fluido. Se ha realizado una gráfica para entender mejor los resultados de las 3 figuras anteriores:



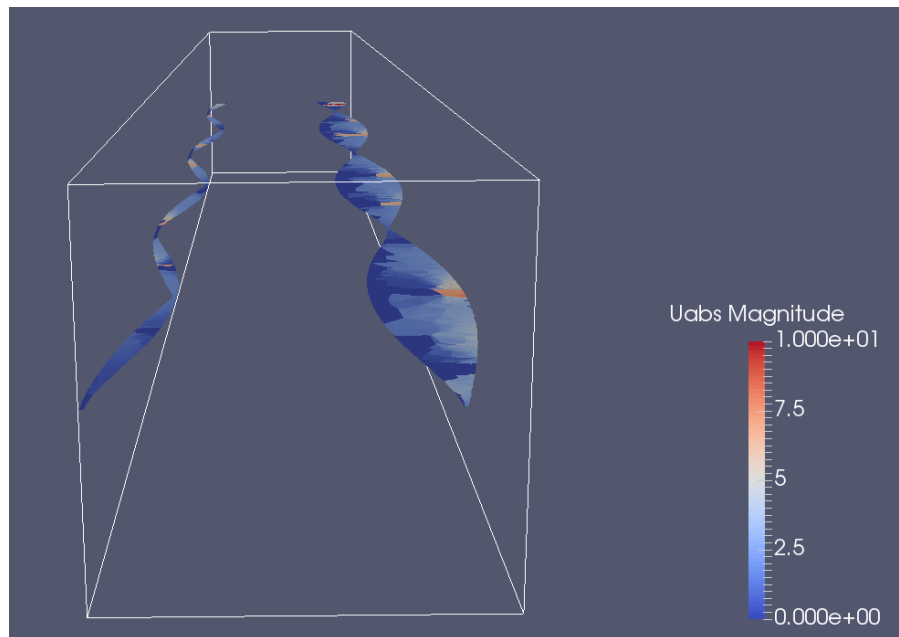
Fuente: Propia

Fig.6.21. Vorticidad dependiendo de la forma de la bomba.

Empezando por la bomba con menos vorticidad se encuentra la poligonal. Esto es normal ya que como se ha mencionado durante todo el documento, estas están fabricadas para que el fluido en su interior se mueva de forma recta y no se agite ni mezcle (figura 6.18), en este caso se está hablando de 500 unidades de vorticidad frente a las 25000 de media que se genera en la bomba de tornillo, lo que se puede traducir en 50 veces menos rotación de una bomba poligonal a una de tornillo. La vorticidad de la bomba de tornillo viene dada por su geometría, al tener una cavidad con forma de espiral en su interior es muy fácil que se deposite fluido y este se vea arrastrado en la rotación de la bomba, lo que provoca que aumente muy fácilmente la vorticidad. El caso de la bomba cilíndrica está en medias, se comporta más parecido a la bomba poligonal aunque entre ellas tienen una relación de 1/10 en cuanto a vorticidad; es inevitable que la cilíndrica que genera una rotación no transmita este movimiento también al fluido.

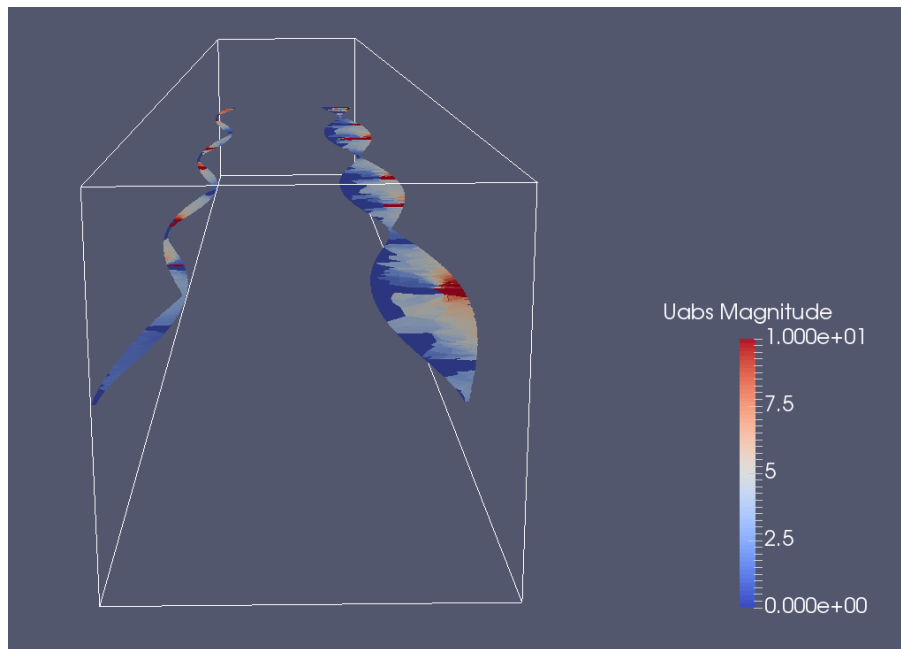
6.3. Bomba poligonal.

6.3.1. Velocidad bomba poligonal



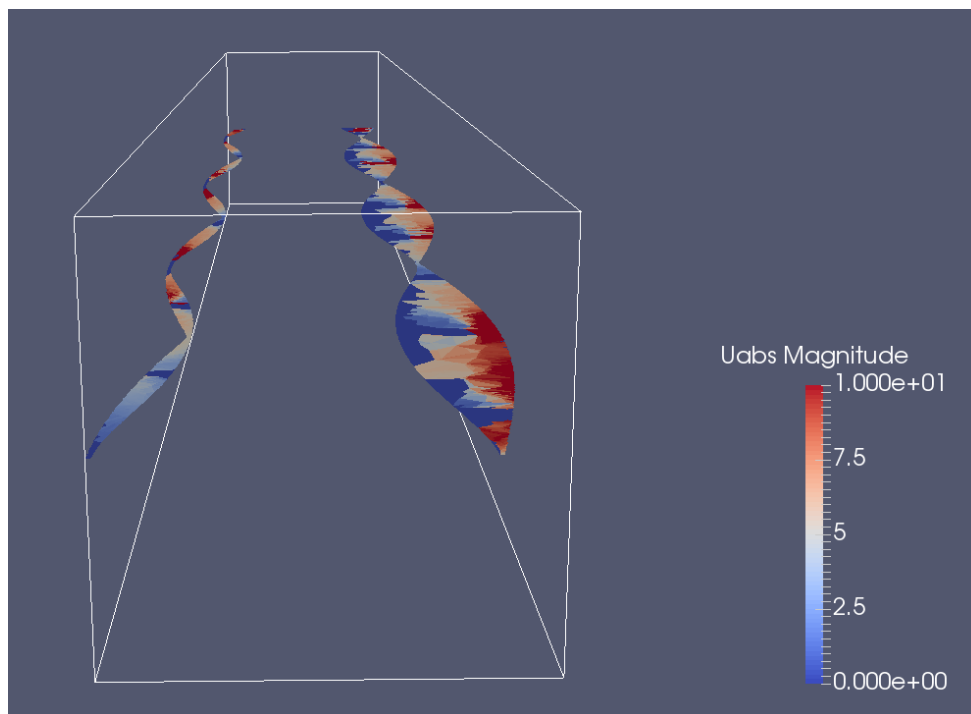
Fuente: Propia

Fig.6.22. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 700rpm



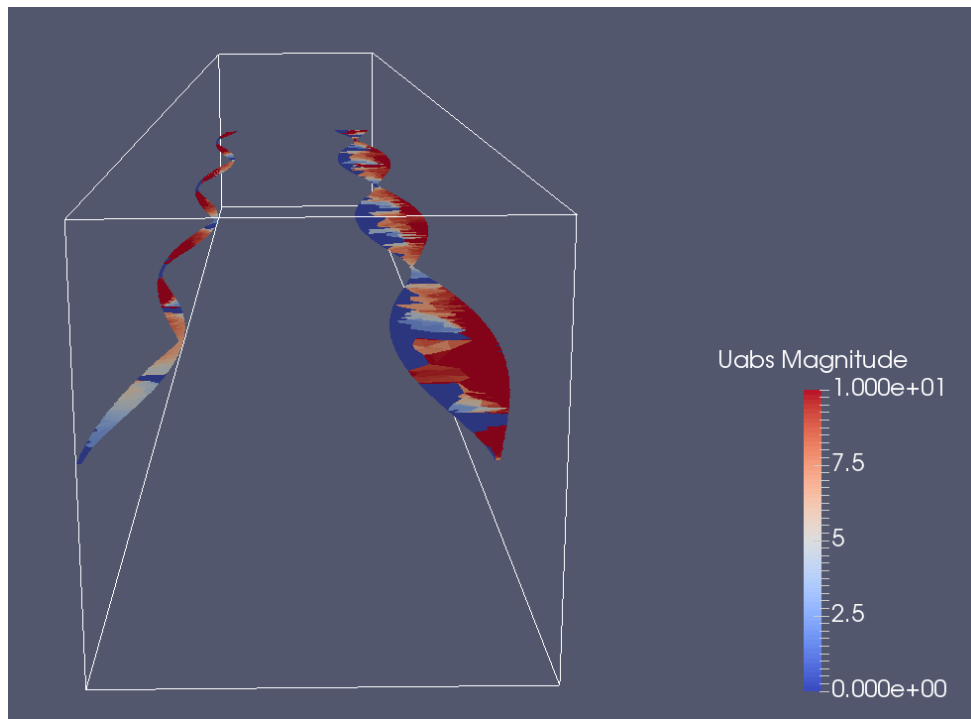
Fuente: Propia

Fig.6.23. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 1400 rpm



Fuente: Propia

Fig.6.24. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 2100rpm



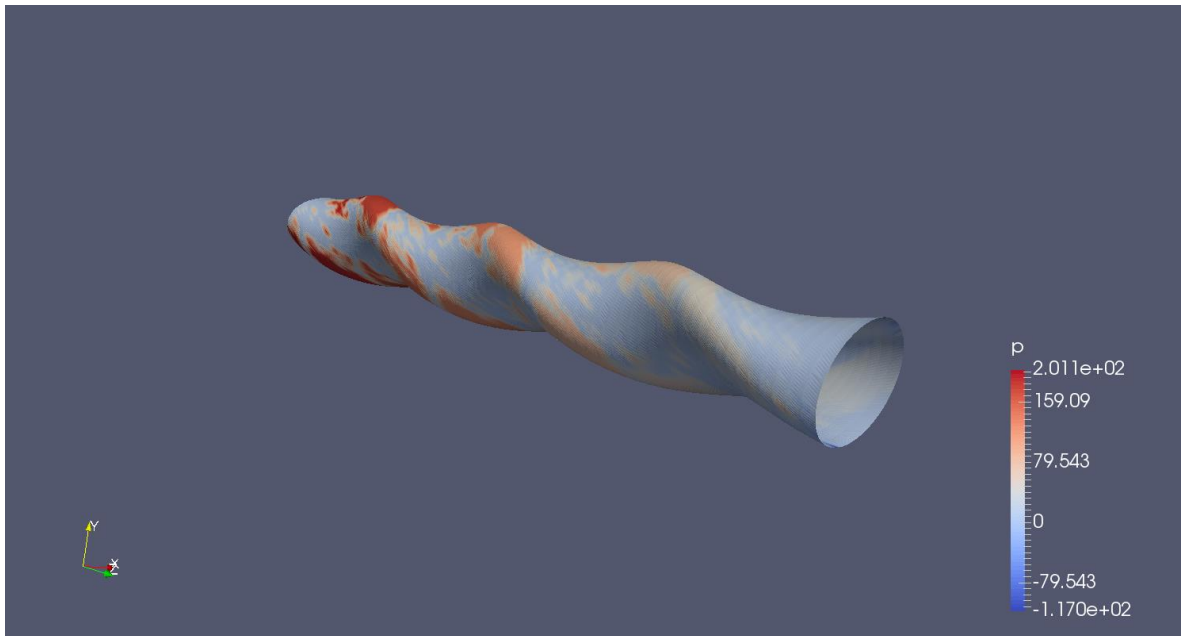
Fuente: Propia

Fig.6.25. Gama de velocidades en el interior de la bomba poligonal para 2800rpm

Es normal que el color vaya haciendo la transición de azul a rojo debido a que cada una de las figuras va aumentando la velocidad de giro, lo que se puede observar es que en las zonas donde el grueso entre el eje interior y el exterior es donde se genera una mayor velocidad. Mientras que en las zonas donde el espacio entre ambos es prácticamente cero, la velocidad se ve reducida drásticamente. También al igual que en algunos casos vistos anteriormente, la velocidad a la salida de la bomba es mayor que en la entrada debido a la diferencia de presión que se genera en el interior.

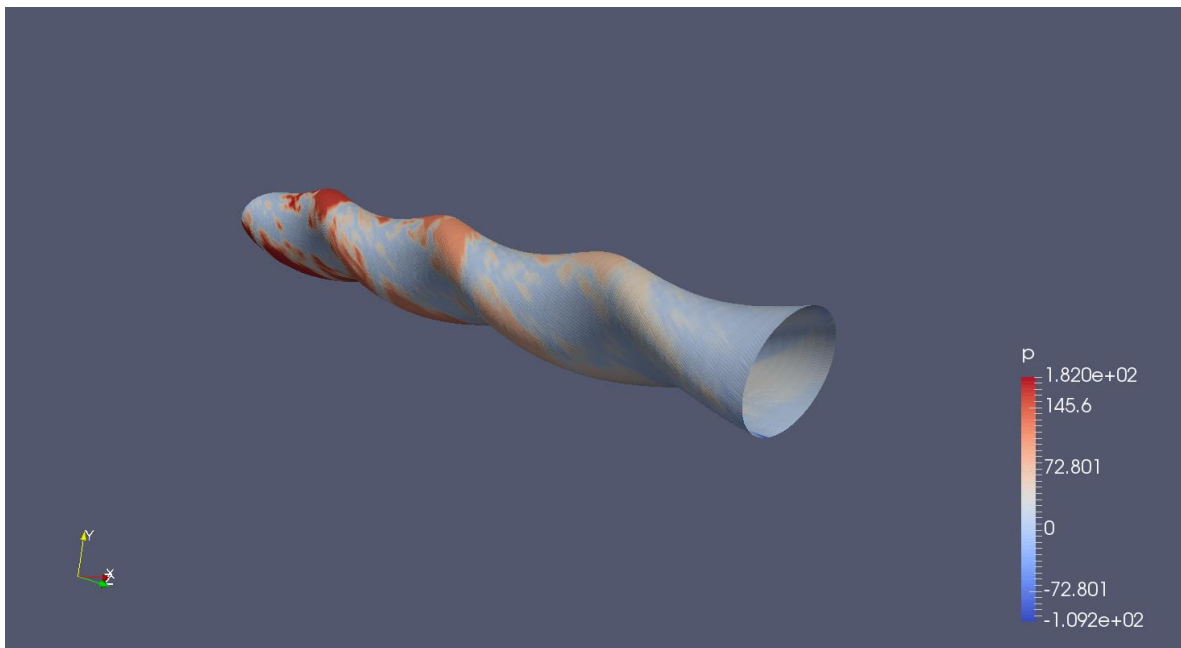
6.3.2 Presión en la bomba poligonal según la viscosidad.

Como también se ha mencionado que las bombas poligonales tienen gran cantidad de utilidades en muchos tipos de industria es interesante ver la presión (una variable muy importante) en diferentes tipos de materiales. Se ha realizado una simulación en la bomba poligonal manteniendo 700rpm pero modificando la viscosidad de los materiales y se ha realizado un gráfico para ver cómo se comporta la presión respecto a la viscosidad.



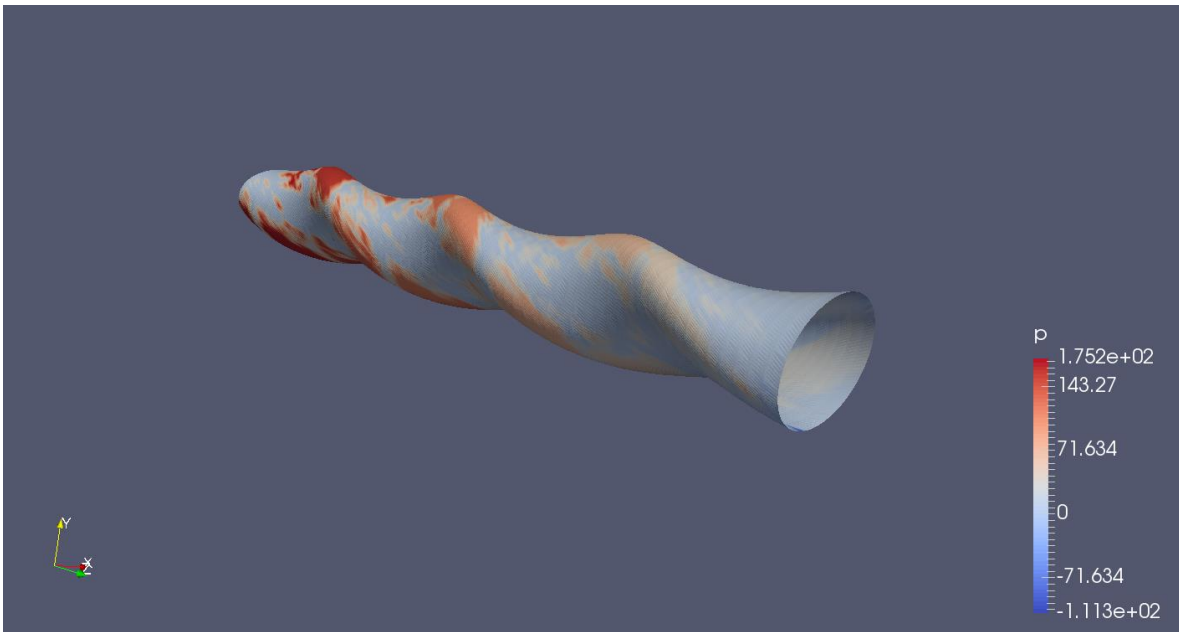
Fuente: Propia

Fig.6.26. Presión viscosidad de $8.8e-07$



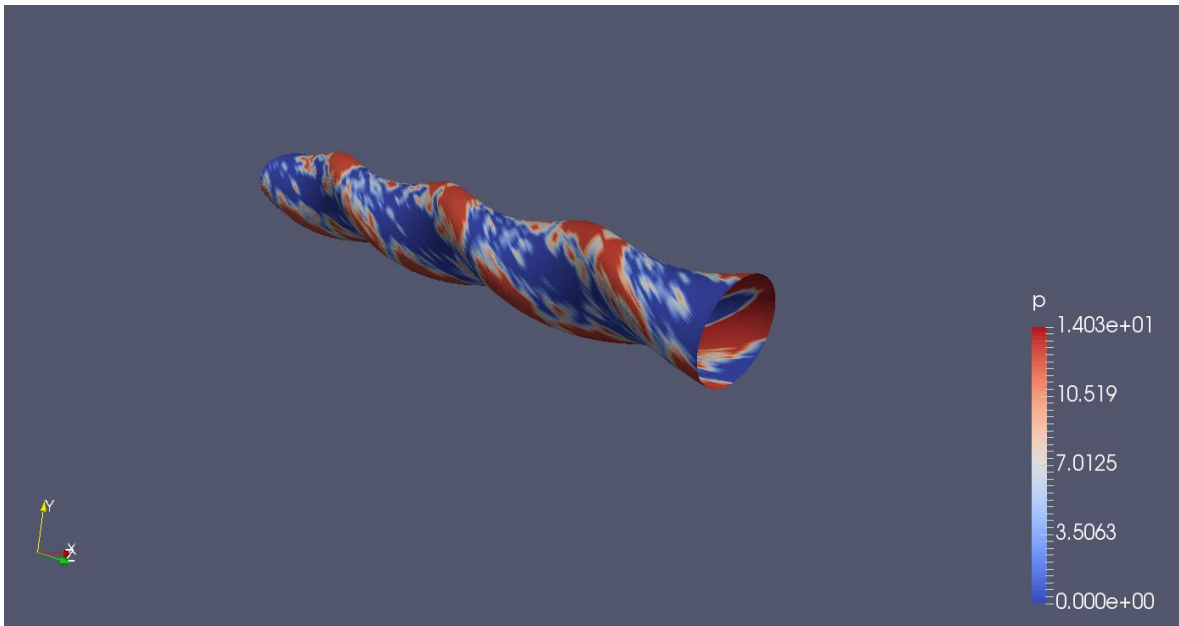
Fuente: Propia

Fig.6.27 Presión viscosidad de $1.13e-04$



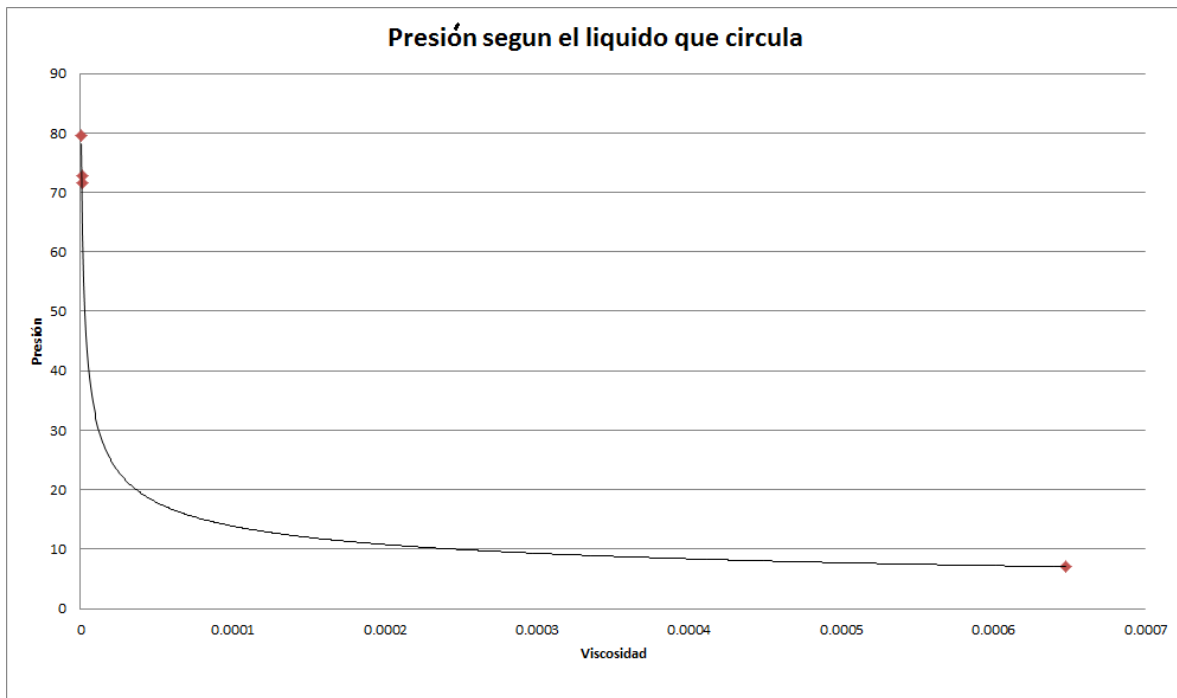
Fuente: Propia

Fig.6.28. Presión viscosidad de $1.004e-06$



Fuente: Propia

Fig.6.29. Presión viscosidad de $6.48e-04$



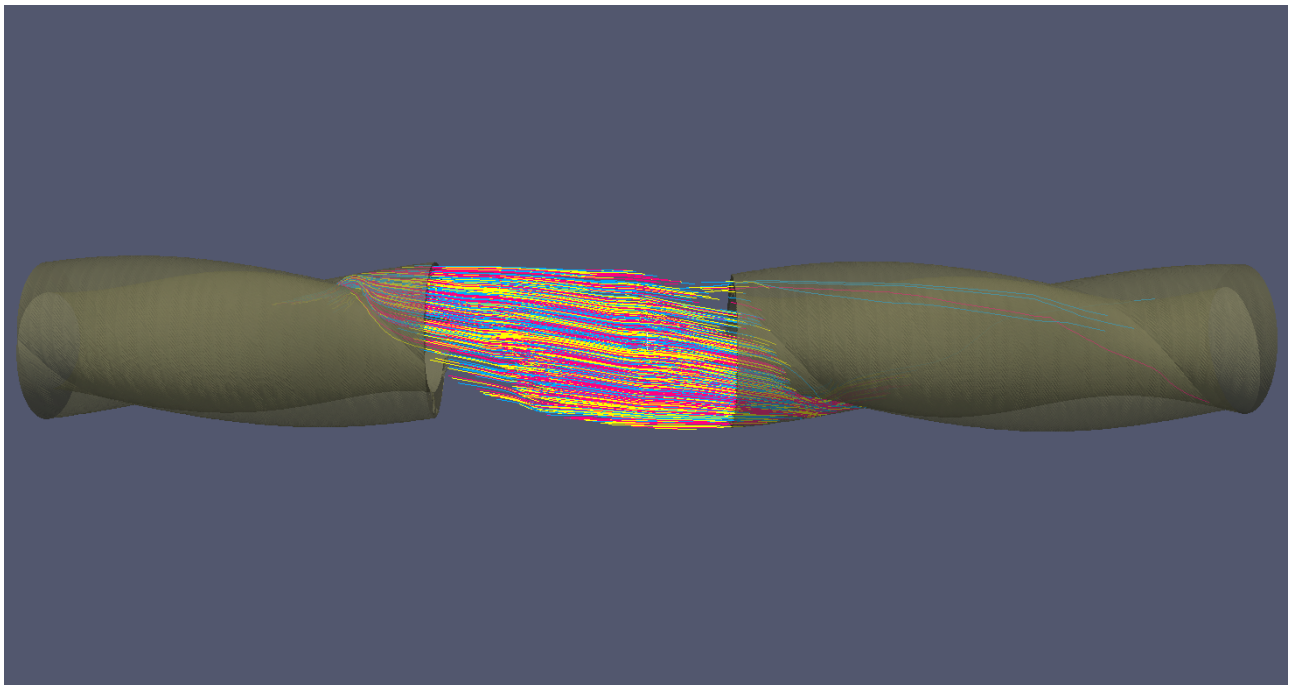
Fuente: Propia

Fig.6.30. Relación presión - viscosidad

Este es el gráfico correspondiente a la viscosidad de las simulaciones y la presión que se genera en el interior. En los líquidos en general hay una relación exponencial entre la presión y la temperatura. A mayor presión, mayor temperatura y por lo tanto menor viscosidad, una pequeña variación de temperatura puede generar una gran variación de viscosidad. Por lo tanto también se puede aplicar a la inversa, una diferencia de viscosidad genera diferentes presiones. Esto se corresponde con las imágenes y gráficos, ya que para la viscosidad más pequeña de “ $8.8e-07$ ” se tiene la mayor presión de 79.54 unidades de media, mientras que para la viscosidad de “ $6.48e-04$ ” se tiene la presión más baja de alrededor de 7 unidades de media. Los tres puntos de la gráfica están muy cerca ya que la variación de viscosidad es poca, menos el último punto que marca una gran diferencia.

6.3.3 Desplazamiento de varios fluidos en la bomba poligonal.

Este último resultado es sin duda el más relevante debido a que muestra lo que se ha mencionado a lo largo del proyecto y es que la principal característica de una bomba poligonal es la de hacer que el fluido que circula en su interior no se mezcle ni se agite, es decir circule de forma recta. Para esta última simulación se ha hecho elegida la bomba poligonal a 700 rpm y se puede observar la trayectoria de los fluidos en su interior. Debido a que el comportamiento para las 4 distintas viscosidades ha sido el mismo, solamente hay una simulación con diferentes colores, cada línea de color representa un material distinto.



Fuente: Propia

Fig.6.31. Trayectoria de los fluidos en la bomba poligonal

A diferencia de las otras dos bombas y como ya se ha podido ver en las simulaciones sobre vorticidad, el movimiento de la bomba poligonal es prácticamente recto, solamente se ve un poco alterado por la forma geométrica entre los dos ejes. Aunque como se observa en la figura 6.31. todas las líneas de diferentes colores y por lo tanto la representación de todos los distintos tipos de fluidos se comportan de forma correcta. (No se ha podido grabar las simulaciones, cada una de ella tiene un tamaño de 14GB aproximadamente, 620Gb en total, por eso se ha mostrado la mayor cantidad de imágenes posibles ya que la capacidad de un CD/DVD es mucho menor.

7. Construcción modelo práctico.

El objetivo de la parte práctica es la preparación del experimento y el equipo para hacer las medidas en un pequeño modelo de una bomba poligonal.

7.1 Componentes

Los componentes y materiales usados para el funcionamiento y medición del pequeño modelo de la bomba son los siguientes:

- Depósito de 57 Litros.
- Soporte para mantener toda la estructura junta, evitar movimientos y la tensión en la correa, fabricado a partir de acero laminado con perfil de tubo cuadrado.
- Bomba
- Tuberías de $\frac{3}{4}$ " y codos de 90°.
- Válvula anti retorno de $\frac{3}{4}$ "
- Motor Eléctrico AL-206
 - Clase de aislamiento. clase. B
 - Frecuencia 50Hz
 - Voltaje 220V
 - 1550 rpm
 - 1.36 C.V
- 6 cables eléctricos de 4mm
- Variador de frecuencia PowerFlex 40
 - Alimentación monofásica 230 V / 50 Hz.
 - Regulación continua des de 0 Hz hasta 50 Hz.
 - Control local mediante entradas de puesta en marcha, parada, sentido de giro i consigna de velocidad mediante una entrada analógica.
 - Conexión Ethernet/IP (gracias al módulo 22-COMM-E que tiene acoplado).
- Esferas de felpa
- Fluido (Agua)

7.2 Configuración

Por lo que respecta a la parte eléctrica del montaje hay que hacer algunos ajustes para poder empezar. Hay que configurar el variador de frecuencia de manera que pueda funcionar de forma local sin PLC. Las funciones necesarias son:

- Start: Enciende el motor lo que permite su funcionamiento.
- Stop: Detiene el motor.
- Sentido de giro: Controla el sentido de giro del motor.
- Potenciómetro local: Regula la frecuencia, con lo que se controla la velocidad.

El software Drive Executive permite acceder a los múltiples parámetros del variador, ya sea para consultarlos o modificarlos y así poder establecer la configuración necesaria deseada del variador.

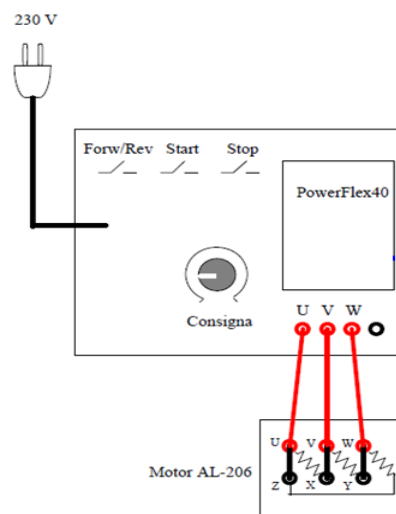
Se debe buscar el dispositivo mediante Drive / Connect to Drive... Tras unos segundos aparecerá una lista de los dispositivos conectados al ordenador. Se debe seleccionar el "192.168.3.215, PowerFlex 4, PowerFlex 40 1P 240V 2.0HP" y una vez se ha conectado al variador aparece una lista de alrededor de 70 parámetros. Para tener uso local se deben realizar 2 modificaciones:

- P36 = 1 – 3 -Wire; Define el modo de comando de la puesta en marcha (Start) cuando se requiere un control local del variador.
- P38 = 2-Input 0-10V; Define el origen de la consigna de frecuencia para el potenciómetro local.

De esta forma se puede usar de la forma que sea necesaria en otro espacio y se puede usar de forma portátil.

7.3 Montaje.

Se ha construido un soporte para tener sujetos la bomba y el motor, de esta forma se evitara el movimiento de ambos en cuanto el motor empecé a girar debido a su peso y también se mantiene la tensión en la correa al tener siempre la distancia deseada. Por lo tanto la estructura principal está constituida por el motor y la bomba conectados por la correa y ambos sostenidos en la estructura.



Fuente: Propia

Fig.7.1. Conexión Corriente – Variador - Motor

El depósito está situado debajo de la bomba, al disponer de varias tuberías y codos se tiene gran variedad de posibilidades de formas de conexión entre la bomba y el tanque. Dentro de la primera de las tuberías que es la que está en contacto con el tanque y la cual succiona el agua se introduce una válvula anti retorno ya que conviene que el sistema esté lleno de agua.

El motor se debe conectar a la salida trifásica del variador, disponible en las bases de banana montadas en el equipo, la alimentación del motor la suministra el variador ajustando tensión i frecuencia a la consigna dada.

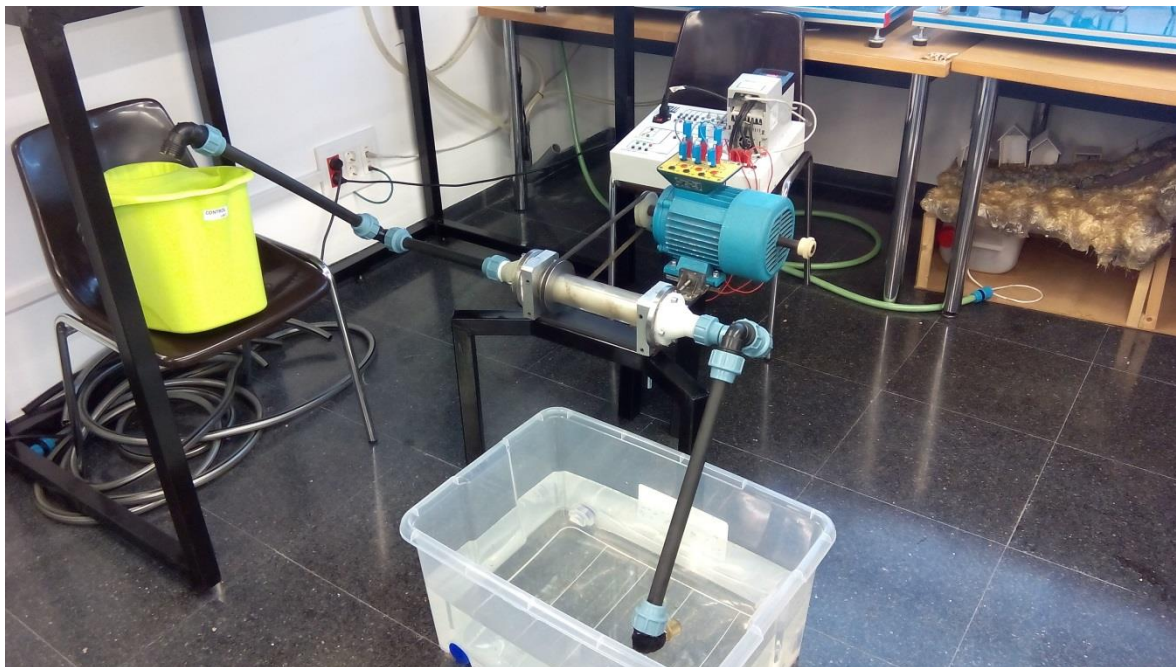
7.4 Prueba

Una vez está todo el sistema conectado se puede proceder a realizar el experimento.

Se rellena el tanque con el fluido que convenga (en este caso agua), se depositan las esferas de felpa en el agua.

Una vez el variador de frecuencia está conectado a la corriente se puede controlar el motor con los interruptores de Start para poner a punto el motor, Stop para detenerlo y Sentido de giro para controlar el sentido de giro del motor. Se debe cerrar el contacto de Start para que se encienda y posteriormente con el Potenciómetro ir incrementando la frecuencia. La bomba puede trabajar desde un mínimo de 500 rpm hasta las 1500 (velocidad máxima del motor).

En este punto la bomba gira a las suficientes rpm para empezar a succionar el agua por la tubería donde está la válvula anti retorno, de forma que todo el sistema queda repleto de agua y hay un flujo en el sistema.



Fuente: Propia

Fig.7.2. Modelo de prácticas ensamblado

8. Planificación del proyecto.

El proyecto se inició el 14/09/2016 (fecha de inicio del curso universitario) con finalización el 02/05/2016, fecha de entrega del documento en el centro universitario. La planificación contempla fechas festivas y fines de semana los cuales el centro universitario resta cerrado.

8.1. Definición de tareas.

1. Realización geometría 2D eje interior.

Creación de la geometría 2D de los ejes interiores de las 3 distintas bombas, mediante programa CAD.

2. Diseño 3D eje interior en CAD.

Diseñar el modelo 3D del eje a partir del modelo 2D anterior para todas las bombas.

3. Realización geometría 2D eje exterior.

Creación de la geometría 2D de los ejes exteriores de las 3 distintas bombas, mediante programa CAD.

4. Diseño 3D eje exterior en CAD.

Diseñar el modelo 3D del eje a partir del modelo 2D anterior para todas las bombas.

5. Obtención de la zona de estudio.

Mediante software CAD obtención de la zona por la cual fluye el líquido y por lo tanto la zona que se debe realizar el estudio.

6. Mallado de la zona de estudio.

Creación de una malla para cada una de las bombas creadas anteriormente.

7. Preparación CFD

Preparar las variables del programa computacional para que resuelva el mallado.

8. Simulación del mallado.

Simular la circulación de fluidos dentro de la zona de estudio para todas las bombas.

9. Resolución simulación

Uso de ParaView para visualizar líneas de flujo en cada una de las bombas.

10. Pedido fabricación

Tiempo de demora de los pedidos de fabricación.

11. Construcción bancada

Construcción soporte para la sujeción del modelo de prácticas.

12. Configuración ensayo.

Configuración del sistema electrónico motor – variador de frecuencia.

13. Montaje ensayo

Montaje de la bomba una vez se tengan todas las piezas.

14. Realización ensayo

Puesta en marcha del ensayo y funcionamiento.

15. Medidas / análisis de resultados

Tomar medidas de los resultados.

16. Correlación resultados

Comparar los resultados entre el experimento teórico y el ensayo físico.

17. Redacción proyecto de detalle

Redactar toda la nueva documentación.

18. Entrega proyecto de detalle

Entrega del documento al centro universitario.

Las tareas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 son tareas que se deben de ejecutar una tras de otra ya que se necesita el resultado de la anterior para poder proseguir. La tarea 10 (Pedido fabricación) se puede empezar una vez se ha diseñado las dimensiones de los ejes. Y las tareas de montaje pueden funcionar en paralelo ya que mientras se ejecuta la simulación no se requiere de recursos dedicados a ella, sino que funciona sola. La entrega se realizara una vez finalizada la parte teórica y práctica lo que nos permitirá terminar la documentación escrita.

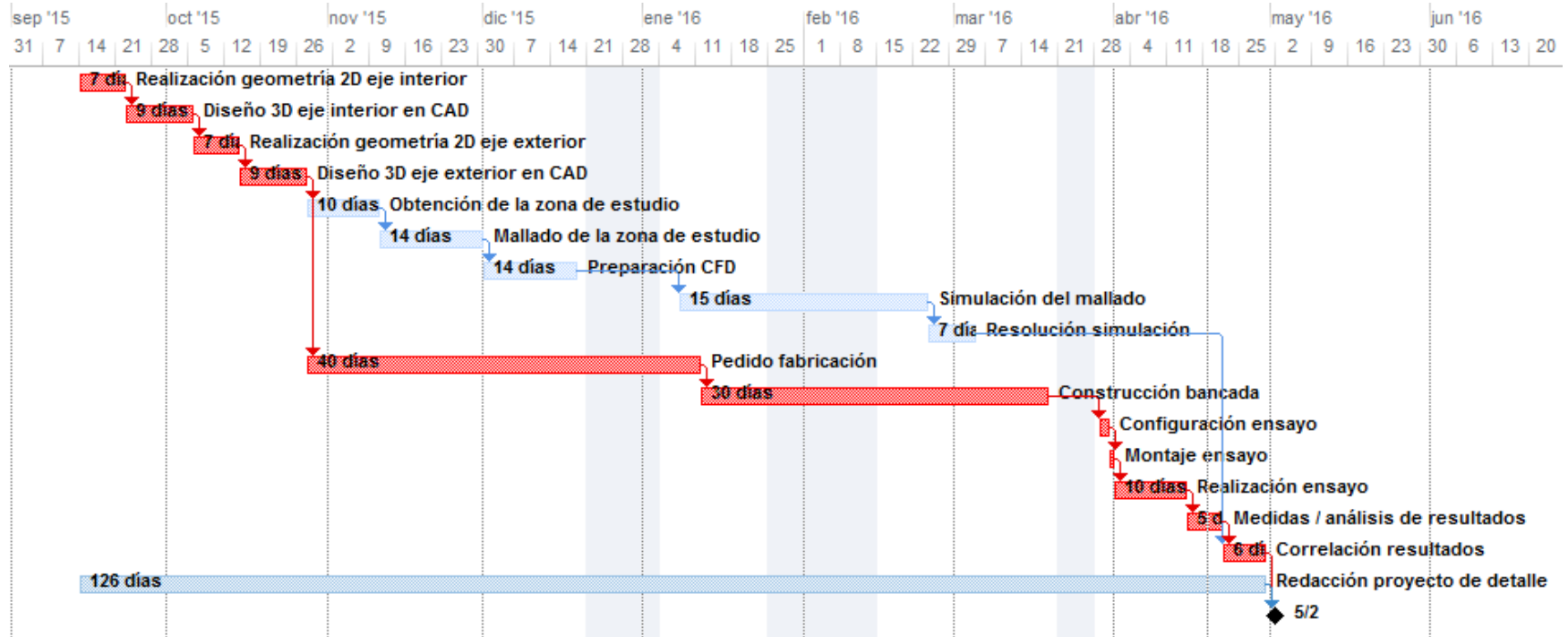
8.2 Tareas y precedencias.

| | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Predecesor |
|----|---------------------------------------|----------|--------------|--------------|------------|
| 1 | Realización geometría 2D eje interio | 7 días | lun 9/14/15 | mar 9/22/15 | |
| 2 | Diseño 3D eje interior en CAD | 9 días | mié 9/23/15 | lun 10/5/15 | 1 |
| 3 | Realización geometría 2D eje exterior | 7 días | mar 10/6/15 | mié 10/14/15 | 2 |
| 4 | Diseño 3D eje exterior en CAD | 9 días | jue 10/15/15 | mar 10/27/15 | 3 |
| 5 | Obtención de la zona de estudio | 10 días | mié 10/28/15 | mar 11/10/15 | 4 |
| 6 | Mallado de la zona de estudio | 14 días | mié 11/11/15 | lun 11/30/15 | 5 |
| 7 | Preparación CFD | 14 días | mar 12/1/15 | vie 12/18/15 | 6 |
| 8 | Simulación del mallado | 15 días | vie 1/8/16 | mié 2/24/16 | 7 |
| 9 | Resolución simulación | 7 días | jue 2/25/16 | vie 3/4/16 | 8 |
| 10 | Pedido fabricación | 40 días | mié 10/28/15 | lun 1/11/16 | 4 |
| 11 | Construcción bancada | 30 días | mar 1/12/16 | vie 3/18/16 | 10 |
| 12 | Configuración ensayo | 2 días | mar 3/29/16 | mié 3/30/16 | 11 |
| 13 | Montaje ensayo | 1 día | jue 3/31/16 | jue 3/31/16 | 12 |
| 14 | Realización ensayo | 10 días | vie 4/1/16 | jue 4/14/16 | 13 |
| 15 | Medidas / análisis de resultados | 5 días | vie 4/15/16 | jue 4/21/16 | 14 |
| 16 | Correlación resultados | 6 días | vie 4/22/16 | vie 4/29/16 | 15,9 |
| 17 | Redacción proyecto de detalle | 126 días | lun 9/14/15 | vie 4/29/16 | |
| 18 | Entrega Documentación | 0 días | lun 5/2/16 | lun 5/2/16 | 16,17 |

Fuente: Propia

Tabla.8.1. Tabla de tareas y precedencias.

8.3. Diagrama de Gantt.



Fuente: Propia

Fig.8.2. Diagrama de Gant del proyecto.

9. Impacte Medioambiental

En el anexo hay además de las siguientes tablas y explicaciones información más específica sobre el impacto medioambiental.

9.1 Impactos

| Acciones Impactantes | | Observaciones |
|--------------------------------------|-----------------------|---|
| Fase de Construcción o Ejecución | Fabricación Bomba | Todas las acciones que se realizan son solamente para una unidad por lo que el impacto es prácticamente nulo. |
| | Soldadura | |
| | Agua del deposito | |
| | | |
| Fase de funcionamiento o explotación | | Por lo que respeta al consumo en el uso, solamente se requiere de conexión eléctrica, disponible en el laboratorio universitario, para el funcionamiento se generara ruido y vibraciones. |
| | Ruido motor eléctrico | |
| | Vibraciones | |
| | Consumo electico | |
| | | |
| | | |

Fuente: Propia

Tabla.9.1. Tabla Acciones impactantes.

| | Factor Ambiental | Impacto sobre ... |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Medio Natural | Atmosfera | No |
| | Suelo | No |
| | Agua | Solo uso de muy poca cantidad de agua |
| | Flora | No |
| | Fauna | No |
| | Medio perceptual | No |
| Medio Socioeconómico | Usos del territorio | No |
| | Culturales | No |
| | Infraestructura | No |
| | Humanos | Pequeño ruido del motor eléctrico |
| | Economía y población | No |

Fuente: Propia

Tabla.9.2. Factores ambientales impactados.

9.2 Resumen y conclusiones.

Fase de construcción.

Por lo que respecta a la fabricación de nuevos productos que son necesarios para la bomba física podemos encontrar: Bomba poligonal, bancada (soporte de acero + soldaduras), tuberías y codos de PVC y depósito de plástico lleno de agua.

Los materiales los cuales está fabricado la bomba son: metacrilato, plástico, tornillos y hierro. Son materiales comunes en la industria, al tratarse de una bomba pequeña de apenas 35cm y tan solo una unidad los residuos que se generan durante la fabricación y una vez terminada su vida útil se pueden depositar en un centro de gestión de residuos.

La bancada que se ha construido está formada de 5 tubos de acero y las tuberías y codos de PVC, son materiales no peligrosos y comunes en construcciones de cualquier tipo. Una vez el proyecto llegue a su fin y se deba desechar esta, se puede reciclar fácilmente en el centro de gestión de residuos.

Recursos y funcionamiento.

Para que el sistema funcione se precisa del uso de corriente eléctrica ya que es necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico y el variador de frecuencia, el sistema se conecta a la corriente de la universidad (corriente alterna 220V). También es necesario llenar el depósito de agua con alrededor de 30L, este proceso solo hace falta hacerlo una vez ya que la bomba vuelve a depositar el agua en el tanque (ciclo cerrado)

Durante el funcionamiento el motor genera ruido y vibraciones. Con el soporte fabricado las vibraciones son mínimas, tan solo se aprecia movimiento en el final de las tuberías. Y el ruido es totalmente admisible, es un motor eléctrico pequeño y ni tan siquiera trabaja a su máxima capacidad.

10. Conclusiones

Se ha realizado una serie de simulaciones usando 3 geometrías distintas (poligonal, tornillo y cilindro) cada una de ellas con 4 viscosidades y 4 velocidades distintas, con el fin de estudiar el flujo de una bomba poligonal y también poder compararlo con el de las otras dos.

La información que se ha obtenido tras realizar las simulaciones es la siguiente.

La vorticidad es muy baja comparada con bombas de otros tipos que están situadas dentro de la misma familia, esta es la característica principal de la bomba y por la que se podría decir que la hace distinta a las demás. A esto también le afecta la velocidad de rotación y la viscosidad, cuanto mayor sea la velocidad de giro más cambia su trayectoria ya que la fuerza de rotación es mayor y cuanto mayor es la viscosidad más se ve afectado por la rotación de la bomba.

Los valores obtenidos parecen correlacionarse con la realidad (la presión en la salida es mayor que en la entrada, la velocidad al lado de las paredes es mayor que en el interior etc.) Por otra parte la presión que se genere dependerá del material el cual este circulando, se ha visto que cuanto menos viscosidad mayor es la presión en la salida, esto explica porque para un líquido viscoso la bomba necesita más energía para hacerlo circular, esto es porque con viscosidades pequeñas no hace falta aumentar tanto la presión.

Tras realizar todo el trabajo se han encontrado puntos que se podrían mejorar.

Sería correcto comparar el incremento de presión con soluciones analíticas o medidas experimentales. En las simulaciones de la bomba poligonal el incremento de presión parece más bajo del que se esperaba tras conocer algunas medidas anteriores. No se ha podido comprobar tales datos con los valores experimentales de la maqueta.

Algunos resultados de las simulaciones tienen “manchas” con picos altos de valores que pueden significar que la malla no es bastante fina. Sería mejor hacer una malla más fina (geometría más pequeña) y volver a simular la bomba poligonal.

Sería interesante analizar diferentes modelos de turbulencia para ver cómo hacen varias los resultados.

Realizar simulaciones en paralelo para acelerar el proceso e investigar otros parámetros de la simulación ya que había muchas dificultades para hacer converger los datos en la bomba poligonal.

Por último, durante el transcurso del proyecto se ha adquirido bastante conocimiento de los siguientes campos ya que en parte todos los softwares usados eran desconocidos por parte del proyectista como la utilización de ecuaciones paramétricas en programas CAD, creación de mallas complejas, preparación de simulaciones, utilización de programas de post-proceso, la posibilidad de ver el interior de una bomba poligonal y sus componentes y el funcionamiento de la conexión variador – motor- bomba.

10.1. Desviaciones.

Planificación.

La principal desviación viene dada por el pedido de la bomba al proveedor ya que el tiempo de entrega previsto no se corresponde con el real, se tenía previsto la entrega las semanas antes de Navidad y se recibió a mediados de Enero, fecha que coincidía con el periodo no lectivo de UPC. Lo que provoco (todo y que se hubiera excedido el tiempo de entrega) no poder empezar a trabajar con ella inmediatamente. La otra desviación temporal ha sido la preparación de la maqueta, se excedió el tiempo de montaje; preparación de la bancada, soldadura y configuración del variador Power Flex (se tardó un tiempo en obtener permiso para trabajar con ellos). Todo y que no modifica el camino crítico, también surgieron problemas con los resultados de las simulaciones, por lo que hubo que realizar múltiples pruebas.

Estudio Económico.

Las desviaciones (aunque leves) ocurridas en el presupuesto son las siguientes:

Horas de ingeniería: Se han necesitado más horas en los procesos los cuales el precio por hora era menor, pero por contrapartida no se ha requerido de tantas horas en los procesos que el coste por horas era mayor. Por lo que significa que respecto al Capítulo I el coste total se ha visto disminuido.

Materiales: El coste material se ha visto reducido levemente ya que no era necesario hacer la compra del motor eléctrico debido a que el centro universitario disponía de ellos, había contabilizados 3 gastos para la bomba, pero finalmente han venido contabilizados como uno. Por contrapartida ha sido necesario comprar materiales para adaptar mejor el funcionamiento, véase codos, válvula anti retorno, teflón y silicona.

Amortizaciones: El total es prácticamente el mismo. Se ve reducida la amortización referente a los programas CAD pero se contemplaron nuevas como el uso del variador de frecuencia y el equipo de soldadura.

Modelo Práctico.

Se produjeron algunos contratiempos por lo que respecta a la bomba física, lo que produjo que no se pudiera completar el experimento y por ende obtener resultados. Se puede ver cómo funciona la bomba, controlar su velocidad, sentido de giro y movimiento del eje, pero no circula correctamente el fluido en su interior.

Una vez obtenidos todos los materiales necesarios, se realizó la construcción del soporte para encajar todo el sistema. Posteriormente se realizó el montaje de todo el sistema, la estructura se mantiene estable y correcta, las dimensiones de las tuberías y codos encajan con la bomba, el funcionamiento, conexión del motor y configuración del variador también eran los esperados ya que se realizaron varias pruebas y todos los interruptores y el potenciómetro funcionaban correctamente.

Al realizar el experimento se dio el problema que el agua no circulaba dado a que había pérdidas de agua durante el circuito todo y que la bomba si giraba de la forma esperada. Se ajustaron mejor las tuberías, usando teflón en algunos casos y una válvula anti retorno en la entrada para evitar todo el aire posible en su interior, en este punto se descartó que el problema fuera dado por las tuberías y el montaje ya que no había pérdidas en ningún punto, solamente había perdidas que procedían del interior de la bomba.

Los días posteriores se desmonto la bomba para ver si se podía encontrar la falla. Había algún corte en el interior en la pieza principal, las gomas estaban en buen estado por lo que dado el caso en el que estaba y el tiempo disponible no se podía remplazar por una nueva, por lo que se

decidió, dejarlo en las mejores condiciones posibles; Enroscar de nuevo los tornillos lo mejor posible, se limpió el interior de suciedad, silicona y otros elementos, se aplicó teflón en la rosca, una nueva base de silicona donde la había anteriormente y se sustituyeron las gomas de las juntas.

Después de esperar varios días para que la silicona hiciera su trabajo se realizó otra vez pruebas con ella. Pero el problema persistía y había una pérdida en un punto de la bomba, procedía de una esquina cerca de donde estaba “tocada” la bomba. Por lo que no se pudo acabar de ver su funcionamiento. La configuración, montaje y materiales secundarios están listos para que en el futuro otro alumno pueda seguir con el estudio si se desea.

Estudio Teórico y Simulaciones

Debido a que no se ha podido ver el funcionamiento perfecto del fluido en la bomba practica se ha realizado el diseño 3D, mallado, programación de la simulación y visualización también para dos bombas distintas; de tornillo y cilíndrica, de forma que se pueda comparar los parámetros de la bomba poligonal respecto a otra distinta y poder ver de esta forma las ventajas y desventajas de una bomba poligonal o en que campos destaca.

11. Referencias

- [1] FORCYL Ipari Berendezéseket Fejlesztő és Gyártó Kft. *Forcyl Tipusu Szivattyú Tervezése, Tervdokumentáció (Diseño de tipos de bombas, Plan de documentación)*. Miskolc. Hungría
- [2] MICRO EUROPE Kft. *Sokszögtervezési Segédlet (Guía sobre diseño de polígonos)*. Miskolc. Hungría.
- [3] CARLO GUALTIERI, DRAGUTIN T. MIHAILOVIC (2008) *Fluid Mechanics of Environmental Interfaces*. AK Leiden, The Netherlands.
- [4] G. K. Sahu (2000) *Pumps: Rotodynamic and Positive Displacement Types: Theory, Design and Applications*. New Delhi. India.
- [5] Salvador de las Heras Jimenez (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidraulicas*. El Prat de Llobregat (Barcelona)

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Estudio del flujo en una bomba de polígono mediante simulación numérica
(CFD) y simulación física**

Estudio económico

**Adrián Muñoz Martín
PONENTE: Klára Vékony**

PRIMAVERA 2016



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Índice.

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Índice de figuras..... | III |
| 1. Coste del prototipo..... | 1 |
| 1.1. Mediciones..... | 1 |
| 1.2. Cuadro de precios..... | 2 |
| 1.3. Coste parcial..... | 3 |
| 1.4. Coste total del prototipo..... | 5 |

Índice de tablas.

| | |
|--|---|
| Tabla 1.1. Mediciones Capítulo I..... | 1 |
| Tabla 1.2. Mediciones Capítulo II..... | 2 |
| Tabla 1.3 Precios Capítulo I..... | 2 |
| Tabla 1.4. Precios Capítulo II..... | 3 |
| Tabla 1.5. Presupuesto Parcial Capítulo I..... | 3 |
| Tabla 1.6. Presupuesto Parcial Capítulo II..... | 4 |
| Tabla 1.7. Presupuesto Parcial Capítulo III..... | 4 |

1. Coste del prototipo

A continuación se desglosa los costes totales necesarios para la realización del proyecto, se ha dividido en 3 capítulos:

Capítulo I: Describe las horas de ingeniería para la realización del proyecto, diseño, redacción y mano de obra que requiere de personal cualificado.

Capítulo II: Contiene todos los costes relacionados con el material necesario para poder realizar el prototipo.

Capítulo III: Coste de amortización de las herramientas que se deben de renovar.

Los costes más destacados del proyecto son los que hacen referencia al coste de personal, es decir los provenientes del Capítulo I.

1.1. Mediciones

| CAPITULO I | | |
|--------------------------|---|----------------|
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES |
| 1.1 | Horas de proyectista destinadas a la busca de información previa. | 60 |
| 1.2 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 2D | 30 |
| 1.3 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 3D | 60 |
| 1.4 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de del mallado | 30 |
| 1.5 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de simulación | 180 |
| 1.6 | Horas de ingeniería dedicadas al montaje y puesta en marcha del prototipo | 30 |
| 1.7 | Horas de proyectista destinadas a la realización de pruebas. | 100 |
| 1.8 | Horas de proyectista destinadas a la elaboración escrita y edición de los documentos del proyecto | 110 |

Fuente: Propia

Tabla.1.1. Mediciones Capítulo I

| CAPÍTULO II | | |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------|
| MATERIALES | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES |
| 2.1 | Deposito con capacidad para 57L | 1 |
| 2.2 | Soporte | 1 |
| 2.3 | Bomba | 1 |
| 2.4 | Tubería ¾" | 4 |
| 2.5 | Codo 90° | 1 |
| 2.6 | Válvula anti retorno ¾" | 1 |
| 2.7 | Esferas de felpa (Paquete) | 1 |
| 2.8 | Teflón | 1 |
| 2.9 | Silicona | 1 |

Fuente: Propia

Tabla.1.2. Mediciones Capítulo II

1.2. Cuadro de precios.

| CAPÍTULO I | | |
|---------------------------------|-----------------|----------------------------|
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | |
| CODIGO | UNIDADES | PRECIO UNITARIO (€) |
| 1.1 | Horas | 30 |
| 1.2 | Horas | 40 |
| 1.3 | Horas | 40 |
| 1.4 | Horas | 30 |
| 1.5 | Horas | 30 |
| 1.6 | Horas | 40 |
| 1.7 | Horas | 40 |
| 1.8 | Horas | 30 |

Fuente: Propia

Tabla.1.3. Precios Capítulo I

| CAPÍTULO II | | |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------|
| MATERIALES | | |
| CODIGO | UNIDADES | PRECIO UNITARIO (€) |
| 2.1 | Deposito con capacidad para 57L | 12 |
| 2.2 | Soporte | 15 |
| 2.3 | Bomba | 80 |
| 2.4 | Tubería ¾" | 3,5 |
| 2.5 | Codo 90° | 4 |
| 2.6 | Válvula anti retorno ¾" | 5 |
| 2.7 | Esferas de felpa (Paquete) | 2 |
| 2.8 | Teflón | 3 |
| 2.9 | Silicona | 2 |

Fuente: Propia

Tabla.1.4. Precios Capítulo II

1.3. Coste parcial.

| CAPITULO I | | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES | PRECIO UNITARIO (€) | TOTAL(€) |
| 1.1 | Horas de proyectista destinadas a la busca de información previa. | 60 | 30 | 1.800 |
| 1.2 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 2D | 30 | 40 | 1.200 |
| 1.3 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 3D | 60 | 40 | 2.400 |
| 1.4 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de del mallado | 30 | 30 | 900 |
| 1.5 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de simulación | 180 | 30 | 5.400 |
| 1.6 | Horas de ingeniería dedicadas al montaje y puesta en marcha del prototipo | 30 | 40 | 1.200 |
| 1.7 | Horas de proyectista destinadas a la realización de pruebas. | 100 | 40 | 4.000 |
| 1.8 | Horas de proyectista destinadas a la elaboración escrita y edición de los documentos del proyecto | 110 | 30 | 3.300 |
| COSTES INDIRECTOS | | | | |
| 1.9 | Costes indirectos mano de obra (10%) | | | 2.020 |

TOTAL CAPÍTULO I (10% MARGEN)**22.220 €**

Fuente: Propia

Tabla.1.5. Presupuesto Parcial Capítulo I

| CAPÍTULO II | | | | |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| MATERIALES | | | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES | PRECIO UNITARIO (€) | TOTAL(€) |
| 2.1 | Deposito con capacidad para 57L | 1 | 12 | 12 |
| 2.2 | Soporte | 1 | 15 | 15 |
| 2.3 | Bomba | 1 | 80 | 80 |
| 2.4 | Tubería ¾" | 6 | 3,5 | 21 |
| 2.5 | Codo 90° | 4 | 4 | 16 |
| 2.6 | Válvula anti retorno ¾" | 1 | 5 | 5 |
| 2.7 | Esferas de felpa (Paquete) | 1 | 2 | 2 |
| 2.8 | Teflón | 1 | 3 | 3 |
| 2.9 | Silicona | 1 | 2 | 2 |
| 2.10 | Imprevistos (10%) | | | 15,6 |

TOTAL CAPÍTULO II

171,6 €

Fuente: Propia

Tabla.1.6. Presupuesto Parcial Capítulo II

| CAPÍTULO III | | | | |
|-----------------------|------------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| AMORTIZACIONES | | | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | Horas de uso | Precio/hora | Total |
| 3.1 | Ordenador | 470 | 0,25 | 117,5 € |
| 3.2 | Microsoft Office | 110 | 0,5 | 55 € |
| 3.3 | Solid Works | 90 | 0,9 | 81 € |
| 3.4 | Herramientas Montaje | 30 | 0,4 | 12 € |
| 3.5 | Equipo de soldadura | 2 | 5 | 10 € |
| 3.6 | Motor Eléctrico | 12 | 1 | 12 € |
| 3.7 | Variador de frecuencia | 12 | 1 | 12 € |

TOTAL CAPÍTULO III

305,5 €

Fuente: Propia

Tabla.1.7. Presupuesto Parcial Capítulo III

1.4. Coste total del prototipo

| | |
|--------------------|----------|
| Total Capítulo I | 22.220 € |
| Total Capítulo II | 171,60 € |
| Total Capítulo III | 305,50 € |

| | |
|-----------|------------|
| TOTAL | 2.697,10 € |
| IVA (21%) | 4.766,39€ |

| | |
|--------------------------|-------------------|
| TOTAL PRESUPUESTO | 27.463,49€ |
|--------------------------|-------------------|

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Estudio del flujo en una bomba de polígono mediante simulación
numérica (CFD) y simulación física**

Anexos

**Adrián Muñoz Martín
PONENTE: Klára Vékony**

PRIMAVERA 2016



**TecnoCampus
Mataró-Maresme**

Índice.

| | |
|--|----|
| Anexo I. Anteproyecto..... | 1 |
| Anexo II. Normativa..... | 35 |
| Anexo III. Informe Medioambiental..... | 37 |

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Estudio del flujo en una bomba de polígono mediante simulación numérica
(CFD) y simulación física**

Anteproyecto

**Adrián Muñoz Martín
PONENTE: Klára Vékony**

OTOÑO 2015



**TecnoCampus
Mataró-Maresme**

Índice.

| | |
|--|-----|
| Índice de figuras..... | III |
| Índice de tablas..... | V |
| Glosario de términos..... | VII |
| 1. Objeto del proyecto..... | 1 |
| 2. Antecedentes y necesidades de información..... | 3 |
| 2.1. Introducción..... | 3 |
| 2.2. Pasos para la elaboración de los ejes..... | 4 |
| 2.2.1. Simulación numérica..... | 4 |
| 2.2.1.1. Realización de la geometría mediante las siguientes ecuaciones..... | 4 |
| 2.2.1.2. Diseño 3D eje..... | 5 |
| 2.2.1.3. Construcción de la malla..... | 6 |
| 2.2.1.4. Simulación con programa CFD..... | 6 |
| 2.2.2 Construcción Física..... | 7 |
| 2.2.2.1. Creación del eje interior y exterior..... | 7 |
| 2.2.2.2 Velocidad de giro..... | 8 |
| 2.2.2.3 Excentricidad..... | 8 |
| 2.2.2.4 Sentido de rotación..... | 9 |
| 2.3. Comprobación resultado..... | 10 |
| 3. Alcance..... | 11 |
| 4. Objetivos y especificaciones técnicas..... | 13 |
| 5. Generación y planteamiento de posibles alternativas de solución..... | 15 |
| 5.1. Diseño de la geometría 2D y 3D con programa CAD..... | 15 |
| 5.2. Mallado..... | 16 |
| 5.3. Simulación y Visualización..... | 17 |
| 5.4 Fabricación..... | 17 |
| 5.5. Medidas..... | 18 |
| 6. Análisis de viabilidad..... | 19 |
| 6.1. Viabilidad Técnica..... | 19 |
| 6.1.1. Estado actual..... | 19 |
| 6.1.2. Diseño eje interior y exterior..... | 19 |

| | |
|---|----|
| 6.1.3. Ensayo Físico..... | 22 |
| 6.2. Viabilidad económica..... | 22 |
| 6.3 Viabilidad medioambiental..... | 23 |
| 6.4 Selección de la alternativa más adecuada..... | 23 |
| 7. Planificación del proyecto..... | 25 |
| 7.1. Definición de tareas..... | 25 |
| 7.2. Tareas y precedencias..... | 27 |
| 7.3 Diagrama de Gantt..... | 28 |
| 8. Presupuesto..... | 29 |
| 8.1 Mediciones..... | 29 |
| 8.2 Costes..... | 30 |
| 8.3 Presupuesto Parcial..... | 31 |
| 8.4 Presupuesto global..... | 32 |
| 9. Referencias..... | 33 |

Índice de figuras.

| | |
|---|----|
| Fig. 2.1. Vista sección bomba de tornillo helicoidal..... | 3 |
| Fig. 2.2. Relación dimensiones eje interior y exterior..... | 5 |
| Fig. 2.3. Resultado 3D de simulación..... | 7 |
| Fig. 2.4. Esquema torno para fabricación..... | 7 |
| Fig. 2.5. Geometrías eje interior..... | 8 |
| Fig. 2.6. Excentricidad eje interior..... | 9 |
| Fig. 2.7. Sentido de rotación..... | 8 |
| Fig. 6.1. Variación de Geometrías..... | 19 |
| Fig. 6.2. Variación de excentricidades..... | 20 |
| Fig. 6.3. Prueba diseño 3D eje interior..... | 20 |
| Fig. 6.4. Prueba diseño 3D eje exterior..... | 21 |
| Fig. 6.5. Prueba Mallado..... | 21 |
| Fig. 7.1. Diagrama de Gantt del proyecto de detalle..... | 28 |

Índice de tablas.

| | |
|--|----|
| Tabla 7.1. Tabla de tareas y precedencias | 27 |
| Tabla 8.1. Mediciones Capítulo I..... | 29 |
| Tabla 8.2. Mediciones Capítulo II..... | 29 |
| Tabla 8.3. Precios Capítulo I..... | 30 |
| Tabla 8.4. Precios Capítulo II..... | 30 |
| Tabla 8.5. Presupuesto Parcial Capítulo I..... | 31 |
| Tabla 8.6. Presupuesto Parcial Capítulo II..... | 31 |
| Tabla 8.7. Presupuesto Parcial Capítulo III..... | 32 |

Glosario de términos.

CFD Computational Fluid Design

CAD Computer-aided design

OSS Open source software

2D Dos dimensiones

3D Tres dimensiones

IVA Impuesto sobre el valor añadido

1. Objeto del proyecto.

El objeto del proyecto es el estudio del comportamiento del fluido dentro de una bomba poligonal, mediante una simulación numérica con programas CAD y CFD. Y posteriormente con un ensayo físico.

Se trata de realizar una serie de procesos de modelado 3D, mallado, simulado y aplicaciones de visualización para llegar a realizar un diseño real de la zona interior de la bomba (o zona de estudio) y realizar una simulación con el objetivo de obtener un resultado visual del movimiento del fluido dentro de la bomba.

Posteriormente realizar un ensayo con una maqueta de la bomba con el eje diseñado anteriormente. Una vez finalizado se correlacionara la simulación con las medidas experimentales, de esa forma se podrá observar si los resultados teóricos se corresponden con el ensayo de laboratorio.

2. Antecedentes y necesidades de información.

2.1. Introducción.

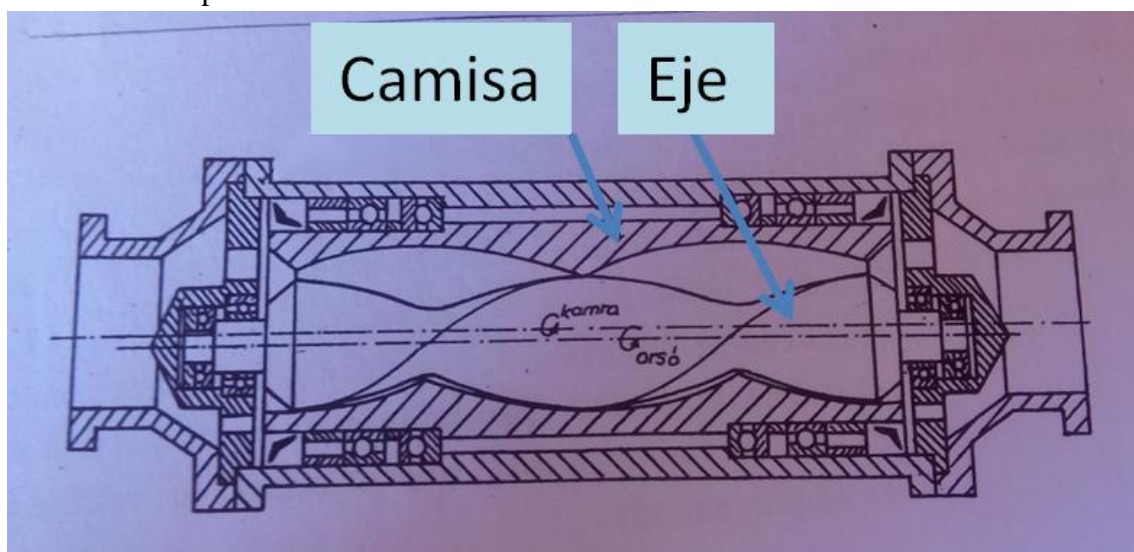
Que producto tratamos?

Durante el proyecto se hablara de bomba de polígonos, esta es un tipo específico de bomba hidráulica. Una bomba hidráulica es una máquina que transforma la energía mecánica en energía del fluido que se mueve. Funciona tanto para líquido, líquido-sólido y sólido. En general se usa para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema, para mover el fluido de una zona de menos presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

En qué se diferencia con una bomba de polígonos?

Esta bomba usa un eje (o tornillo) helicoidal (con forma de hélice) que se mueve dentro de una camisa y hace fluir el líquido entre el eje y la camisa. Está específicamente indicada para bombear fluidos viscosos que no necesiten removerse o que formen espuma si se agitan. Como la bomba de tornillo desplaza el líquido, este no sufre movimientos bruscos.

Su uso es muy amplio, utilizadas en la industria petrolera a nivel mundial, para el bombeo de crudos altamente viscosos y con contenidos apreciables de sólidos, trabajan muy bien a presiones variables convirtiéndolas en excelentes equipos de bombeo a utilizar en redes de recolección de petróleo.



Fuente: [1].

Fig.2.1. Vista sección bomba de tornillo helicoidal.

2.2. Pasos para la elaboración de los ejes.

Para poder llevar a cabo el estudio tanto teórico como físico hace falta saber los pasos a realizar y como afectan a nuestro resultado.

2.2.1. Simulación numérica.

Para la parte teórica se debe realizar los siguientes pasos:

2.2.1.1. Realización de la geometría mediante ecuaciones paramétricas:

Explicación Ecuaciones paramétricas.

Para el diseño 2D de la bomba es necesario el uso de estas ecuaciones, permiten representar una curva o superficie en el plano o en el espacio, mediante valores que recorren un intervalo de números reales o mediante una variable, considerando cada coordenada de un punto como una función dependiente del parámetro.

La expresión paramétrica de una función permite la construcción de una gran variedad de formas, simplemente variando alguna constante. Es necesario el uso de la función paramétrica:

$$x = h \cos \varphi + e \cos n \varphi$$

$$y = h \sin \varphi - e \sin n \varphi$$

La cual generara posteriormente la geometría necesaria para obtener el diseño 2D de los dos ejes. Un ejemplo para entender como funcionaria en un caso conocido:

Circunferencia:

Una circunferencia con centro en el origen de coordenadas y radio “r” verifica que:

$$x^2 + y^2 = r^2$$

Una expresión paramétrica es:

$$\begin{cases} x = r * \cos(t) \\ y = r * \sin(t) \end{cases}$$

Para la bomba se debe usar la siguiente fórmula:

$$x = h \cos \varphi + e \cos n \varphi \quad (2.1)$$

$$y = h \sin \varphi - e \sin n \varphi; n = N - 1 \quad (2.2)$$

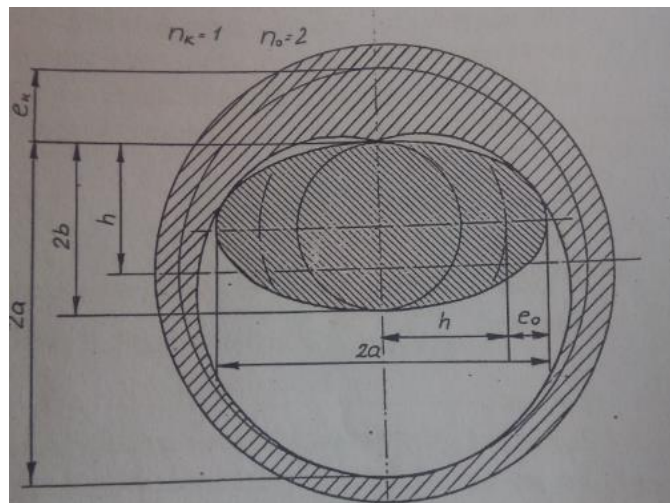
Dónde:

-h: distancia entre el círculo de rodadura y el centro de gravedad

-e: excentricidad

-N: número de ángulos de la geometría

Para el eje exterior se utiliza la misma fórmula pero el número de ángulos (n) siempre es 0.5.



Fuente: [1]

Fig.2.2. Relación dimensiones eje interior y exterior

2.2.1.2. Diseño 3D eje.

El diseño del eje no tiene una pauta exacta a seguir es más un proceso personal. Se trata de en un programa CAD introducir la ecuación anterior para que genere la geometría en un plano 2D, seguidamente se extruye con la dimensión requerida para tener un modelo 3D. Y por último se aplica un esfuerzo de torsión para que tenga la forma característica de una bomba poligonal con el ángulo que se necesite.

El proceso para el cilindro exterior es parecido, se introduce la ecuación, se extruye y se torsiona. Pero una se tiene esa pieza se diseña un cilindro regular recto, se introduce la figura anterior dentro y se quita la parte común, de tal forma que tenemos el cilindro vaciado por dentro con la forma del eje exterior. Así el eje interior que se diseña primero se mueve correctamente dentro del hueco.

2.2.1.3. Construcción de la malla.

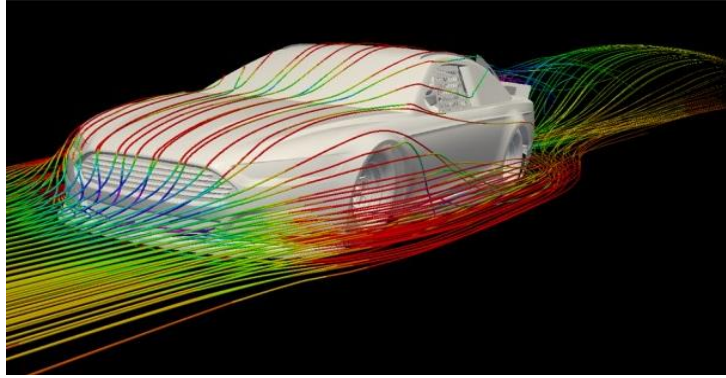
El estudio que se realizara es la observación del comportamiento del fluido dentro de la bomba, por eso el siguiente paso es coger el espacio que queda entre el eje interior y exterior de la bomba que es por donde se moverá el fluido y hacer una malla para poder recopilar información de muchos puntos dentro de ese espacio.

Se puede realizar con cualquier programa de mallado como por ejemplo “Salome”. Introduciendo las figuras anteriores ya realizadas y con un sencillo comando booleano podemos quedarnos solo con la parte no común de los dos ejes que es la zona que nos interesa estudiar. Después de eso aplicamos una malla degradada con geometrías pequeñas en la zona donde más nos interese ver los resultados.

2.2.1.4. Simulación con programa CFD.

Una vez tenemos la geometría restante de los dos ejes y la malla aplicada en ella se debe usar un programa CFD (computational fluid dynamics) para hacer pasar fluido en ella, con estos programas podemos escoger entre otras cosas que tipo de fluido introducir (aire, agua etc.) y nos dará los resultados. Pero estos programas suelen usar módulos como por ejemplo “ParaView” que procesan los datos y tienen un motor de renderizado lo que transforman cualquier dato en herramientas de dibujo.

Con lo que se puede apreciar por ejemplo en nuestro caso el movimiento del fluido dentro de la bomba con una serie de hilos coloreados para tener seguimiento de su movimiento.



Fuente: Motor Authority. *Ford Optimizing 2013 NASCAR Sprint Cup Fusion With High-Tech CFD*; internet. Julio 25, 2012 [fecha de consulta: 02 Junio 2015] Disponible en: <http://www.motorauthority.com/news/1077989_ford-optimizing-2013-nascar-sprint-cup-fusion-with-high-tech-cfd>

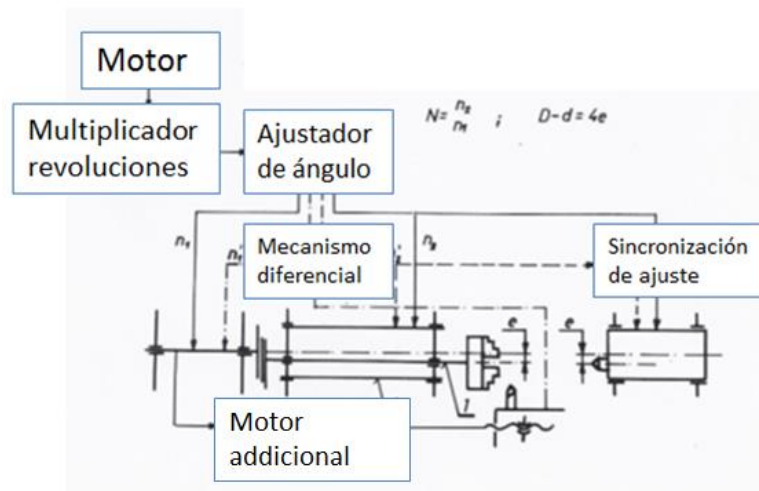
Fig. 2.3 Resultado 3D de simulación

De esta forma podemos observar si el fluido se mueve de forma totalmente recta ya que es el propósito de una bomba de polígono.

2.2.2 Construcción Física.

Para la parte física se debe realizar los siguientes pasos:

2.2.2.1. Creación del eje interior y exterior.



Fuente: [2]

Fig.2.4. Esquema torno para fabricación

Para poder fabricar el eje se necesita un torno con los elementos básicos: Bancada, cabezal fijo, contrapunto, cabezal giratorio, plato de sujeción de garras... Pero aparte consta de otro elemento especial (#2 en la foto). Un cilindro vaciado por dentro

que nos permite introducir otro cilindro pequeño dentro el cual tiene una excentricidad , de tal forma que al empezar a girar como este no estará justo en el centro del eje de rotación tomara una forma peculiar que es la que queremos que adopte nuestro eje.

Cuando se esté fabricando hay 3 cosas a tener en cuenta:

2.2.2.2 Velocidad de giro.

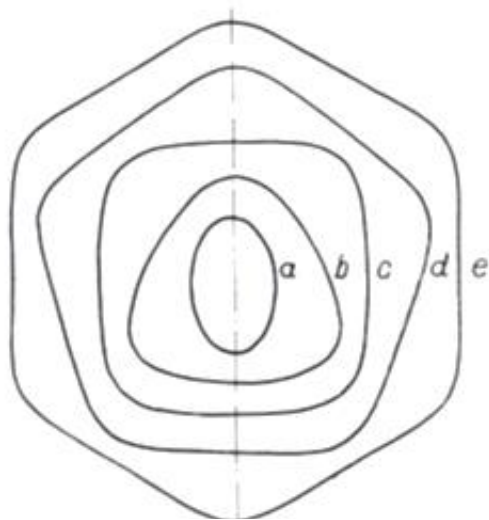
Según la relación entre la velocidad de giro y el giro relativo de los cilindros se obtendrán diferentes geometrías tales como:

Para una Velocidad “V” de 1 unidad se obtendría la geometría de 2 ángulos (a)

Para una Velocidad “V” de 2 unidades se obtendría la geometría de 3 ángulos (b)

Para una Velocidad “V” de 3 unidad se obtendría la geometría de 4 ángulos (c)

De esta forma se puede escoger la geometría del eje interior.



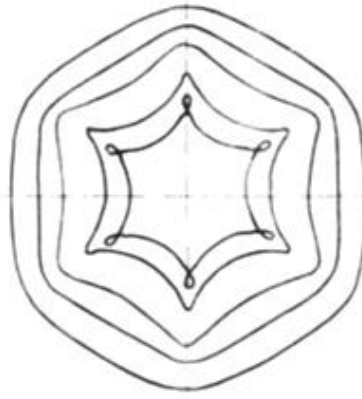
Fuente: [2]

Fig.2.5. Geometrías eje interior

2.2.2.3 Excentricidad.

La excentricidad que exista entre los dos centros hace variar los “vértices” de los polígonos, haciendo que adopten varias formas.

En este caso es un mismo hexágono pero con diferentes excentricidades que hace que se retuerza más o menos sus vértices.

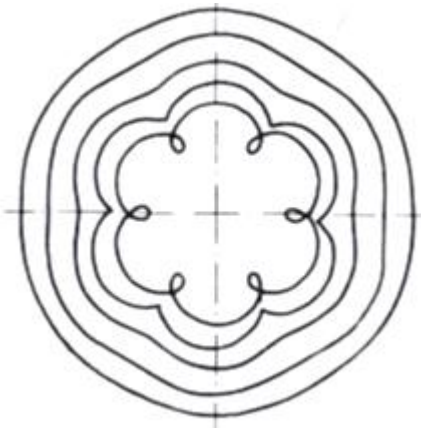


Fuente: [2]

Fig.2.6. Excentricidad eje interior

2.2.2.4 Sentido de rotación.

Si el sentido de rotación entre el torno y el cilindro interior-exterior es opuesto la geometría del polígono también se ve afectada.



Fuente: [2]

Fig.2.7. Sentido de rotación

Una vez fabricado el eje interior se debe repetir exactamente el mismo proceso para el eje exterior, con las siguientes diferencias:

El número de ángulos que tiene que tener es 0.5 y el ángulo que tiene que tener debe ser el doble que el del eje interior, por lo tanto la velocidad de giro tiene que ser la mitad.

Eje interior de $n=1$ -> eje exterior $n=0.5$.

Para un eje interior de 60° -> eje exterior de 120° .

2.3. Comprobación resultado.

Para hacer la medida física se puede hacer de varias formas, se puede poner burbujas en el fluido que va a entrar en la bomba para ver el recorrido que hacen, otra forma es tintar con colorante un punto y ver si se mueve en línea recta.

Una vez se hace el ensayo se debe comparar con el resultado teórico para ver si concuerdan los dos resultados.

3. Alcance.

El proyecto pretende realizar el estudio del flujo en una bomba poligonal mediante simulación numérica y simulación física.

Primero mediante una serie de ecuaciones se realizara la geometría del eje interior de la bomba. Seguidamente se diseñara en 3D con la curvatura y dimensiones idóneas, estos procesos se realizaran mediante un programa CAD (Solid Works) .Se repetirá el proceso para el eje exterior, tal como se indica en (2.1) y (2.2), con el mismo programa de CAD.

Una vez diseñados los dos ejes con el programa “Salome” se realizara un mallado del espacio resultante entre el eje interior y el exterior (camisa).

Con la geometría mallada que obtengamos en el proceso anterior se usara un programa de CFD (Open Foam) para simular la circulación de varios líquidos y varios caudales dentro de la zona de estudio. Tras la simulación Open Foam resolverla y obtendrá los resultados.

Y por último se visualizaran los datos con una aplicación de visualización llamada “ParaView” para ver en 3D como son los resultados y si se ajustan al funcionamiento de una bomba de polígono.

Para realizar la simulación física se montara la bomba y aplicando algún método de rastreo (burbujas, colorante...) se visualizara la trayectoria de un punto dentro de la bomba. El ensayo se realizara con un mismo fluido pudiendo hacer varias pruebas con distintos caudales.

Una vez realizado las dos partes se estudiaran los resultados, haciendo una valoración y comparación de la simulación y del ensayo físico.

-Queda fuera del alcance el diseño del resto de componentes de la bomba.

-En cuanto a fabricación; Solo se llegaría a hacer la fabricación del eje interior mediante impresora 3D (aún no está resuelto por tema de fabricantes), mientras que el eje exterior y el resto de componentes se fabricaran/comprarán fuera.

4. Objetivos y especificaciones técnicas.

Este proyecto se ha fijado a conseguir los siguientes objetivos con las siguientes especificaciones técnicas.

Simular una bomba de polígono computacionalmente, cambiando los parámetros de viscosidad, revoluciones por minuto, velocidad y caudal para obtener múltiples datos con los que se puedan extraer información del comportamiento. También se realizara el mismo proceso para dos bombas distintas (Cilíndrica y de tornillo) para conocer mejor el comportamiento de las bombas poligonales al poder comparar posteriormente su comportamiento con estas.

- Preparar un modelo CAD del eje de la bomba
 - Usar mediante información ya existente y (2.1), (2.2) el diseño del eje de la bomba, este debe tener características iguales a un eje real pudiendo así usarlo para casos físicos. El modelo CAD se preparara con el programa Solid Works, con la herramienta de curva conducida por ecuación, extrusión, torsión... Y todos los procesos necesarios para obtener los resultados.
- Preparar la simulación numérica y analizar los resultados.
 - Realización del mallado. Usando una malla de tetraedros de 0.05mm de distancia. Con el programa Salome 7.5.1 (o versión superior)
 - Resolución numérica de la malla. Para una simulación equivalente a 100 segundos reales...Usando OpenFoam y pyFoam.
 - Visualización del recorrido del fluido dentro de la zona a estudiar de la bomba para poder comprobar su trayectoria. Análisis de los resultados para ver si corresponden con el comportamiento de una bomba de polígonos. Se usara ParaView.

Montar un equipo de prácticas para poder ver cómo funciona una bomba poligonal real.

- Realización de medidas y análisis de resultados.
 - Hacer un ensayo con la maqueta para comprobar el funcionamiento, el comportamiento del fluido y tomar nota de los resultados obtenidos. Se usara una bomba con las mismas medidas que la diseñada por ordenador, motor AL-206, depósito de 57L de capacidad, variador de frecuencia PowerFlex40 y más utensilios de carácter general.

5. Generación y planteamiento de posibles alternativas de solución.

A continuación se criticaran las múltiples opciones que se pueden tomar en los procesos requeridos para la elaboración del proyecto, cabe destacar que algunos procesos por ejemplo el diseño 3D y la simulación se podrían llevar a cabo con el mismo programa, pero dicho programa podría realizar un trabajo genérico de las dos funciones, así que es preferible tener un buen programa para el diseño y tener otro con mayor opciones, mejores tiempos de computación para realizar la simulación.

Para llegar a una decisión en cada uno de los procesos se han tenido en cuenta varios factores como pueden ser:

- Precio: si un software es de pago o de uso libre, si sale más a cuenta fabricar una pieza o realizarla nosotros mismos etc....
- Conocimiento actual: Si se tiene conocimientos de uso computacional o de fabricación/montaje ya que no consumiremos tanto recurso temporal en aprender a hacer las tareas, además un mayor conocimiento comporta una mayor habilidad para usar herramientas avanzadas.
- Compatibilidad: al tratarse de varios software que siguen procesos encadenados uno de otro, el software "x" tiene que ser capaz de generar un archivo valido para el programa "x-1" y este ofrecer un formato de archivo adecuado para el siguiente programa "x+2", por lo tanto este es otro aspecto que se ha querido tener en cuenta.
- Tecnología: también se ha valorado el grado tecnológico de los varios programas, ya que si se necesita una herramienta y un software no dispone de ella no se podría seguir con el proceso.

5.1. Diseño de la geometría 2D y 3D con programa CAD.

Para realizar esta parte existen varios programas como SolidEdge, SolidWorks, Catia, AutoCAD etc.... El programa escogido ha sido –SolidWorks- tras hacer una valoración con varios criterios.

El programa como ya se ha mencionado anteriormente es de pago, pero debido a que ya está adquirido en la universidad el coste no suponía ningún punto negativo. Suele pasar que por otro lado al ser un programa de pago tenga una tecnología bastante más buena que otros gratuitos. Otros puntos a favor son; Ya se tiene conocimiento del uso del programa durante los cursos universitarios, la mayoría de diseños se han realizado con este programa así que es lógico usarlo si se tiene un buen manejo.

Este mismo contiene todo lo necesario para realizar la parte de diseño tanto 2D como 3D por lo que no hay un impedimento tecnológico.

5.2. Mallado.

También existe una gran cantidad de programas para realizar esta tarea como: ADMesh, Meshlab, Salome, OpenMesh...

En este caso tan solo se ha trabajado anteriormente con mallado poco tiempo en el ámbito universitario. Por el contrario dicho programa tan solo se tenía conocimiento de mallado en 2D y los métodos de elaboración de geometrías, mallas y tiempos de cálculo eran poco eficientes, por lo que se descartó. Se empezó pues a buscar nuevos software y se realizaron varias pruebas. El resultado fue la elección del software –Salome- por las siguientes razones:

- OSS Software de código abierto lo que significa que es de uso gratuito.
- Facilidad para la tarea necesaria. Con otros programas el número de pasos a realizar es mucho mayor, más costes de tiempo y recursos computacionales, mientras que esté trabajando en figuras 3D es más intuitivo, rápido y ligero.
- Funciona correctamente con archivos provenientes de SolidWorks. Tenemos que usar la geometría 3D proveniente de SolidWorks por lo que el programa debe ser capaz de abrir esos archivos para poder mallarlos.
- Capaz de realizar todos los procesos y operaciones necesarios para poder seguir con el proyecto.
- Permite ajustar la malla destinando más recursos en las zonas de interés obteniendo así resultados más precisos y por otro lado permite reducir la precisión en zonas de nulo interés.

5.3. Simulación y Visualización.

Como se ha mencionado anteriormente esta parte se podría realizar con otro software ya nombrado como es SolidWorks, pero al tratarse de procesos más elaborados que los realizados hasta ahora requiere de mayores herramientas, más procesos y simulaciones que pueden durar varios días. Por lo que es preferible trabajar con un programa dedicado completamente a estas tareas debido a que tendrá más opciones, estará más optimizado, es capaz de resolver las simulaciones en menor cantidad de tiempo y los resultados son más claros y precisos.

El software con el que se realizara la simulación es –OpenFoam-, con dicho software se realiza la simulación que posteriormente brinda los resultados de todos y cada uno de los puntos de la malla aplicada, pero para poder visualizar las líneas de flujo de forma visual y una representación 3D hace falta la aplicación –ParaView-. Dicha aplicación forma parte de OpenFoam, es un módulo gratuito destinado a la lectura de los resultados, por lo que encajan perfectamente y no generan problema alguno.

Se han seleccionado por las siguientes razones:

- Tanto Open Foam como ParaView son de código abierto por lo que no implican coste alguno.
- OpenFoam es capaz de abrir archivos provenientes de –Salome-.
- ParaView es una aplicación de visualización compatible completamente con OpenFoam.
- OpenFoam es un programa dedicado enteramente a la simulación y resolución de problemas mecánicos de medios continuos y fluido mecánica computacional (CFD) por lo que tiene mejor tecnología y herramientas que otro software.

5.4 Fabricación.

La elección en este apartado está un poco limitada por los recursos de los que se disponen, aunque claro está, al deberse de una maqueta a pequeña escala para realizar un estudio no se pretende disponer de maquinaria pesada para poder auto-producir las piezas necesarias. Es por eso que las decisiones que se han elegido son las siguientes:

- Eje interior: El eje interior es una de las dos piezas que se habrá diseñado en 3D con antelación, por lo que como el centro universitario dispone de una impresora 3D se podría realizar una reproducción para usarlo en el ensayo final. La otra forma de fabricación es el torno; Pero este acarrea un problema con la fabricación ya que requiere un cilindro especial y al tratarse de la fabricación de tan solo un elemento y una unidad de dicho elemento no es viable hacer la compra del cilindro. Por último queda la fabricación externa de una unidad de eje interior, en este punto no está totalmente decidido si se realizara con la impresora 3D o fabricación externa ya que falta saber información del fabricante.
- Eje exterior: el caso es el mismo que con el eje interior antes mencionado, con la diferencia que el eje exterior debe ser de material transparente para poder ver como se mueve el fluido por el interior, por lo que el proceso de impresión 3D queda descartado, al igual que la fabricación con torno. Por lo tanto esta pieza se fabricara de forma externa.

Explicados los problemas encontrados se da como elección: fabricar/comprar una unidad de dichas piezas, más los elementos necesarios para la construcción de una pequeña bomba como puede ser: un trozo de tubo, motor eléctrico pequeño, rodamientos...

5.5. Medidas.

Una vez fabricada la maqueta de la bomba con nuestro diseño de ejes y todos los elementos necesarios se procederá a la realización de los ensayos.

En los ensayos se usara agua como fluido de pruebas, tanto por su transparencia como su fácil disponibilidad.

Una vez la bomba esté en funcionamiento se tintara con colorante un punto de agua para ver una vez iniciado el ensayo como es su trayectoria, al tener el eje exterior transparente se podrá observar cuál es su movimiento.

Por otro lado también se podría realizar de la misma forma pero con burbujas, las cuales estarían en la parte superior de la bomba debido al aire, con la contra de que son más difíciles de mantenerlas en contacto visual. Este proceso pero no se descarta debido a que no requiere ningún material ni elaboración previa.

6. Análisis de viabilidad.

6.1. Viabilidad Técnica.

6.1.1. Estado actual.

Las bombas de polígono no son nada nuevo y ya tienen existencia en muchas industrias.

Por eso se puede encontrar información sobre ellas actualmente y se puede investigar para poder desarrollar una a pequeña escala.

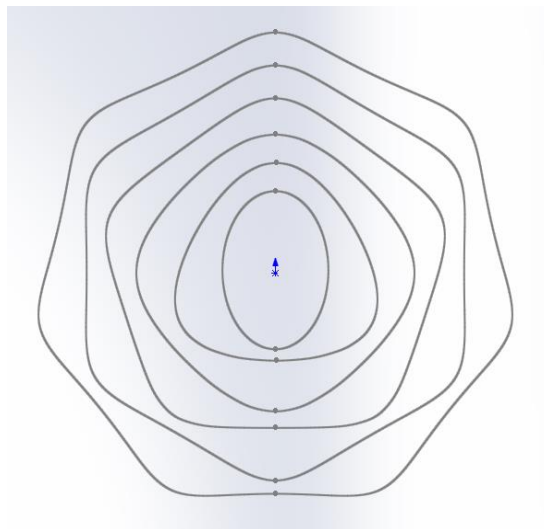
6.1.2. Diseño eje interior y exterior.

Para demostrar que las ecuaciones funcionan correctamente se ha realizado algunas pruebas que demuestran su validez (las siguientes imágenes corresponden a algunos diseños realizados por mí para dar constancia que funcionan correctamente).

Con la siguiente ecuación podemos obtener varias geometrías modificando “N” (número de ángulos).

$$x = h \cos \varphi + e \cos n \varphi \quad (6.1)$$

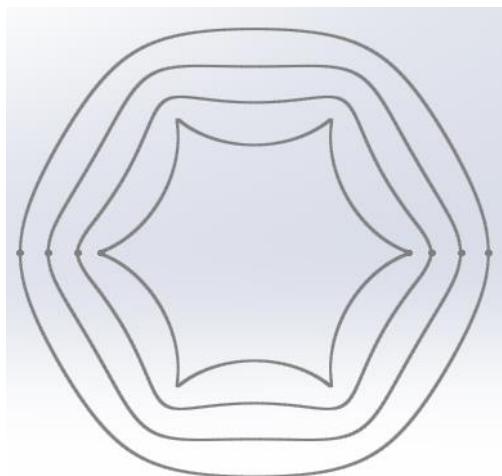
$$y = h \sin \varphi - e \sin n \varphi; n = N - 1 \quad (6.2)$$



Fuente: Propia

Fig.6.1. Variación de Geometrías

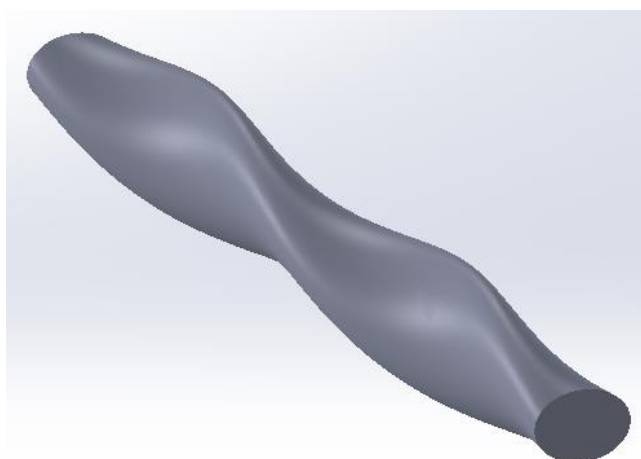
En (6.1) y (6.2) anterior modificando la “e” (excentricidad) se obtienen varias excentricidades de una misma geometría.



Fuente: Propia

Fig.6.2. Variación de excentricidades

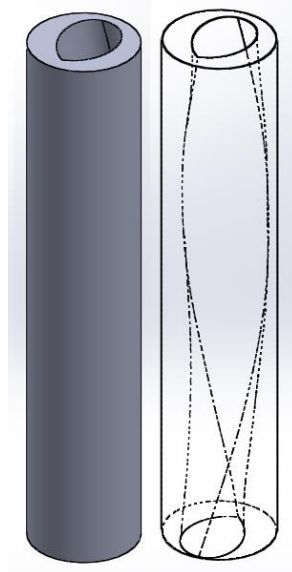
Una vez realizada la geometría también se ha realizado un pequeño modelo en 3D



Fuente: Propia

Fig.6.3. Prueba diseño 3D eje interior

Lo mismo para el eje exterior:

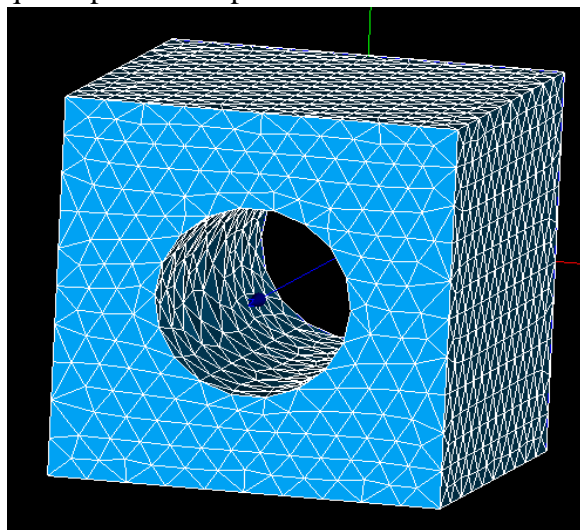


Fuente: Propia

Fig.6.4. Prueba Diseño 3D eje exterior

La geometría, altura, excentricidad y dimensiones no son las definitivas ya que solamente se ha querido hacer un primer contacto con los programas y tener una muestra de lo que se hará más adelante.

Una vez se tengan las dos geometrías se usara “salome” para crear el mallado. Se ha realizado una pequeña prueba al igual que en el proceso anterior para aprender a usar el programa y mostrar que el procesa se puede llevar a cabo.



Fuente: Propia

Fig.6.5. Prueba mallado

Al igual que en el caso anterior, tanto la malla como las dimensiones no son las definitivas (son para testear el programa).

Y para finalizar la realización del simulado se realiza abriendo el mallado anterior y con la ayuda de una guía el programa es capaz de realizar todos los cálculos y ofrecer los resultados. Posteriormente ParaView muestra los resultados obtenidos con flujos 3D.

6.1.3. Ensayo Físico.

Para realizar el ensayo físico se necesitan componentes sencillos como un tubo de manguera, un pequeño motor eléctrico... Cosas que son fáciles de encontrar o comprar y algunas otras que se mandaran a fabricar. La única pieza que se puede llegar a fabricar con la impresora 3D es el eje interior. Al tener el modelo 3D en CAD la impresora es capaz de reproducir esa forma.

Por otra parte el ensayo no tiene mucha dificultad para la realización. Con un mismo fluido se realizaran varios ensayos modificando el caudal, con lo que se podrá estudiar si se observan cambios y si coincide con la simulación teórica.

6.2. Viabilidad económica.

Al tratarse sobre un proyecto académico, más concretamente un estudio no supone un gasto elevado. Los costes que se puedan observar son costes de Ingeniería.

En la parte de la simulación se usan cuatro programas importantes, tres de ellos de código abierto por lo tanto gratuito y tan solo uno de ellos de pago (SolidWorks) pero debido a que este software está incluido dentro de los ordenadores del centro universitario donde se está llevando a cabo el anteproyecto y más adelante el proyecto no supone un gasto adicional, por lo que esta parte el coste es reducido tendiendo tan solo consumo eléctrico y horas de ingeniería.

El ensayo físico si comporta una serie de gastos ya que hay que realizar la maqueta a pequeña escala y no se dispone de la maquinaria industrial para fabricar los componentes, por lo que como ya se ha descrito anteriormente se tendrá que fabricar. También hay un pequeño consumo del agua para realizar las pruebas que vendrá de la red de agua del centro universitario.

Con este proyecto no se pretende sacar un beneficio ni una comercialización ya que se trata de un estudio de cómo se comporta el fluido en la bomba, por lo que no se generara beneficio alguno (una vez finalizado el proyecto se puede usar en un futuro para realizar prácticas académicas con ella si un profesor desea y lo ve pertinente).

6.3 Viabilidad medioambiental.

Como ya se ha dicho en la viabilidad económica al tratarse sobre un estudio el impacto medioambiental es bastante bajo.

Durante el transcurso del proyecto podemos tener pequeños impactos debidos al uso de ordenadores lo cual comporta un consumo eléctrico, papel y material estudiantil.

Para la realización de la maqueta se hará uso de agua proveniente de la red implementada en la universidad en poca cantidad. Se puede generar residuos en la fabricación de la maqueta, pero al tratarse de materiales comunes no generaran residuos peligrosos. Además tan solo se debe realizar una unidad de ellos por lo que la cantidad es pequeña.

6.4 Selección de la alternativa más adecuada.

Como ya se ha mencionado durante el documento las selecciones para el estudio del flujo y la realización de la maqueta son las siguientes:

- Diseño 2D y 3D (SolidWorks)
- Mallado (Salome)
- Simulación (OpenFoam)
- Visualización (ParaView)
- Fabricación (eje interior por determinar) externa
- Método de rastreo de flujo: colorante y burbujas.

Los métodos usados tanto para el diseño teórico están corroborados mediante [1], [2] ya existentes que ya han sido usados antes en la industria. El funcionamiento de la parte física conlleva más variables impredecibles, aun así para el montaje y realización del experimento se usaran guías y la propia experiencia.

7. Planificación del proyecto.

Se iniciara el proyecto junto al nuevo curso académico el día 14/09/2015 (fecha aproximada dado que aún no está el calendario académico del curso 2015-2016) y finalizara el día 15/01/2016. La duración total es de 600 horas, un total de 142 días repartidos de la siguiente manera:

Se ha dedicado un total de 162 horas para la elaboración del anteproyecto, con una dedicación diaria de 3 horas, lo que equivale a un total de 54 días de trabajo. Las 438 horas restantes han sido dedicadas a la elaboración del proyecto de detalle con una dedicación diaria de 5 horas, es decir 88 días de trabajo (como indica el camino crítico).

7.1. Definición de tareas.

1. Realización geometría 2D eje interior

Creación geometría 2D del eje interior mediante programa CAD

2. Diseño 3D eje interior en CAD

Diseñar el modelo 3D del eje a partir del modelo 2D anterior.

3. Realización geometría 2D eje exterior

Creación geometría 2D del eje exterior mediante programa CAD

4. Diseño 3D eje exterior en CAD

Diseñar el modelo 3D del eje a partir del modelo 2D anterior.

5. Obtención de la zona de estudio

Mediante software CAD obtener con el espacio no común de los ejes.

6. Mallado de la zona de estudio

Crear una malla ajustada a la zona de estudio

7. Simulación del mallado

Simular la circulación de fluidos dentro de la zona de estudio

8. Resolución simulación

Uso de ParaView para visualizar líneas de flujo 3D

9. Pedido fabricación

Tiempo de demora de los pedidos de fabricación.

10. Montaje ensayo

Montaje de la bomba una vez se tengan todas las piezas

11. Realización ensayo

Poner el experimento en marcha y dejar que se realice todo el proceso

12. Medidas / análisis de resultados

Tomar medidas de los resultados

13. Correlación resultados

Comparar los resultados entre el experimento teórico y el ensayo físico

14. Redacción proyecto de detalle

Redactar toda la nueva documentación

15. Entrega proyecto de detalle

Entrega del documento al centro universitario.

Las tareas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 son tareas que se deben de ejecutar una tras de otra ya que se necesita el resultado de la anterior para poder proseguir. La tarea 9 (Pedido fabricación) se puede empezar una vez se ha diseñado las dimensiones de los ejes. Y las tareas de montaje pueden funcionar en paralelo ya que mientras se ejecuta la simulación no se requiere de recursos dedicados a ella, sino que funciona sola. La entrega se realizara una vez finalizada la parte teórica y práctica lo que nos permitirá terminar la documentación escrita.

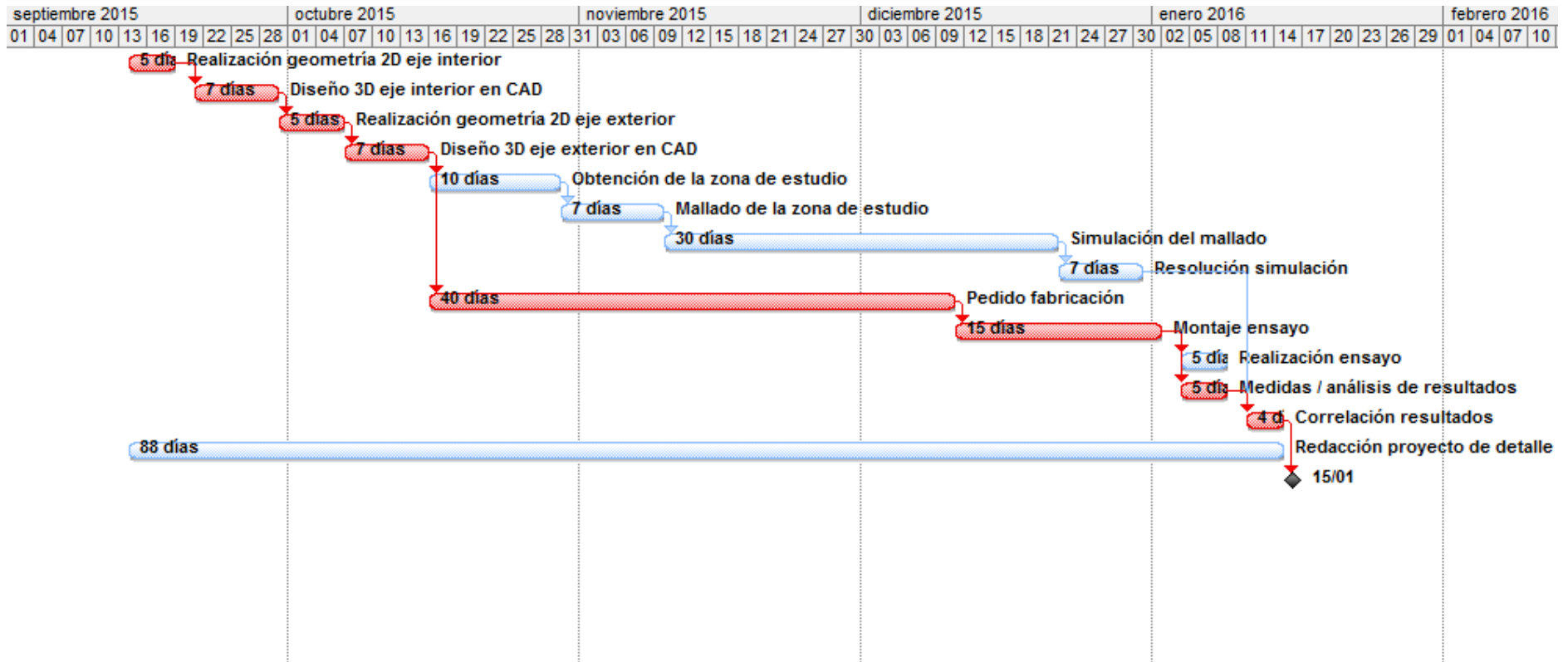
7.2. Tareas y precedencias.

| | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Predecesoras |
|----|--------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Realización geometría 2D eje interio | 5 días | lun 14/09/15 | vie 18/09/15 | |
| 2 | Diseño 3D eje interior en CAD | 7 días | lun 21/09/15 | mar 29/09/15 | 1 |
| 3 | Realización geometría 2D eje exteri | 5 días | mié 30/09/15 | mar 06/10/15 | 2 |
| 4 | Diseño 3D eje exterior en CAD | 7 días | mié 07/10/15 | jue 15/10/15 | 3 |
| 5 | Obtención de la zona de estudio | 10 días | vie 16/10/15 | jue 29/10/15 | 4 |
| 6 | Mallado de la zona de estudio | 7 días | vie 30/10/15 | lun 09/11/15 | 5 |
| 7 | Simulación del mallado | 30 días | mar 10/11/15 | lun 21/12/15 | 6 |
| 8 | Resolución simulación | 7 días | mar 22/12/15 | mié 30/12/15 | 7 |
| 9 | Pedido fabricación | 40 días | vie 16/10/15 | jue 10/12/15 | 4 |
| 10 | Montaje ensayo | 15 días | vie 11/12/15 | vie 01/01/16 | 9 |
| 11 | Realización ensayo | 5 días | lun 04/01/16 | vie 08/01/16 | 10 |
| 12 | Medidas / análisis de resultados | 5 días | lun 04/01/16 | vie 08/01/16 | 10 |
| 13 | Correlación resultados | 4 días | lun 11/01/16 | jue 14/01/16 | 12;8 |
| 14 | Redacción proyecto de detalle | 88 días | lun 14/09/15 | jue 14/01/16 | |
| 15 | Entrega proyecto de detalle | 1 día | vie 15/01/16 | vie 15/01/16 | 13 |

Fuente: Propia

Tabla.7.1. Tabla de tareas y precedencias.

7.3 Diagrama de Gantt.



Fuente: Propia

Fig.7.1. Diagrama de Gantt del proyecto de detalle.

8. Presupuesto.

A continuación se desglosaran los costes para la completa realización del proyecto. Los costes más importantes son los relacionados con la fabricación de la maqueta y las horas necesarias para la realización del proyecto.

8.1 Mediciones.

| CAPITULO I | | |
|---------------------------------|---|-----------------------|
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES |
| 1.1 | Horas de proyectista destinadas a la busca de información previa. | 60 |
| 1.2 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 2D | 50 |
| 1.3 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 3D | 70 |
| 1.4 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de del mallado | 25 |
| 1.5 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de simulación | 150 |
| 1.6 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de la resolución de simulación | 35 |
| 1.7 | Horas de proyectista destinadas a la realización y puesta en marcha del prototipo | 100 |
| 1.8 | Horas de proyectista destinadas a la elaboración escrita y edición de los documentos del proyecto | 110 |

Fuente: Propia

Tabla.8.1. Mediciones Capítulo I

| CAPÍTULO II | | |
|--------------------|--------------------|-----------------------|
| MATERIALES | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES |
| 2.1 | Eje interior | 1 |
| 2.2 | Eje exterior | 1 |
| 2.3 | Motor Eléctrico | 1 |
| 2.4 | Tubos | 4 |

| | | |
|-----|------------------|---|
| 2.5 | Estructura Bomba | 1 |
| 2.6 | Colorante | 1 |

Fuente: Propia

Tabla.8.2. Mediciones Capítulo II

8.2 Costes.

| CAPÍTULO I | | |
|---------------------------------|-----------------|----------------------------|
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | |
| CODIGO | UNIDADES | PRECIO UNITARIO (€) |
| 1.1 | Horas | 30 |
| 1.2 | Horas | 40 |
| 1.3 | Horas | 40 |
| 1.4 | Horas | 40 |
| 1.5 | Horas | 30 |

Fuente: Propia

Tabla.8.3. Precios Capítulo I

El precio unitario es de 30 euros para las tareas de búsqueda de información y redactado del proyecto y un precio por hora de 40€ para el resto de tareas, como diseño y montaje.

| CAPÍTULO II | | |
|--------------------|------------------|----------------------------|
| MATERIALES | | |
| CODIGO | UNIDADES | PRECIO UNITARIO (€) |
| 2.1 | Eje interior | 35* |
| 2.2 | Eje exterior | 40* |
| 2.3 | Motor eléctrico | 76 |
| 2.4 | Tubos | 5,3 |
| 2.5 | Estructura Bomba | 80 |
| 2.6 | Colorante | 1,95 |

Fuente: Propia

Tabla.8.4. Precios Capítulo II

(*) Los precios no están asegurados ya que las dimensiones las establece el fabricante y están por determinar. El eje interior puede variar de precio según si se fabrica con la impresora 3D o se externaliza su fabricación.

8.3 Presupuesto Parcial.

| CAPITULO I | | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES | PRECIO UNITARIO (€) | TOTAL(€) |
| 1.1 | Horas de proyectista destinadas a la busca de información previa. | 60 | 30 | 1800 |
| 1.2 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 2D | 50 | 40 | 2000 |
| 1.3 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización del diseño 3D | 70 | 40 | 2800 |
| 1.4 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de del mallado | 25 | 40 | 1000 |
| 1.5 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de simulación | 150 | 40 | 6000 |
| 1.6 | Horas de ingeniería dedicadas a la realización de la resolución de simulación | 35 | 40 | 1400 |
| 1.7 | Horas de proyectista destinadas a la realización y puesta en marcha del prototipo | 100 | 40 | 4000 |
| 1.8 | Horas de proyectista destinadas a la elaboración escrita y edición de los documentos del proyecto | 110 | 30 | 3300 |
| COSTES INDIRECTOS | | | | |
| 1.7 | Costes indirectos mano de obra (10%) | | | 2230 |

TOTAL CAPÍTULO I (10% MARGEN)

24.530 €

Fuente: Propia

Tabla.8.5. Presupuesto Parcial Capítulo I

| CAPÍTULO II | | | | |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| MATERIALES | | | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | PARTES IGUALES | PRECIO UNITARIO (€) | TOTAL(€) |
| 2.1 | Eje interior | 1 | 35 | 35 |
| 2.2 | Eje exterior | 1 | 40 | 40 |
| 2.3 | Motor Eléctrico | 1 | 76 | 76 |
| 2.4 | Tubos | 4 | 5,3 | 21,2 |
| 2.5 | Estructura Bomba | 1 | 80 | 80 |
| 2.6 | Colorante | 1 | 1,95 | 1,95 |
| 1.7 | Imprevistos (10%) | | | 25,415 |

TOTAL CAPÍTULO II

279,565 €

Fuente: Propia

Tabla.8.6. Presupuesto Parcial Capítulo II

| CAPÍTULO III | | | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| AMORTIZACIONES | | | | |
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | Horas de uso | Precio/hora | Total |
| 3.1 | Ordenador | 390 | 0,25 | 98 € |
| 3.2 | Microsoft Office Word | 110 | 0,5 | 55 € |
| 3.3 | Solid Works | 170 | 0,9 | 153 € |
| 3.4 | Herramientas Montaje | 25 | 0,3 | 8 € |

TOTAL CAPÍTULO III **313 €**

Fuente: Propia

Tabla.8.7. Presupuesto Parcial Capítulo III

8.4 Presupuesto global

Total Capítulo I 24.530 €

Total Capítulo II 279,565 €

Total Capítulo III 313 €

TOTAL 25.122,57 €

IVA (21%) 5.275,74 €

| | |
|--------------------------|-------------------|
| TOTAL PRESUPUESTO | 30.398,3 € |
|--------------------------|-------------------|

9. Referencias.

[1] FORCYL Ipari Berendezéseket Fejlesztő és Gyártó Kft. *Forcyl Tipusu Szivattyúk Tervezése, Tervdokumentáció (Diseño de tipos de bombas, Plan de documentación)*. Miskolc. Hungría

[2] MICRO EUROPE Kft. *Sokszögtervezési Segédlet (Guía sobre diseño de polígonos)*. Miskolc. Hungría.

Anexo II. Normativa.

Marco normativo:

- Orden de 6 de octubre de 1980 por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP2 de Reglamento de Aparatos a Presión.
- Fecha de publicación: 04/11/1980
- Entrada en vigor 4 de marzo de 1981.

Referencias anteriores:

- DE CONFORMIDAD con el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril (Ref. BOE-A-1979-13414).
- CITA Decreto 1490/1975, de 12 de junio (Ref. BOE-A-1975-14782).

Materias:

- Aparatos y recipientes a presión
- Tuberías

Anexo III. Informe Medioambiental.

1. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DEL PROYECTO

1.1 Materias primas

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|--|
| 1. Que materias primas serán utilizados? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 1. Como serán obtenidas estas materias primas? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 2. En y el sistema de envío (transporte) de las materias primas a la localización prevista, se han tenido en consideración los posibles impactos de tipo ambiental? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 3. Existe un plan que ligue el proyecto a los aspectos ambientales de extracción, transporte y almacenamiento de | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |

1.2 Capacidad asimilativa de la localización

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---|
| 1. Se han considerado lugares o localizaciones alternativos en su esfuerzo de evitar o mitigar la degradación ambiental? | | X | | |
| 2. Se tienen estudios hidrológicos, geológicos y meteorológicos de la localización para anticipar y minimizar posibles daños a | | X | | |
| 3. Les aguas residuales serán vertidas directamente o Indirectamente en el exterior? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 4. Quién será el medio receptor? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 5. Se han hecho estudios de las propiedades físicas, químicas y biológicas, del medio acuático receptor, tales como la temperatura, régimen de caudales, oxígeno disuelto, | | X | | |
| 6. Se generaran residuos ?, Está prevista su caracterización?, ¿Dónde se piensa tratarlos, en caso de que se generen? | X | | | Una vez termine la vida útil de la maqueta se depositara en los contenedores de residuos correspondientes del desguace municipal. |

1.3 Fase de Diseño del proceso

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|--|
| 1. Que elementos deben ser incorporados al diseño de la Planta desde un punto de vista ambiental? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 2. Se ha considerado la posibilidad de utilizar una tecnología limpia, para todo el proceso, o por alguna de las operaciones involucradas? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |

1.4. Fase de Construcción

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|--|
| 1. El plan constructivo ha tomado en consideración los factores ecológicos? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 2. Se han previsto acciones para minimizar el daño ambiental, por la construcción de carreteras, excavaciones, rellenos, etc.? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |

1.5. Fase de Operación

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|--|
| 1. Se han previsto mecanismos de seguridad en el manejo de materias peligrosas, caso de existir? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 2. Existen riesgos de explosión o vertidos por accidente? | | X | | |
| 3. Está previsto un plan de seguridad interna, con la incorporación de todos los mecanismos operativos | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 4. Se han tomado medidas especiales en los sistemas de Almacenamiento de materiales peligrosos? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 5. Se han previsto las precauciones correspondientes para prevenir las pérdidas de los tanques de almacenamiento? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 6. Que tipos y cantidades de corrientes residuales se producirán? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 7. Que sistemas de control de la contaminación están previstos? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 8. Los vertidos previstos, en caso de que exista, en sistemas acuáticos (ríos, lagos, aguas litorales) son compatibles con sus usos presentes y futuros, particularmente durante los períodos de | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 9. Pueden las corrientes residuales tener efectos sinérgicos con otros materiales? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 10. Contienen los corrientes residuales materiales potencialmente tóxicos? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 11. Deben esperar efectos de los vertidos de aguas residuales al medio receptor, tales como desarrollo de algas, muerte de peces, etc.? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 12. Está previsto su monitorización ?, Mediante medidas puntuales, periódicas o en tiempo real? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 13. Que sistemas están previstos para eliminar los materiales tóxicos? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 14. En caso de producirse residuos, qué sistema de tratamiento se piensa utilizar? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 15. Se ha considerado el reciclaje de estos residuos? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 16. Cuales previsiones hay para formar al personal de la planta en los aspectos ambientales de gestión de la misma? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 17. De qué manera serán controladas los olores? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |

1.6 Aspectos sociales y culturales

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|------------------|
| 1. Con que grado la presencia y operación del resultado del proyecto altera el entorno de su localización, y afecta a las | | | | De ninguna forma |
| 2. Se crearán o acentuarán problemas de urbanización? | | X | | |
| 3. Se deberá producir un aumento del tráfico? | | X | | |

1.7 Aspecto de salud

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|--|
| 1. Tendrán la producir emisiones que afectan directa o indirectamente la salud? | | X | | |
| 2. Que nuevos problemas de salud se pueden plantear? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 3. Puede el transporte atmosférico o por los acuíferos, de contaminantes afectar a la salud, a nivel local o | | X | | |
| 4. Cuales medidas se han tomado para asegurar a los trabajadores un programa de seguridad e higiene? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |

1.8 Residuos finales

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---|
| 1. Quina gestión está prevista hacer con los residuos finales? | X | | | Solo se genera agua, finaliza en el desagüe |

1.9 Futuras expansiones

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|-----------------------|
| 1. De qué manera futuros proyectos podrán afectar al medio ambiente? | | | | No generará problemas |

2. PREAVALUACIÓ DE IMPACTO AMBIENTAL

2.1 Factores relacionados con el proyecto

Generalidades

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto provocará efectos especialmente complejos en el ambiente? | | X | | |
| 2. El proyecto significará una perturbación generalizada del suelo, limpieza del terreno o desbroce, aplanado u obras subterráneas en gran escala? | | X | | |
| 3. El proyecto significará alteraciones significativas de la utilización actual o prevista del suelo o de planificación urbana? | | X | | |
| 4. El proyecto exigirá la construcción de estructuras auxiliares | | X | | |

| | | | | |
|---|--|---|--|--|
| 5. El proyecto puede ocasionar alteraciones de las conducciones | | X | | |
| 6. El proyecto puede ocasionar la necesidad de modificar la Red de alcantarillado? | | X | | |
| 7. El proyecto puede ocasionar modificaciones de los desagües en casos de lluvias intensas? | | X | | |
| 8. El proyecto puede ocasionar cambios en las redes de conducción eléctrica? | | X | | |
| 9. El proyecto exigirá la construcción de nuevas carreteras o vías de utilización de todo terreno? | | X | | |
| 10. La construcción o explotación del proyecto provocará grandes volúmenes de tráfico? | | X | | |
| 11. El proyecto significará desmonte con explosivos, o actividades similares? | | X | | |
| 12. El proyecto puede ocasionar un incremento de la demanda De fuentes de energía existentes o un requerimiento de nuevas fuentes de energía? | | X | | |
| 13. El proyecto será cerrado o clausurado después de un tiempo limitado de vida? | | X | | |

Medio atmosférico

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto provocará emisiones atmosféricas Procedentes del uso de combustibles, de procesos de producción, de manipulación de materiales, de las actividades de construcción o de otras fuentes? | | X | | |
| 2. El proyecto exigirá la destrucción de residuos a través de la quema cielo abierto (por ejemplo, residuos de explotación forestal o de construcción)? | | X | | |

Medio acuático

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto exigirá grandes cantidades de agua o la Producción de grandes volúmenes de aguas residuales o efluentes industriales? | | X | | |
| 2. El proyecto significará una degradación de los modelos de drenaje existentes (incluyendo la construcción de presas o la desviación de cursos de agua o el aumento de los riesgos de inundación)? | | X | | |
| 3. El proyecto exigirá el dragado de canales o la rectificación del trazado de travesías de cursos de | | X | | |
| 4. El proyecto exigirá la construcción de muelles o diques? | | X | | |
| 5. El proyecto exigirá la construcción de estructuras mar Adentro (espigones, plataformas petrolíferas, etc.)? | | X | | |

Producción de residuos

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto puede ocasionar gran cantidad de residuos inertes? | | X | | |
| 2. El proyecto puede ocasionar gran cantidad de residuos tóxicos | | X | | |
| 3. El proyecto exigirá la evacuación de escorias o residuos del proceso de explotación minera? | | X | | |
| 4. El proyecto exigirá la evacuación de residuos urbanos o industriales? | | X | | |
| 5. El proyecto facilitará la posibilidad de incremento de contaminantes? | | X | | |
| 6. El proyecto podrá contaminar los suelos y las aguas subterráneas? | | X | | |

Ruido, etc.

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---|
| 1. El proyecto provocará emisiones sonoras, vibraciones, luz, calor u otras formas de radiación en el ambiente? | X | | | El motor de la bomba provocada un poco de ruido |

Riesgos

| Pregunta | SI | NO | Quizás | OBSERVACIONES |
|--|----|----|--------|---------------|
| 1. El proyecto violará los estándares de efluentes tóxicos? | | X | | |
| 2. Realización del proyecto exigirá el almacenamiento, manipulación, utilización, producción o transporte de sustancias peligrosas (inflamables, explosivas, tóxicas, radioactivas, cancerígenas o mutagénicas)? | | X | | |
| 3. Explotación del proyecto exigirá la producción de radiaciones electromagnéticas u otras que puedan afectar a la salud humana o equipamientos | | X | | |
| 4. El proyecto exigirá la utilización regular de productos químicos de control de parásitos y de hierbas nocivas? | | X | | |
| 5. El proyecto podrá registrar un fallo operacional que vuelva insuficiente las medidas normales de protección de | | X | | |
| 6. El proyecto puede ocasionar riesgos de explotación o emisión de sustancias peligrosas (pesticidas, sustancias químicas, radiaciones) como consecuencia de un | | X | | |
| 7. El proyecto puede ocasionar posibles interferencias con un plan de emergencia o evacuación? | | X | | |
| 8. El proyecto puede ocasionar posibles descensos de la seguridad laboral? | | X | | |

Aspectos sociales

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|--|
| 1. El proyecto puede ocasionar una reducción sustancial de la cualidad del entorno? | | X | | |
| 2. El proyecto puede ocasionar la eliminación de un elemento singular por la religión? | | X | | |
| 3. El proyecto puede ocasionar algún efecto sustancial adverso sobre los bienes humanos? | | X | | |
| 4. El proyecto implicará puestos de trabajo para un gran número de trabajadores? | | X | | |
| 5. La mano de obra tendrá acceso apropiado a alojamiento ya otras estructuras? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto. |
| 6. El proyecto implicará gastos significativas en la economía local? | | X | | |
| 7. El proyecto provocará alteraciones de las condiciones sanitarias? | | X | | |
| 8. El proyecto puede ocasionar alteraciones de la localización, distribución, densidad o índice de crecimiento de la población del área? | | X | | |
| 9. El proyecto implicará requisitos significativos en términos desinstalación de servicios ?. | | X | | |
| 10.El proyecto puede ocasionar la necesidades de vivienda generando nueva demanda? | | X | | |
| 11.El proyecto puede ocasionar alguna incidencia o generación de nuevas necesidades de servicios públicos en el área de protección contra el fuego (bomberos, ...)? | | X | | |
| 12.El proyecto puede ocasionar alguna incidencia o generación de nuevas necesidades de servicios públicos en el área de la | | X | | |
| 13.El proyecto puede ocasionar alguna incidencia o generación de nuevas necesidades de servicios públicos en el área de las escuelas? | | X | | |

| | | | | |
|---|--|---|--|--|
| 14.El proyecto puede ocasionar alguna incidencia o generación de nuevas necesidades de servicios públicos en el área de parques u otras instalaciones de recreo? | | X | | |
| 15.El proyecto puede ocasionar alguna incidencia o generación de nuevas necesidades de servicios públicos en el área de mantenimiento de instalaciones públicas incluyendo carreteras y calles? | | X | | |
| 16. El proyecto puede ocasionar alguna incidencia o generación de nuevas necesidades de servicios públicos en el área de otros servicios gubernamentales? | | X | | |

2.2 Factores relacionados con la localización

Protección Jurídica

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se sitúa en zonas designadas o protegidas para la legislación del Estado miembro o próximas a ellas? | | X | | |
| 2. El proyecto se sitúa en una zona en que las normas de calidad del ambiente que establece la legislación del Estado miembro son violadas? | | X | | |

Características generales

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se ubica en una zona con características naturales únicas? | | X | | |
| 2. La capacidad de regeneración de las zonas naturales, como zonas costera, montañosa y forestal, se verá afectada de forma negativa, por el proyecto? | | X | | |
| 3. La zona del proyecto registra niveles elevados de contaminación u otros daños ambientales? | | X | | |
| 4. El proyecto se sitúa en una zona los suelos y / o aguas subterráneas de la que pueden haber sido contaminados | | X | | |

Datos hidrológicos

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se sitúa en terrenos pantanosos, cursos de Agua o masas de agua o en su proximidad? | | X | | |
| 2. El proyecto se sitúa en la proximidad de fuentes importantes de Aguas subterráneas? | | X | | |

Características paisajísticas y estéticas

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se ubica en una zona de elevada calidad y / o sensibilidad paisajística? | | X | | |
| 2. El proyecto se ubica en una zona visible para un número significativo de personas? | | X | | |

Condiciones atmosféricas

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se ubica en una zona sujeta a condiciones atmosféricas adversas (inversiones de la temperatura, boiras densas, viento violento)? | | X | | |

Características históricas y culturales

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se sitúa en las proximidades de patrimonios histórico o cultural especialmente importantes o valiosos? | | X | | |

Estabilidad

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se ubica en una zona propensa a desastres naturales o accidentes provocados por causas naturales o artificiales? | | X | | |
| 2. El proyecto se ubica en una zona de topografía escarpada pueda ser propensa a deslizamientos del terreno, erosión, etc. ? | | X | | |
| 3. El proyecto se ubica en una zona litoral, o próxima a ella, propensa a erosión? | | X | | |
| 4. El proyecto se ubica en una zona propensa a terremotos o fallas sísmicas? | | X | | |

Ecología

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto se sitúa en las proximidades de hábitats especialmente importantes o valiosos? | | X | | |
| 2. Hay en la zona especies raras o en vías de extinción? | | X | | |
| 3. El lugar se podría revelar resistente a la reconstrucción natural o programada de la vegetación? | | X | | |

Utilización del suelo

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto entrará en conflicto con la política de planificación urbanística o utilización del suelo en vigor? | | X | | |
| 2. La utilización del suelo propuesta podrá entrar en conflicto con la utilización de suelos vecinos (existente o | | X | | |
| 3. El proyecto se ubica en una zona de elevada densidad de población o en las proximidades de zonas residenciales u otros de utilización del suelo sensibles (ej. .. | | X | | |
| 4. El proyecto se ubica en un terreno de elevado valor agrícola? | | X | | |
| 5. El proyecto se ubica en una zona de importancia recreativa | | X | | |

2.3. Factores relacionados con el impacto ambiental**Suelo y Propiedades**

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto causará una degradación o pérdida de utilización | | X | | |
| 2. El proyecto puede ocasionar cambios de las condiciones de suelos inestables o en las | | X | | |
| 3. El proyecto puede ocasionar roturas, desplazamientos, compactación o descubrimiento del suelo? | | X | | |
| 4. El proyecto puede ocasionar cambios en la topografía o características del relieve de la superficie del suelo? | | X | | |

| | | | | |
|-----|--|---|--|--|
| 5. | El proyecto puede ocasionar destrucción, modificación o Cubrimiento de alguna singularidad geológica o característica física? | X | | |
| 6. | El proyecto ocasionará una degradación general del terreno? | X | | |
| 7. | El proyecto puede ocasionar contaminación del suelo? | X | | |
| 8. | Hay riesgo de impacto sobre la infraestructura de apoyo requeridas por el proyecto (facilidad de disposición de las aguas residuales, caminos, suministro de sistemas de electricidad y agua, escuelas)? | X | | |
| 9. | Hay riesgo de impacto del proyecto en el uso de los suelos vecinos? | X | | |
| 10. | Hy hay riesgo de impacto de las instalaciones superficiales de | X | | |
| 11. | Hy riesgo de que las obras subterráneas puedan provocar desastres o accidentes? | X | | |
| 12. | El proyecto provocará la demolición de estructuras o la ocupación de propiedades (casas, jardines, establecimientos comerciales)? | X | | |

Erosión

| Pregunta | | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|----------|---|----|----|---------|---------------|
| 1. | Es probable que el proyecto provoque erosión? | | X | | |
| 2. | La adopción de medidas de control de la erosión podrá contar otros efectos adversos? | | X | | |
| 3. | El proyecto puede causar algún incremento de la erosión del suelo | | X | | |
| 4. | El proyecto provocará erosión de dunas, o arrastre del litoral o alteraciones adversas en los sistemas costeros? | | X | | |
| 5. | El proyecto puede ocasionar cambios en la disposición de las arenas de las playas, modificación de los cauces de ríos y lagos por deposición, sedimentación o erosión y | | X | | |

Medio acuático

| Pregunta | | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|----------|--|----|----|---------|---------------|
| 1. | El proyecto provocará impactos en la cantidad y / o calidad en los suministros privados o municipales de Agua? | | X | | |
| 2. | La utilización de agua afectará la disponibilidad de los abastecimientos locales existentes? | | X | | |
| 3. | El proyecto afectará de forma negativa a la calidad, dirección, flujo o volumen de las aguas superficiales o subterráneas debido a sedimentación, alteraciones hidrológicas o vertidos? | | X | | |
| 4. | El proyecto puede ocasionar vertido sobre aguas subterráneas o superficiales, o alguna alteración de la calidad del agua superficial o subterránea incluyendo temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y todos los parámetros habituales? | | X | | |
| 5. | El proyecto puede ocasionar cambios en las corrientes, en el curso y dirección de movimientos de aguas, tanto dulces como marinas? | | X | | |
| 6. | El proyecto provocará un aumento de partículas en suspensión? | | X | | |
| 7. | El proyecto puede ocasionar cambios en los índices de Absorción, modelos de drenaje o en los índices de evacuación y vaciado superficial? | | X | | |
| 8. | El proyecto puede ocasionar alteraciones en el curso o flujo de Inundaciones y avenidas? | | X | | |
| 9. | El proyecto provocará cambios de fluctuación del nivel de agua? | | X | | |

| | | | |
|--|---|--|--|
| 10.El proyecto provocará cambios en los gradientes de sanidad? | X | | |
| 11.El proyecto puede ocasionar cambios en la cantidad de aguas Subterráneas , tanto a través de adiciones directas o extracciones, o mediante la interrupción de algún acuífero por cortes o excavaciones? | X | | |
| 12.LAlteración natural del curso del agua ejercerá un efecto negativo en los hábitats naturales (por ejemplo, velocidad del caudal de agua y piscicultura) u otras utilidades del agua (pesca, navegación, baños)? | X | | |
| 13.El proyecto provocará impacto en la sostenibilidad de las piscifactorías tanto comerciales como recreativas? | X | | |
| 14.El proyecto provocará impacto en todo lo referente a actividades recreativas relacionadas con el agua? | X | | |
| 15.El proyecto ocasionará alteraciones significativas de los modelos de la acción de las olas, movimiento de sedimentos o | X | | |
| 16.El proyecto limitará la utilización del agua para fines recreativos, de pesca deportiva, pesca, navegación, investigación, conservación o de carácter científico? | X | | |
| 17.El proyecto provocará la posibilidad de impacto en el agua segundos los resultados de test físicos, químicos y | X | | |
| 18.El proyecto provocará la posibilidad de impactos en los sedimentos según los resultados de test físicos, químicos y biológicos? | X | | |
| 19.El proyecto provocará la posibilidad de impactos en las corrientes aguas abajo? | X | | |
| 20.El proyecto provocará impacto en los valores de producción de humedales? | X | | |
| 21.El proyecto provocará impacto en los valores para la protección de las zonas húmedas de los desastres naturales (inundaciones, grandes tormentas ...)? | X | | |
| 22.El proyecto provocará impacto como resultado de la sedimentación obstructiva? | X | | |
| 23.El proyecto provocará impacto en la separación y reciclaje los nutrientes inorgánicos por las mareas? | X | | |
| 24.El proyecto provocará impacto en las aguas de los estuarios? | X | | |
| 25.El proyecto provocará impacto en la presencia pantanos únicos o con características geológicas únicas? | X | | |
| 26.El proyecto puede ocasionar exposición de personas o propiedades riesgos de aguas como inundaciones, temporales o maremotos? | X | | |

Calidad del aire

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto puede ocasionar considerables emisiones atmosféricas o deterioro de la calidad del | | X | | |
| 2. Les emisiones provocadas por el proyecto pueden afectar de forma negativa la salud o el bienestar humano, la fauna o la flora, los recursos materiales u otros? | | X | | |
| 3. Les emisiones provocadas por el proyecto pueden afectar de forma negativa la salud o el bienestar humano, la fauna o la flora, los recursos materiales u otros? | | X | | |
| 4. El proyecto puede ocasionar olores molestos? | | X | | |
| 5. El proyecto puede ocasionar generación de polvo? | | X | | |

Condiciones atmosféricas

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto puede ocasionar alteración de los movimientos de el aire, humedad o temperatura o cambios en el clima | | X | | |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| 2. El proyecto provocará alteraciones del medio físico que puedan afectar a las condiciones micro climáticas | | X | | |
| 3. El proyecto puede ocasionar exposición de personas o bienes riesgos geológicos, como sismos, deslizamientos de tierra, avalanchas de barro, etc.? | | X | | |

Ruido, etc.

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---|
| 1. El proyecto puede ocasionar incremento de los niveles de ruido | | X | | |
| 2. El proyecto puede ocasionar exposición de las personas a ruidos excesivos? | | X | | |
| 3. El proyecto puede ocasionar un aumento considerable de las radiaciones lumínicas o deslumbramientos? | | X | | |
| 4. El proyecto tendrá repercusiones en las personas, estructuras u otros receptores / elementos sensibles o ruidos, vibraciones, luz, calor u otras formas de radiación? | X | | | Se puede sentir ruido pero de muy bajo nivel. |

Ecología

| Pregunta | SI | NO | Quizás | OBSERVACIONES |
|---|----|----|--------|---------------|
| 1. El proyecto provocará una reducción de la diversidad genética? | | X | | |
| 2. El proyecto provocará la pérdida física del sustrato y de su hábitat? | | X | | |
| 3. El proyecto provocará la pérdida o degradación de hábitats especialmente valiosos, de ecosistemas o de hábitats de Especie raras o en vías de extinción (tanto flora | | X | | |
| 4. El proyecto provocará impactos en la presencia de plantas o animales raros o únicos en el sitio? | | X | | |
| 5. El proyecto provocará impactos en la presencia de plantas o animales en límites cercanos del territorio? | | X | | |
| 6. El proyecto puede ocasionar un descenso de la población piscícola o fauna por debajo de los límites | | X | | |
| 7. El proyecto puede ocasionar la introducción de nuevas Especies de plantas en el área o de barreras para el desarrollo normal de las especies existentes? | | X | | |
| 8. El proyecto puede ocasionar la reducción del rendimiento de Alguna plantación agrícola? | | X | | |
| 9. El proyecto puede ocasionar cambios en la diversidad de Especies vegetales, o el número de algunas especies de plantas (incluyendo árboles, arbustos, hierbas, plantaciones o plantas subacuáticas)? | | X | | |
| 10.El proyecto provocará impactos en los componentes de la cadena alimentaria acuática? | | X | | |
| 11.El proyecto provocará el deterioro de la reproducción y / o la nutrición de las especies acuáticas? | | X | | |
| 12.El proyecto provocará impactos en los mamíferos asociados con los ecosistemas acuáticos? | | X | | |
| 13.El proyecto provocará impactos en los peces asociados con los ecosistemas acuáticos? | | X | | |
| 14.El proyecto provocará impactos en las aves asociados con los ecosistemas acuáticos? | | X | | |
| 15.El proyecto provocará impactos en los reptiles asociados con los ecosistemas acuáticos? | | X | | |
| 16.El proyecto provocará impactos en localizaciones acuáticas especiales (marinas, en refugios o en santuarios marinos)? | | X | | |
| 17.El proyecto provocará impacto en / o eliminación de los pantanos? | | X | | |
| 18.El proyecto provocará impacto en / o eliminación de barrizales? | | X | | |

| | | | |
|---|---|--|--|
| 19.El proyecto provocará impacto en / o eliminación de la Vegetación en aguas poco profundas? | X | | |
| 20.El proyecto provocará impacto en / o eliminación de Complejos de estanques y corrientes | X | | |
| 21.El proyecto provocará la posibilidad de impactos en los vientos (flora y fauna que se encuentra en el fondo del lago o del mar)? | X | | |
| 22.El proyecto provocará algún grado de estrés en las estructuras de comunidades biológicas? | X | | |
| 23.El proyecto puede provocar cambios en la diversidad de Especies animales, o el número de algunas especies de animales (aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces, insectos, crustáceos, moluscos o cualquier otro organismo superior)? | X | | |
| 24.El proyecto puede ocasionar la introducción de nuevas especies de animales en el área o de barreras al movimiento | X | | |
| 25.El proyecto perturbará o perjudicará la capacidad de reproducción de las especies o afectará de forma negativa la migración o las zonas de alimentación, crianza, reproducción o descanso o comportará obstáculos significativos de las migraciones? | X | | |
| 26.Los impactos en términos de ruido, vibraciones, luz o calor provocadas por el proyecto perturbarán a las aves u otros animales? | X | | |
| 27.El proyecto perturbará procesos ecológicos esenciales a los sistemas bióticos? | X | | |
| 28.El proyecto provocará la introducción de hierbas nocivas, parásitos o enfermedades, o ayudará a la propagación de organismos patogénicos conocidos, de organismos nocivos | X | | |
| 29.El proyecto implicará a gran escala la utilización de plaguicidas, fertilizantes u otros productos químicos que puedan generar residuos en el medio terrestre o | X | | |
| 30.El proyecto aumentará de forma significativa los riesgos de incendio? | X | | |
| 31.La sedimentación resultante del proyecto provocará efectos adversos en la vida acuática debido a una disminución de la luz disponible? | X | | |

Características paisajísticas y estéticas

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto afectará de manera significativa una zona paisajísticas atrayendo o histórica o culturalmente importante? | | X | | |
| 2. El proyecto afectará el panorama del lugar, estando en la vista de un número significativo de personas? | | X | | |
| 3. El proyecto provocará impacto en la estética-presencia de | | X | | |
| 4. El proyecto provocará impacto en la estética-presencia de una masa de agua asociada? | | X | | |
| 5. El proyecto provocará impacto en la estética-tipo de Humedales o diversidad topográfica? | | X | | |
| 6. El proyecto puede ocasionar una obstrucción para la visibilidad del paisaje o supondrá una visión antiestética del | | X | | |

Impactos relacionados con el tráfico

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto conducirá a alteraciones significativas del tráfico (rodado u otro), con los consecuentes efectos para el resto de usuarios en términos de ruido, calidad del aire, confort, etc., e impactos por otros | | X | | |
| 2. Les alteraciones de la accesibilidad resultantes del proyecto conducirán a un aumento del potencial | | X | | |

| | | | | | |
|----|--|--|---|--|--|
| 3. | El proyecto puede ocasionar la generación de un sustancial | | X | | |
| 4. | El proyecto puede ocasionar un aumento del número de Aparcamientos? | | X | | |
| 5. | El proyecto puede ocasionar un impacto sustancial sobre los sistemas de transporte existentes? | | X | | |
| 6. | El proyecto puede ocasionar una alteración de los modelos de | | X | | |
| 7. | El proyecto puede ocasionar alteraciones en el tráfico marino, aéreo o ferroviario? | | X | | |
| 8. | El proyecto puede ocasionar un incremento de los riesgos de | | X | | |

Impactos sociales y de la salud

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto afectará de manera significativa el mercado laboral o inmobiliario de la zona? | | X | | |
| 2. El proyecto provocará la división física de una población existente? | | X | | |
| 3. El proyecto conducirá a una escasez de infraestructuras sociales al tener que hacer frente a un aumento temporal o permanente de población o de la | | X | | |
| 4. El proyecto afectará de manera significativa las características demográficas de la zona? | | X | | |
| 5. El proyecto provocará impacto en cualidades educacionales | | X | | |
| 6. El proyecto puede ocasionar la exposición de la población a riesgos potenciales de salud? | | X | | |
| 7. El proyecto puede ocasionar una disminución de la calidad y / | | X | | |
| 8. El proyecto puede ocasionar una alteración o destrucción bienes arqueológicos? | | X | | |
| 9. El proyecto puede ocasionar molestias físicas o estéticas en monumentos arquitectónicos existentes? | | X | | |
| 10. El proyecto puede ocasionar un cambio potencial sobre el medio físico que podría afectar valores culturales | | X | | |
| 11. El proyecto puede ocasionar restricciones de los usos religiosos y folclóricos en su zona de | | X | | |

Otros

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|--|----|----|---------|---------------|
| 1. Los efectos serán irreversibles? | | X | | |
| 2. Los efectos son acumulativos con los de otros | | X | | |
| 3. Los efectos serán sinérgicos? | | X | | |
| 4. Existe la posibilidad de impactos secundarios adversos? | | X | | |

2.4 Consideraciones de carácter general

| Pregunta | SI | NO | Tal vez | OBSERVACIONES |
|---|----|----|---------|---------------|
| 1. El proyecto provocará controversia pública? El proyecto puede suscitar grandes preocupaciones? | | X | | |
| 2. Hay efectos transfronterizos que deban ser tenidos en cuenta? | | X | | |
| 3. El proyecto llevará a las generaciones futuras a efectos irreversibles o inevitables? | | X | | |
| 4. El proyecto entrará en conflicto con la política o legislación internacional, nacional o local en vigor? | | X | | |
| 5. El proyecto exigirá una alteración de la política ambiental en vigor? | | X | | |

| | | | | | |
|-----|--|---|--|--|---|
| 6. | Existe legislación sobre el control de la contaminación, que garanticen la atención Debida a los impactos ambientales del proyecto? | | | | Esta cuestión no procede en este proyecto |
| 7. | El proyecto tendrá una importancia que exceda de el ámbito local? | X | | | |
| 8. | El proyecto implicará eventuales efectos inciertos o que implicar riesgos únicos o desconocidos? | X | | | |
| 9. | El proyecto puede ocasionar algún rechazo por parte de Asociaciones u organizaciones populares sobre los efectos medioambientales del proyecto? | X | | | |
| 10. | El proyecto proporcionará estructuras que logren incentivar un desarrollo posterior (inducido), para ejemplo a través de la oferta de una infraestructura de servicios (Urbanización, desarrollo industrial, requisito de transporte)? | X | | | |
| 11. | El proyecto necesitará de una manera significativa algún recursos la oferta pueda volver escasa? | X | | | |
| 12. | El proyecto tendrá impacto en el incremento de gastos o ingresos del estado, país o gobierno local (incremento de los gastos de las instalaciones de apoyo o incremento de los ingresos por impuestos)? | X | | | |
| 13. | El proyecto tendrá impacto económico - valor de los humedales como fuente de nutrientes y / o hábitat para la | X | | | |
| 14. | El proyecto tendrá impactos económicos - valor como área recreativa? | X | | | |
| 15. | El proyecto tendrá impactos económicos - valor por control de Inundaciones / prevención de inundaciones? | X | | | |
| 16. | El proyecto tendrá impactos económicos - costes de mantenimiento de puertos? | X | | | |
| 17. | El proyecto tendrá impacto económico en el público (tanto público como privado) de las instalaciones de apoyo al proyecto? | X | | | |
| 18. | El proyecto tendrá impacto económico (tanto público como privado) en la utilización de suelos vecinos? | X | | | |
| 19. | Hy una o más alternativas del proyecto razonablemente practicable que cumplan con los objetivos del proyecto con un menor impacto ambiental adverso? | X | | | |

