



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

RESUMEN

El estudio de las pérdidas de carga en sistemas de conducción actualmente cobra un sentido fundamental, dicho estudio nos permite realizar una optimización de la geometría final de las tuberías así como una simulación del circuito necesario para asegurar tanto el suministro, como la colocación de los distintos dispositivos de seguridad y monitorizado.

En este trabajo se realizan distintas propuestas para tres arquetas diferentes que serán situadas en puntos distintos de un mismo esquema hidráulico, dichas arquetas deberán asegurar la mezcla a una determinada concentración de aguas de distintas salinidades, mediante técnicas CFD se simularán dichas geometrías y se seleccionará una de ellas en función de la concentración deseada y las pérdidas de carga producidas por las mismas.

Palabras Clave: Tubería, arqueta, concentración, pérdida de carga, CFD, fluidos.

RESUM

L'estudi de les pèrdues de càrrega en sistemes de conducció actualment cobra un sentit fonamental, el dit estudi ens permet realitzar una optimització de la geometria final de les canonades així com una simulació del circuit necessari per assegurar tant el subministrament, com la col·locació dels diferents dispositius de seguretat i monitoritzats.

En aquest treball es realitzen distintes propostes per a tres arquetes diferents que seran situades en punts diferents d'un mateix esquema hidràulic, les dites arquetes hauran d'assegurar la mescla d'aigües de distintes salinitats a una determinada concentració, per mitjà de tècniques CFD se simularan les geometries i se seleccionarà una d'elles en funció de la concentració desitjada i les pèrdues de càrrega produïdes per les mateixes.

Paraules clau: Canonada, arqueta, concentració, pèrdua de càrrega, CFD, fluids.

ABSTRACT

The study of the pressure drop in piping systems at present receives a fundamental sense, the above mentioned study allows us to realize an optimization of the final geometry of the pipes as well as a simulation of the necessary circuit to assure both the supply, and the laying of the different safety devices and monitored.

In this work different proposals are realized for three different chests that will be placed in different points from the same hydraulic scheme, the above mentioned chests will have to assure the miscellany to a certain concentration of waters of different salinities, by CFD techniques the above mentioned geometries will be simulated and one of them will be selected according to the designed concentration and the pressure drop produced by the same ones.

Keywords: Pipe, manhole, concentration, pressure drop, CFD, fluid

DOCUMENTOS INCLUIDOS EN EL TRABAJO

- Memoria del trabajo.
- Presupuesto del trabajo.
- Planos.

MEMORIA

Índice de la memoria.

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Antecedentes	7
1.2. Justificación	10
1.3. Objetivos	11
2. DEFINICIÓN del problema.	12
3. MODELOS de cálculo.	16
3.1. Procedimiento.	16
3.2. Propuestas estudiadas.	16
3.2.1 Arqueta 1.	16
3.2.2 Arqueta 2.	18
3.2.3 Arqueta 3.	19
3.3. Estudio de malla	20
3.4. Comparación modelos de turbulencia.	22
4. RESULTADOS.....	24
4.1. Concentraciones estequiométricas.	24
4.2. Comparativa Arqueta 1.	25
4.2.1 Concentración línea central.	25
4.2.2 Concentración a 100 mm de la pared de la tubería.	27
4.3. Comparativa arqueta 2.....	29
4.4. Comparativa arqueta 3.....	30
4.4.1. Concentración línea central.	30
4.4.2. Concentración a 100 mm de la tubería.	32
4.5. Diagramas concentraciones arquetas.	34
4.5.2. Arqueta 1.....	34
4.5.2. Arqueta 2.....	39
4.5.3. Arqueta 3.....	43
4.6. Pérdidas de presión.....	52
5. Conclusiones.....	53

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presentan los pasos y estudios necesarios para el diseño de una serie de propuestas de arquetas de mezcla que serán instaladas en un circuito hidráulico de abastecimiento de agua potable, es por tanto imprescindible la instalación de un conductivímetro que nos permita chequear la salinidad del agua que se está abasteciendo, así como, la selección de una geometría que sea capaz de alcanzar tanto la concentración deseada para cada zona del circuito sin incurrir en unas pérdidas de presión demasiado elevadas.

A lo largo de este trabajo se tratará también de justificar la utilización de algunos de los modelos empleados más relevantes en la resolución del problema que ha sido planteado.

1.1. Antecedentes

El abastecimiento de agua potable hasta los puntos de consumo ha sido un tema de vital importancia desde la antigüedad, no solamente la destinada al consumo humano, sino también la necesaria para la agricultura, industria o la ganadería.

Existen a lo largo de la historia innumerables ejemplos de canalizaciones, generalmente a lámina libre, cuyo propósito es bien sencillo, transportar agua desde el punto de abastecimiento hasta el de consumo, esta manera de pensar ha ido evolucionando junto con la humanidad, ya en la época de la antigua Roma se construían complejos sistemas de conducción como los acueductos para tal fin, sin embargo, aunque el concepto es bien sencillo, en la práctica muchas veces se complica, aparecen accidentes geográficos, problemas de contaminación de agua, diferentes alturas a las que abastece y desniveles que vencer, en algunas ocasiones un buen diseño a lámina libre permite vencer alguno de estos inconvenientes pero queda patente que lo más sencillo desde el punto de vista técnico es la utilización de canalizaciones a presión, que estando cerradas, casi en su totalidad en forma tubular, permite aplicarle al agua en primer lugar un mejor control de calidad y seguimiento de sus características, evitando así posibles contaminaciones ambientales o del terreno circundante a la tubería. Al ser a presión podrá aplicarse mediante el uso de bombas y otros dispositivos de impulsión una energía cinética extra que permita al fluido contenido vencer desniveles o accidentes geográficos, así como asegurar unos caudales aceptables de consumo.



Figura 1: Tuberías de cerámica usadas en la antigua Roma. Fuente www.historicodigital.com

Estas ventajas junto a muchas otras como la sencillez en el diseño y en la facilidad de instalación de las mismas, justifica de manera clara el uso de tuberías como forma más extendida de distribución de gran parte de los fluidos empleados por el hombre.

El diseño de tuberías ha ido evolucionando desde principios del siglo XIX, debido a factores como el material empleado y su resistencia o la tecnología empleada en la fabricación, en aquella época los tubos empleados para la conducción del agua eran de hierro fundido y eran unidos entre sí mediante el vertido de plomo fundido en las uniones, esta técnica ha sido desechada con los años tras descubrirse los efectos nocivos que tiene el plomo sobre el cuerpo humano, posteriormente a lo largo del mismo siglo se produciría el nacimiento de la industria de las tuberías de hormigón que daría como resultado en la década de 1840, en Hamburgo en Alemania, en la creación del primer colector de residuos, ejecutado por el ingeniero inglés W. Lindley, no fue hasta 1867 con el francés J. Monier que se inventaron los tubos de hormigón armado, más tarde entre los años 1880 y 1930 se produjeron grandes avances en la modernización y técnicas constructivas de redes de residuos y galerías de aguas pluviales, algunos de los avances que se produjeron incluyen el desarrollo de teorías hidráulicas y normativas para los ensayos y los materiales, no sería hasta 1930 cuando se desarrollaría por primera vez, en Alemania, la primera tubería de PVC, policloruro de vinilo, desde entonces se fue popularizando casi alrededor de todo el mundo en la construcción e instalación de sistemas de agua corriente, conducciones de cables eléctricos o drenajes, actualmente se emplean los diferentes materiales de tubería así como sus cualidades o perfiles en función del uso que se les vaya a dar, usos casi incontables como la distribución de gas natural, oleoductos, usos sanitarios, etc.

De esta manera se han ido desarrollando a lo largo de los años diferentes técnicas y criterios a la hora de su diseño, hoy en día con la ayuda de la mecánica de fluidos computacional se ha aumentado notablemente la eficiencia en los diseños así como la agilidad en los cálculos.

La mecánica de fluidos computacional o CFD (computer fluid dynamics) es una rama de la mecánica de fluidos en la que se emplean diferentes métodos numéricos y algoritmos para el análisis y resolución de diferentes problemas sobre flujos, por desgracia pese al uso de ordenadores de gran potencia y ecuaciones simplificadas, solo se pueden alcanzar resultados que aunque cercanos a la realidad, no dejan de ser aproximaciones en muchos casos. El funcionamiento básico consiste en la división del espacio de trabajo en pequeños volúmenes de control, a esta división se le denomina mallado y después del mismo se pasa a la resolución de cada uno de ellos mediante las ecuaciones de conservación, de esta manera lo que se consigue es la resolución iterativa de una matriz algebraica de cada una de las celdas hasta que el residuo es lo suficientemente pequeño.

El criterio escogido como principal en el análisis de CFD de este proyecto es el de las pérdidas de carga, en el mismo de lo que se trata es de la minimización de las pérdidas de energía a las que se ve sometido un flujo hidráulico en su transcurso a lo largo de la conducción debido al rozamiento.

Las pérdidas de presión pueden ser de dos tipos, continuas, a lo largo de conducciones regulares, debidas al rozamiento, o localizadas, generadas por elementos particulares como válvulas, estrechamientos algún cambio de dirección, etc.

Siempre y cuando el flujo sea uniforme, es decir, la sección de paso sea constante, y por tanto lo sea también la velocidad del fluido, la ecuación de Bernoulli entre dos puntos puede definirse como:

$$y_1 + \frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} = y_2 + \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + \Sigma\lambda$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad;

y_i = altura geométrica del punto de estudio;

P_i = presión absoluta en el punto de estudio;

ρ = densidad del fluido;

v_i = velocidad del fluid;

$\Sigma\lambda$ = pérdida de carga;

La pérdida de carga a su vez puede definirse como $\Sigma\lambda = J * L$, siendo L la distancia que separa las dos secciones estudiadas 1 y 2; y J la pendiente piezométrica, valor que ha sido determinado empíricamente para los diferentes materiales, y que es función además de la velocidad del fluido, la viscosidad, la rugosidad y el radio hidráulico (cociente entre el área mojada y el perímetro mojado

$$R = \frac{A}{p}.$$

Además de las debidas al rozamiento, están las que se originan en determinados puntos concretos de las canalizaciones, son las denominadas pérdidas de carga particulares o singulares y que se originan por fenómenos de turbulencia.

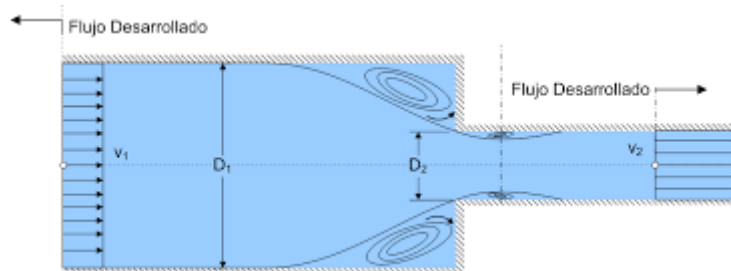


Figura 2: Turbulencias generadas en un estrechamiento. Fuente www.unav.es

A lo largo de este proyecto se han empleado diversas geometrías cuyo objetivo principal ha sido el de generar ciertas pérdidas de carga particulares que aseguren la turbulencia que propicie la mezcla de los diferentes tipos de agua de los que se ha hecho el estudio, se ha tratado por tanto de

buscar el equilibrio entre las mínimas pérdidas particulares que propicien la concentración necesaria y que no disminuyan en exceso la eficiencia energética. En la actualidad es imprescindible un exhaustivo control de los costes energéticos de cualquier tipo de instalación ya sea hidráulica o de cualquier otro tipo, el constante crecimiento demográfico, el agotamiento paulatino de los recursos naturales así como el continuo desarrollo económico a nivel mundial indican que el coste de las energías irá aumentando con el paso de los años y es por tanto un tema importante a tratar, no debemos olvidar que las pérdidas de carga no son ni más ni menos que pérdidas de energía y han de ser tratadas por tanto no solo desde el punto de vista del funcionamiento adecuado de la instalación ,sino también los factores económicos y medioambientales que estas implican.

1.2. Justificación

La mezcla de fluidos de la manera más eficiente es una preocupación que no solamente existe en el ámbito de la mezcla de aguas, existen innumerables casos en los que es innegable la importancia de encontrar las circunstancias óptimas para dicha mezcla, pongamos como ejemplo el caso de una industria alimenticia en la que han de mezclarse diferentes fluidos como pueda ser leche y sirope, en este caso queda claro que la mezcla sería mucho más complicada debido principalmente a una diferente viscosidad , mucho más elevada a la del agua en el caso del sirope, y que no podría abordarse simplemente con un diseño óptimo de arqueta, pero si podríamos llegar a conseguir un ahorro en material premezclando ambos fluidos lo mejor posible ,optando de esta manera a poder adquirir un elemento de mezcla de menor capacidad, o un motor eléctrico de menor potencia, con el consecuente ahorro energético e inversión inicial. Este ha sido el principal planteamiento a la hora de abordar este proyecto, la relación existente entre unas necesarias pérdidas de carga y la consecuente mezcla de los fluidos de estudio, además se ha tratado a lo largo del mismo de enfocarlo de la manera más independiente entre los diferentes propuestos para de esta manera, cualquier modificación que se produjera en cualquiera de ellos no acarrearía un cambio generalizado en toda una arqueta u otras partes del proyecto.

El espíritu de este trabajo también ha sido el de justificar de una manera simplificada pero clara el por qué se han empleado los diferentes modelos de estudio , así como parte del funcionamiento del programa de trabajo , ANSYS, este programa resulta ser una ayuda fundamental en el diseño no solo en el campo de la mecánica de fluidos, es una herramienta de grandísima potencia capaz de hacer estudios también de resistencia de materiales ,electromagnetismo ,eléctricos o de cálculos de estructuras, por tanto el aprendizaje y control de este tipo de programa de cálculo es algo mucho más que recomendable para ingenieros de casi cualquier ámbito técnico .

A pesar de que en el programa empleado existe un módulo de creación de geometrías tanto en 2D como 3D , las geometrías empleadas para el estudio no han sido producidas con el mismo, ha sido empleado un programa especializado en 3D como es el Autodesk Inventor, este programa está muy reconocido a nivel técnico por sus grandes capacidades , simplicidad en el empleo y sus muchas compatibilidades con otro programas de cálculo, resulta por tanto una buena práctica para muchos campos de trabajo el uso de esta herramienta de trabajo.

Cabe añadir también que todo lo mencionado hace concluir que seremos capaces de poder realizar las modificaciones que se requieran para los diferentes propuestos recogidos a lo largo del proyecto, añadiendo diferentes condiciones, nuevas características o simplemente variando los caudales a los que queremos realizar el estudio, podremos prever el comportamiento de la instalación sin incurrir en las consecuencias materiales que de las mismas pudieran derivarse, quede patente por tanto el gran ahorro tanto de tiempo como de recursos económicos que se produce por el hecho de realizar una simulación por ordenador y no como se ha ido haciendo como hasta hace poco tiempo, con incontables horas de trabajo, engorrosos cálculos e iteraciones de los diferentes modelos hidráulicos existentes así como la fabricación de pequeñas maquetas a escala o modelos que ayudasen a comprobar la certeza de los resultados obtenidos previamente .

1.3. Objetivos

El objetivo como se ha ido exponiendo hasta ahora es el del estudio de la correlación existente entre la concentración deseada y las pérdidas de carga, no debemos olvidar que la concentración no debe alcanzarse a distancias muy grandes de la arqueta y que deberemos optimizar la distancia a la que colocamos la sonda de conductividad que registre el valor de la conductividad del agua, método seleccionado para el cálculo de la salinidad en el agua, el caso de estudio ,como se expondrá en el apartado de 2. Definición del problema, versará acerca del rediseño de las arquetas ya construidas en un esquema aleatorio para su mayor optimización y control de las mismas.

Se calcularán por tanto entre tres y cuatro propuestas para cada una de las tres arquetas definidas , cada una de esas tres arquetas tiene unas características diferentes de las demás, diferentes números de entradas y salidas así como las restricciones de tamaño y forma que pueden tomar las propuestas, al final del proyecto se mostrarán las elecciones óptimas que se emplearan en la fabricación de las nuevas arquetas constructivas, así como la distancia a la que se producirá la mezcla definitiva y las pérdidas de energía que se dan con dicha selección.

El objetivo final por tanto de este proyecto es diseñar las arquetas de mezcla que mediante su geometría sean capaces de alcanzar la concentración objetivo deseada en los puntos de consumo, en este caso dos centros de población y distintas zonas de cultivo del sur de España, esta ubicación hace imprescindible que el tratamiento del agua sea lo más eficiente posible al darse frecuentes sequías y faltas en el abastecimiento tanto agrícola como de consumo humano.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

A continuación pasamos a presentar los datos iniciales de los que se han partido en este proyecto, los requerimientos que se han hecho así como las condiciones de trabajo con las que se ha trabajado a lo largo del mismo.

En primer lugar pasaremos a presentar el ya nombrado esquema hidráulico y los planos de las arquetas constructivas, en los planos de las mismas deben observarse las medidas tanto de las canalizaciones de entrada como de salida así como los diferentes orígenes de las aguas con la que se ha trabajado.

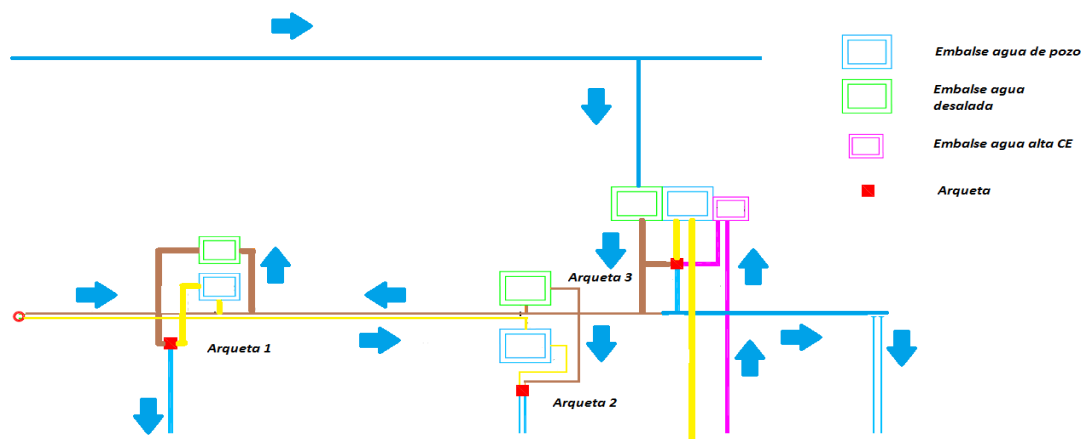


Figura 3: Esquema hidráulico.

Diseño de las arquetas de mezcla instaladas a la salida de una desaladora mediante técnicas CFD

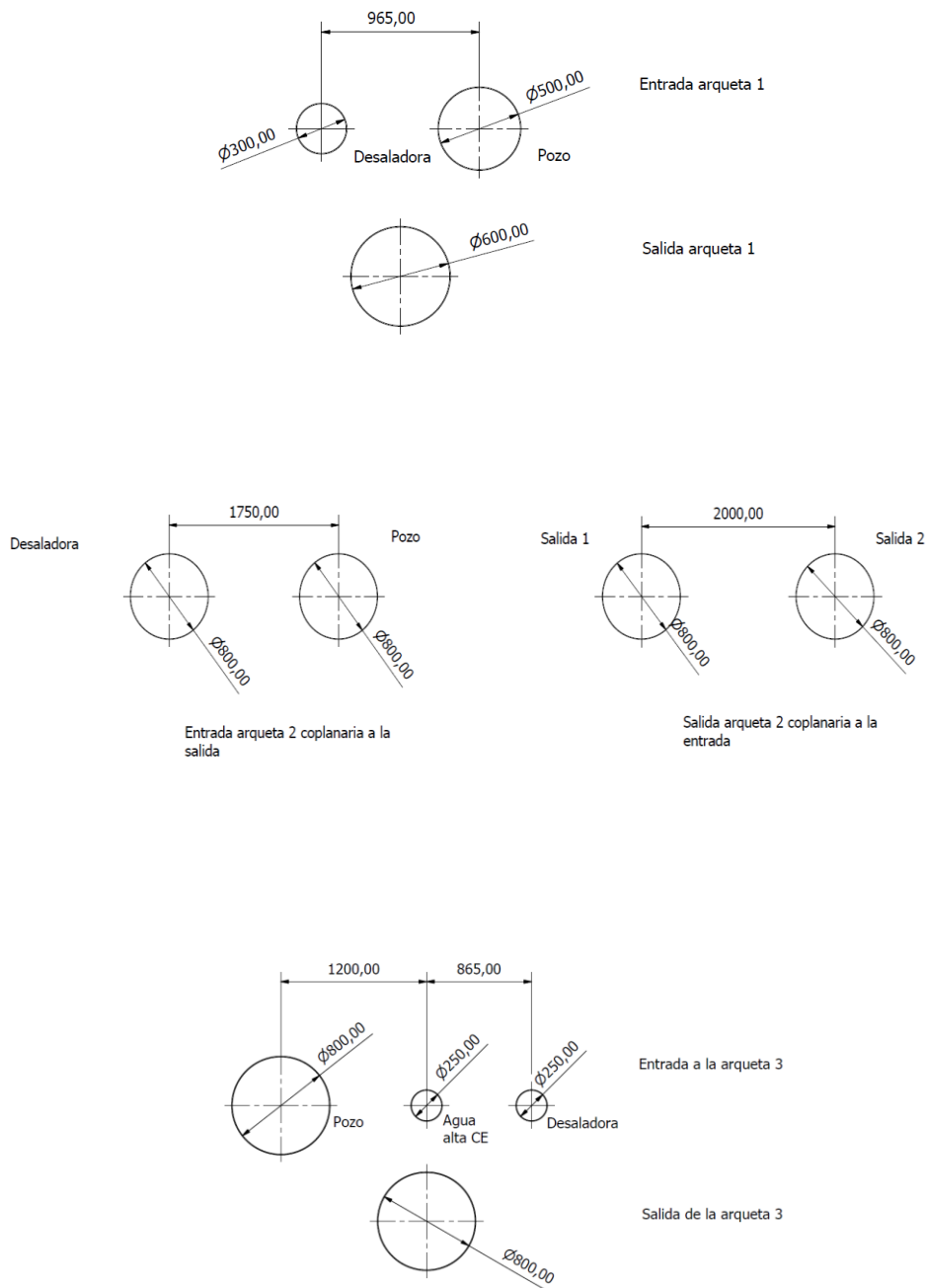


Figura 4: Superior: Arqueta constructiva 1. Medio: Arqueta constructiva 2 .Inferior: Arqueta constructiva 3.

Como pueden observarse existen distintas restricciones en las arquetas constructivas posibles, al existir diferentes dimensiones para las entradas y salidas, deberemos tener en cuenta por tanto que los diferentes caudales empleados se comportaran de manera diferente ,por ejemplo, frente a un estrechamiento o un ensanchamiento , obsérvese también que las formas que deberán tomar las

mismas mediante cambios de plano ocasionara distintas pérdidas de energía que deberán valorarse si son necesarias para la obtención de la concentración objetivo o si realmente no aportan gran diferencia en nuestro objetivo.

A lo largo del proyecto se han considerado diferentes caudales posibles para cada una de las entradas y salidas de las arquetas, se han considerado en total cuatro caudales para cada una de ellas, de esta manera, los caudales Q1 y Q3 son los caudales a los que trabajaría la instalación en sus máximas exigencias y para comprobar también los caudales típicos a los que trabajaría la instalación, se han calculado los caudales Q2 y Q4, que resultarán ser el 40% de los caudales anteriores.

Q1	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	129.3 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	194 l/s
Q2(0.4*Q1)	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	51.72 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	77.6 l/s
Q3	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	80.8 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	242.5 l/s
Q4(0.4*Q3)	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	32.32 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	97 l/s

Tabla 1 Caudales Arqueta 1.

Q1	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	491.2 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	736.8 l/s
Q2(0.4*Q1)	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	196.48 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	294.72 l/s
Q3	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	307 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	920.9 l/s
Q4(0.4*Q3)	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	122.8 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	368.36 l/s

Tabla 2 Caudales arqueta 2.

Diseño de las arquetas de mezcla instaladas a la salida de una desaladora mediante técnicas CFD

Q1	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	184 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	275.9 l/s
	$Q_{\text{Agua Alta C.E}}$	0
Q2(0.4*Q1)	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	73.6 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	110.36 l/s
	$Q_{\text{Agua Alta C.E}}$	0
Q3	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	115 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	275.9 l/s
	$Q_{\text{Agua Alta C.E}}$	50.8 l/s
Q4(0.4*Q3)	$Q_{\text{Agua Desalada}}$	46 l/s
	$Q_{\text{Agua Pozo}}$	110.36 l/s
	$Q_{\text{Agua Alta C.E}}$	20.32 l/s

Tabla 3 Caudales arqueta 3.

3. MODELOS DE CÁLCULO.

3.1. Procedimiento.

Los pasos seguidos para la realización de este proyecto se han iniciado con la elaboración de las geometrías mediante herramientas de diseño en 3D, Autodesk Inventor, para el diseño de las mismas se han respetado ante todo las medidas aportadas en los planos aportados, tratando siempre de optimizar la relación pérdidas de carga-concentración final obtenida, pero también buscando que la mezcla objetivo se alcanzara lo más pronto posible.

A continuación se han simulado los distintos escenarios de cálculo, en total 30 escenarios, esto se ha realizado con herramientas CFD, el procedimiento seguido en los mismos ha sido igual para cada uno de ellos, se comienza importando la geometría, se realiza el estudio de malla y finalmente se simula la propuesta con la malla definitiva mediante el módulo de cálculo, todos estos pasos serán descritos en detalle más adelante.

Finalmente se ha pasado a comparar las distintas propuestas entre ellas para tratar de discernir cuáles serán las elegidas de manera definitiva, a la hora de comparar las propuestas se ha estudiado para las arquetas 1 y 3 la concentración obtenida longitudinalmente a lo largo de la tubería de salida tanto en el centro como a una distancia de 100 mm de la periferia, esta última medida se ha tenido en cuenta la intención de simular la distancia de la pared de la tubería a la que se situaría la sonda de medida de la conductividad con la que se chequeará la concentración del agua. En lo referente a la arqueta 2 se han tomado los valores de concentración media alcanzada a las salidas de la arqueta.

3.2. Propuestas estudiadas.

Para el diseño geométrico de todas y cada una de las geometrías se han respetado las diferentes restricciones dimensionales impuestas por el esquema hidráulico así como el número tanto de entradas como de salidas que se dan en las diferentes arquetas. Puede observarse en la definición del problema como para la primera arqueta se deberá contar con dos entradas y solamente una salida, dos entradas y dos salidas para la arqueta 2 y tres entradas y un sola salida en el caso de la tercera y última arqueta.

3.2.1 Arqueta 1.

Para la primera propuesta de esta arqueta se ha tratado de diseñar la arqueta más sencilla posible, para ello se han creado las diferentes entradas y salidas así como una cámara de mezcla en la que se puedan encontrar los diferentes tipos de agua del estudio, para la segunda propuesta, continuando con la ideología de la primera, se ha estudiado la posible mejora de un aumento dimensional en la denominada cámara de mezcla.

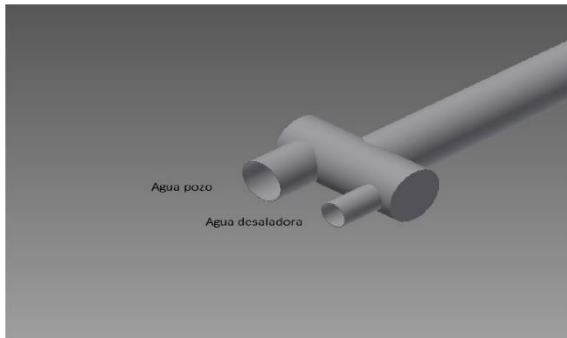


Figura 5: Arqueta 1 propuesta 1.

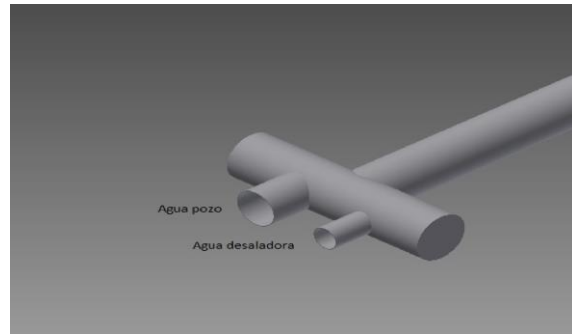


Figura 6: Arqueta 1 propuesta 2.

Para las propuestas tercera y cuarta de lo que se ha tratado en esencia es de enfrentar los diferentes caudales sin la necesidad de la ya nombrada cámara de combustión, para ello, en la propuesta tercera se han unido en ángulo recto las distintas entradas mediante un estrechamiento de la entrada de agua de pozo y un ensanchamiento hasta alcanzar la medida necesaria a la salida de la arqueta.

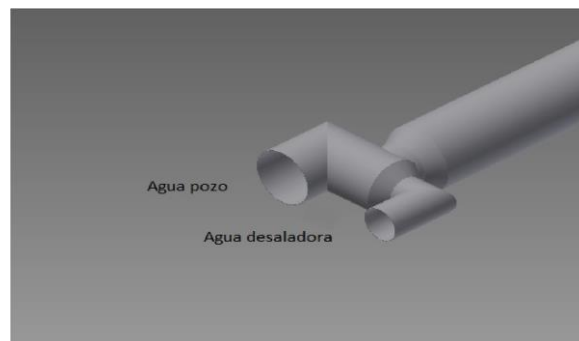


Figura 7: Arqueta 1 propuesta 3.

Para la última propuesta se ha ideado en ángulo, con la introducción de la canalización de agua de pozo en el interior de la de agua de pozo lo que se busca es que mediante el ángulo necesario se produzca la suficiente turbulencia en el interior de la canalización de agua de pozo para que pueda alcanzarse la concentración adecuada, a continuación se puede visualizar una imagen de dicha propuesta.

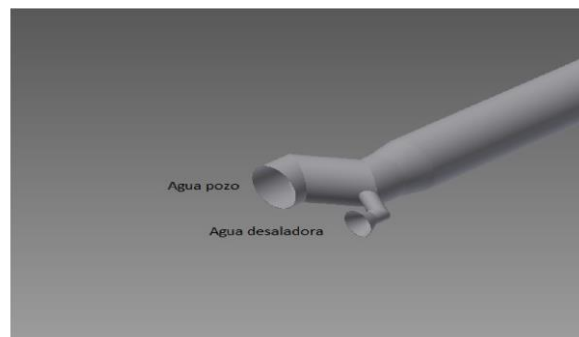


Figura 8: Arqueta 1 propuesta 4.

3.2.2 Arqueta 2.

En la primera propuesta se ha diseñado una canalización simple que comunique tanto las entradas como las salidas, es por tanto una tubería simple en el plano horizontal.

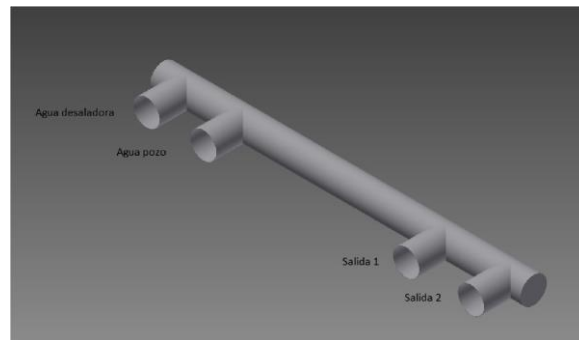


Figura 9: Arqueta 2 propuesta 1.

Para las siguientes propuestas se ha introducido un cambio de plano, la idea de esto se basa en generar las suficientes turbulencias en el cambio de plano para que se produzca la necesaria concentración, la diferencia fundamental entre ambas propuestas, segunda y tercera, se basa en producir dicho cambio de plano en ángulo recto o en arco, de esta manera se busca conseguir disminuir en la medida de lo posible las pérdidas de carga en los codos en ángulo recto y hacer el paso lo más gradual posible.

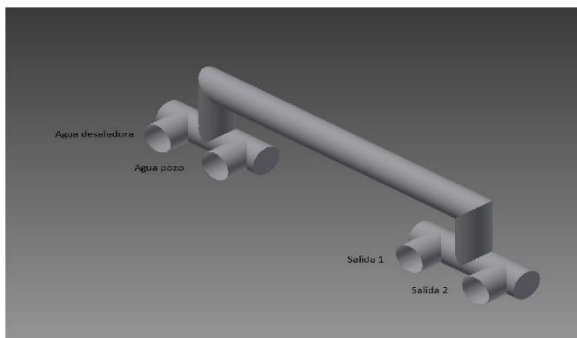


Figura 10 : Arqueta 2 propuesta 2.

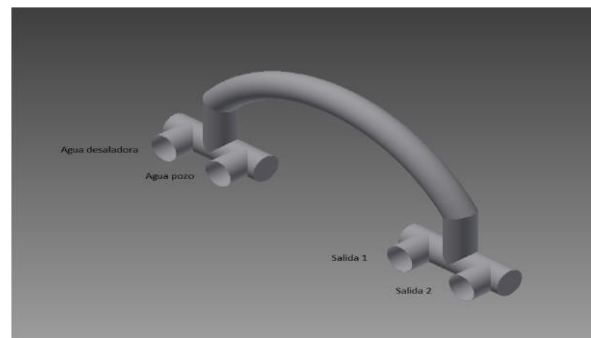


Figura 11: Arqueta 2 propuesta 3.

3.2.3 Arqueta 3.

En esta arqueta la primera y segunda geometría propuestas son idénticas en todos sus dimensiones excepto en las entradas, en las mismas se han introducido en la segunda propuesta unos estrechamientos de la canalización para de esta manera acelerar el fluido y que se produzcan mayores turbulencias, por el contrario, en la primera propuesta las entradas son sencillas canalizaciones horizontales sin cambio de diámetro en ninguno de sus puntos. El objetivo de estas propuestas es estudiar cómo afecta a las turbulencias el hecho de acelerar el fluido y en qué medida favorece este hecho la mezcla de las aguas estudiadas. Se muestran a continuación las dos propuestas para su estudio.

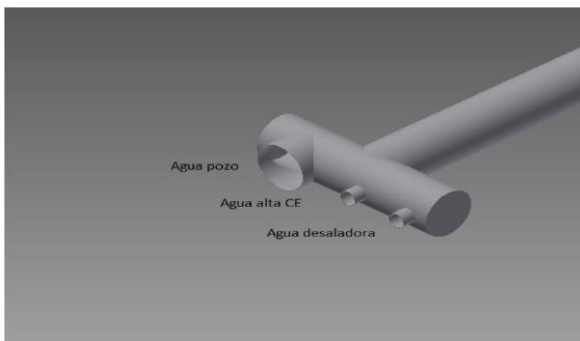


Figura 12: Arqueta 3 propuesta 1.

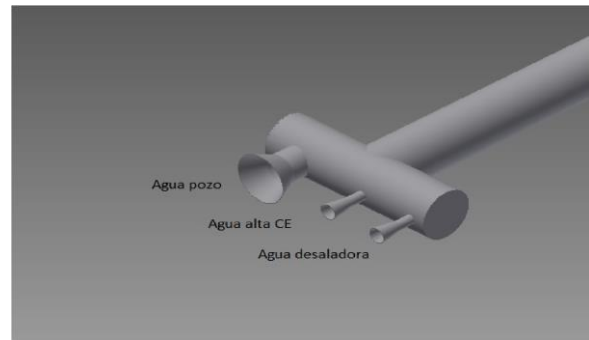


Figura 13: Arqueta 3 propuesta 2.

Para la última propuesta se ha diseñado una arqueta de cierta complejidad, en ella se pueden observar cómo se producen distintos cambios de plano a través de las canalizaciones de entrada hasta encontrarse en una cámara de mezcla, dos de las entradas se realizan por la parte superior y la tercera de ellas por la parte inferior de dicha cámara, el objetivo de esto es introducir los 3 tipos de agua en la cámara pero de manera que los flujos sean lo más opuestos entre ellos para mejorar de esta manera la mezcla, se ha diseñado de tal manera que la entrada del agua de pozo sea opuesta a la de desaladora o alta CE para de esta manera compensar la diferencia de caudal existente entre la entrada de agua de pozo y las demás.

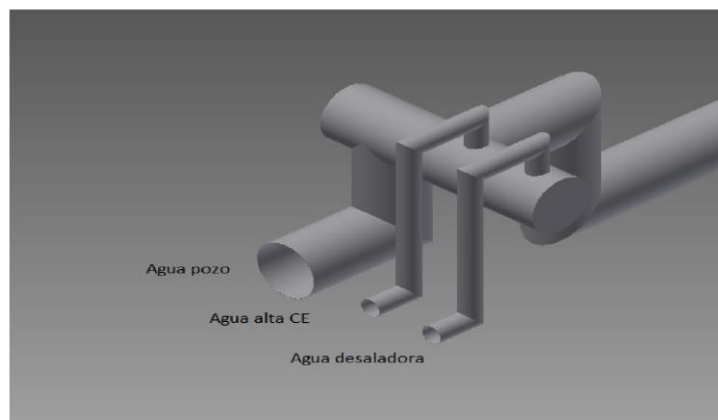


Figura 14: Arqueta 3 propuesta 3.

3.3. Estudio de malla

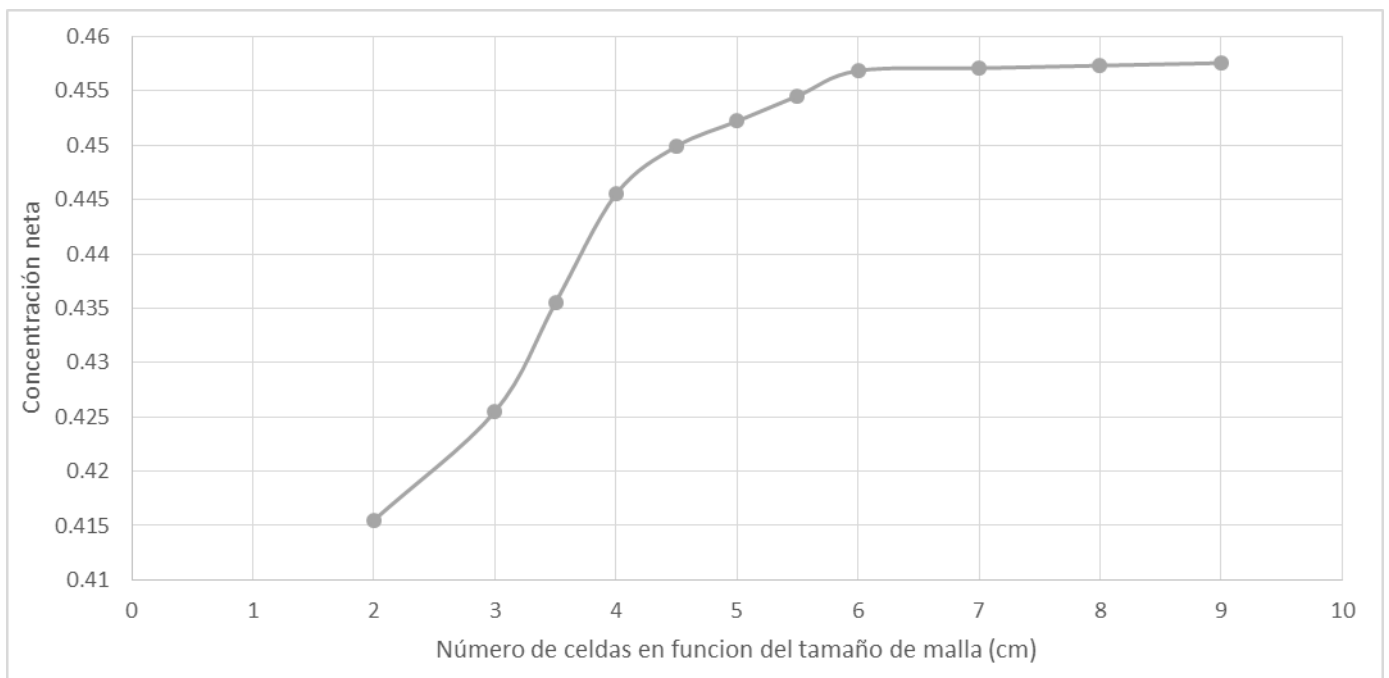
El estudio de malla se trata de un proceso iterativo basado en encontrar cual será el tamaño de malla óptimo para nuestro proyecto, de tal manera que el error sea mínimo.

Los errores más comunes en el estudio de malla se deben generalmente al tamaño y a la forma que adoptan cada uno de los volúmenes de control que componen la denominada malla, de esta manera, elegir un tamaño de malla variable en muchas ocasiones será lo más adecuado, con una malla más fina en zonas críticas o un mallado más grueso en zonas en las que por sus características no sea necesaria una especial atención.

Además del tamaño, de gran importancia, hay que prestar también atención a la forma que adoptara el mallado se pueden realizar los cálculos con una mallado en 2D o en 3D pero a la vez tendrá que elegirse también entre opciones como malla en forma de prismas , hexaedros, cuadriláteros, etc.

De esta manera, este proceso se resume en valorar en función de una magnitud cual será el tamaño de malla con una mejor relación entre un tamaño mínimo que ofrezca resultados fidedignos y un tamaño lo suficientemente grande para que el tiempo de cálculo no sea excesivamente prolongado.

El proceso seguido a lo largo de este proyecto se ha basado en una comparación entre la concentración neta a la salida de la arqueta frente al tamaño de malla en centímetros, la idea básica de este procedimiento se basa en que conforme vayamos aumentando el tamaño de malla la falta de exactitud que se irá produciendo por dicho incremento irá aumentando hasta equilibrarse, se ha seleccionado para todas y cada una de las geometrías estudiadas en este proyecto el tamaño de malla que comience la denominada zona de equilibrio para de esta manera obtener el tamaño de malla más pequeño que cuente con un error de exactitud admisible.



Gráfica 1: Concentración neta contra tamaño de malla, propuesta 2 arqueta 2.

Como puede apreciarse en la Gráfica 1, existe una zona de crecimiento en la que existe una variación de concentración creciente desde los 2 cm hasta los 6 cm (tamaño seleccionado como tamaño final de malla) y posteriormente se equilibra casi horizontalmente, cabe añadir que la variación en cuanto a concentración se refiere desde los 2 cm (0.4155) hasta el valor de 6 cm (0.45686) supone un error completamente asumible para los cálculos que deberán abordarse a lo largo del trabajo.

El mallado predeterminado en el caso que se aborda es perfectamente adecuado para los requisitos con los que debemos trabajar, al tratarse de geometrías con relativa sencillez, sin zonas críticas o de diferentes características, se podrá optar por tanto por el mallado predeterminado, con un tamaño constante para todas y cada una de las geometrías del proyecto.

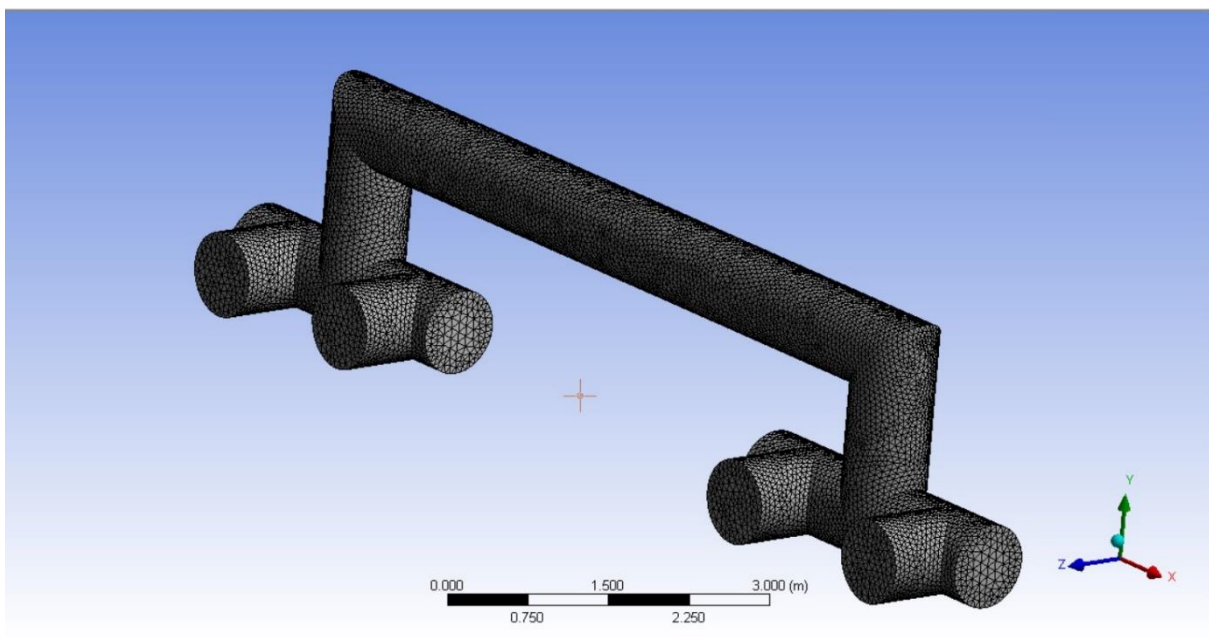


Figura 15: Mallado definitivo arqueta 2 propuesta 2.

Para comprobar la calidad de la malla empleada pueden observarse diferentes parámetros o marcadores de calidad que pueden extraerse de la herramienta de mallado del software de cálculo empleado, dichos parámetros son:

- Skewness (asimetría), este valor representa la diferencia entre el tamaño adoptado por la celda con su tamaño ideal. Es un indicador de calidad e idoneidad en lo referente a la malla, sus valores van del 0 al 1, siendo 0 el valor tomado para una asimetría nula y 1 para una asimetría total. Tomar una malla con un valor de asimetría demasiado elevado puede provocar que se incurran en errores de cálculo o dejar sin solución posible dicho modelo. A continuación se muestra la fórmula con la que se calcula la asimetría y una tabla con los valores representativos de cada calidad en función del valor de la asimetría:

$$Skewness = \frac{\text{Tamaño ideal de la celda} - \text{tamaño de la celda}}{\text{Tamaño ideal de la celda}}$$

Skewness	Calidad de la malla
0-0.25	Excelente
0.25-0.5	Buena
0.5-0.8	Aceptable
0.8-0.95	Pobre
0.95-0.99	Inadecuada
0.99-1	Deteriorada

Tabla 4: Calidad de malla en función de la asimetría.

3.4. Comparación modelos de turbulencia.

El modelo K épsilon se trata de uno de los modelos más comunes de turbulencia, en el que se incluyen ecuaciones adicionales para representar las características del flujo turbulento, esto permite contar con los efectos de la difusión energética turbulenta así como los efectos de la convección. Las variables que se manejan son la disipación turbulenta E, la cual determina la magnitud de la turbulencia y la energía cinética K.

Es un modelo de gran popularidad en el sector industrial gracias a su razonable precisión en una amplia gama de flujos turbulentos así como de transferencia de calor. Se trata del modelo más simple de turbulencia pues solo se le han de introducir condiciones iniciales y/o de contorno. Ha sido diseñado explícitamente para flujos de recirculación así como para flujos confinados donde las tensiones tangenciales de Reynolds son de mayor importancia.

El modelo k-épsilon realizable es un modelo de reciente formulación que difiere del k-epsilon estándar en dos cuestiones, el realizable contiene una nueva formulación para tanto para la viscosidad como para la velocidad de disipación, supone una mejora en flujos de rotación, capas límite bajo altos gradientes de presión y recirculación.

El modelo k-épsilon RNG, es un modelo que en su publicación supuso una gran revolución matemática, sin embargo, con el paso del tiempo ha ido perdiendo gran parte de su importancia pese a sus características. Este modelo ha supuesto una notable mejora en la predicción de modelos de flujos rotativos pero apenas ha demostrado mucha mejora respecto al modelo estándar en cuanto a evolución de vórtices, es un modelo que se emplea en gran medida en simulaciones de aire en espacios cerrados.

A continuación presentamos la relación obtenida de los resultados en los 3 diferentes modelos estudiados. Como puede observarse los resultados obtenidos para la concentración en este caso son casi inapreciables. Sin embargo, en cuanto a las presiones netas, se observa una modificación en los resultados obtenidos al emplear distintos modelos de interacción con las paredes.

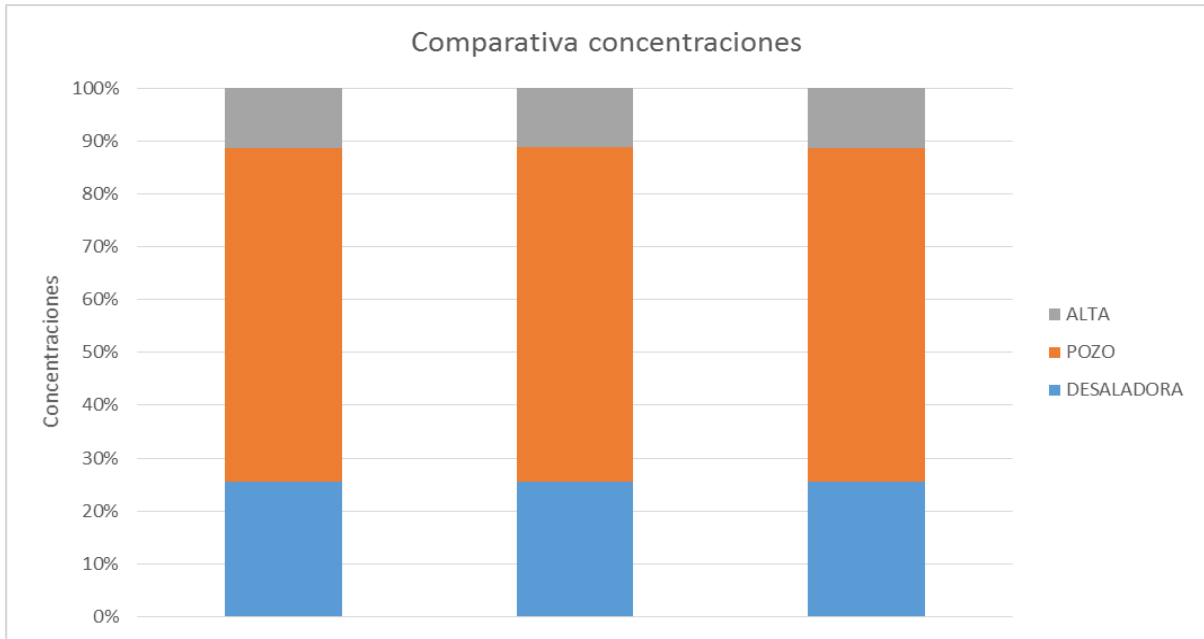


Figura 16: Comparativa de concentraciones en los distintos modelos de turbulencia.

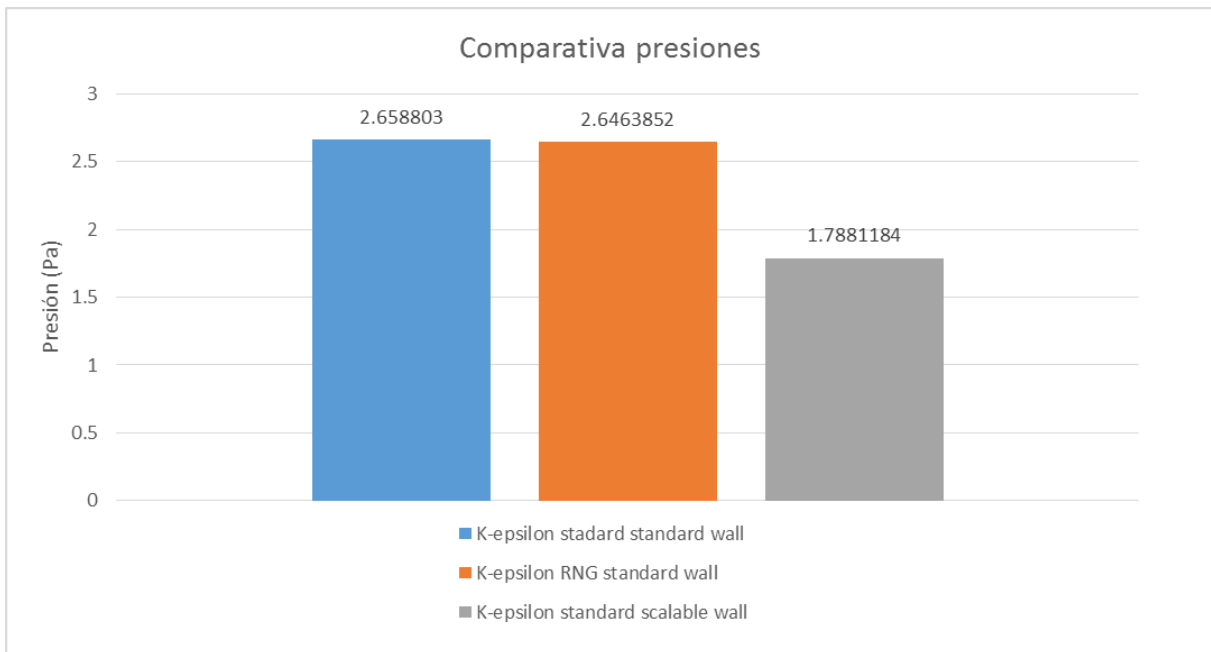


Figura 17: Comparativa de presiones en los distintos modelos de turbulencia.

En vista de los resultados y teniendo en cuenta la definición y el tipo de problema para los que fueron creados los distintos modelos de cálculo, a lo largo de este documento se optará por el modelo K-epsilon estándar con tratamiento estándar de las paredes, queda justificado al observarse la escasa diferencia existente en los resultados obtenidos frente al modelo RNG y tratándose además del modelo de mayor simplicidad y con las características óptimas para el estudio que se aborda en este proyecto.

4. RESULTADOS

4.1. Concentraciones estequiométricas.

Inicialmente se han pasado a calcular las distintas concentraciones estequiométricas, estas se han empleado para comprobar la proporción en que se mezclan los distintos tipos de agua en base a los caudales de entrada y de esta manera conocer la proporción a la salida de las mismas.

La fórmula con la que se ha calculado la concentración ha sido:

$$X_i = \frac{Q_i}{\sum Q_j}$$

Donde:

X_i = Concentración estequiométrica para el caudal Q_i .

Q= Caudal de entrada.

	Arqueta 1	Arqueta 2	Arqueta 3	
	X_1	X_1	X_1	X_2
Q1	0.4	0.4	0.4	0.6
Q2	0.4	0.4	0.4	0.6
Q3	0.25	0.25	0.26	0.62
Q4	0.25	0.25	0.26	0.62

Tabla 5: Concentraciones estequiométricas.

Como ya se ha comentado anteriormente la concentración ha sido calculada tanto en la periferia de la tubería, a 100 mm de la superficie de la misma, y en la línea central, a continuación se presentarán las gráficas que se han empleado a modo comparativo entre las distintas propuestas de cada una de las arquetas, y más adelante, en apartados posteriores se adjuntan imágenes en las que se pueden observar la evolución de las concentraciones a lo largo de la tubería.

Como se puede observar, en las gráficas se comparan las distintas propuestas para cada uno de los caudales, el propósito de las mismas es hallar cuál de las propuestas dadas alcanzará la concentración en la menor distancia desde la arqueta, las distancias mostradas en las gráficas se toman desde la salida de la arqueta y a lo largo de la salida longitudinal de la tubería.

4.2. Comparativa Arqueta 1.

Para la comparativa tanto de esta arqueta como de la tercera, se han realizado cálculos tanto en la línea central como a 100 mm de la periferia de la pared, el objetivo de estos últimos es el de recrear la distancia a la que será situada la sonda del conductivímetro y tratar de esta manera de predecir la concentración exacta que este detectará, a continuación se muestra un modelo de cómo podría estar situada dicha sonda y el conductivímetro.

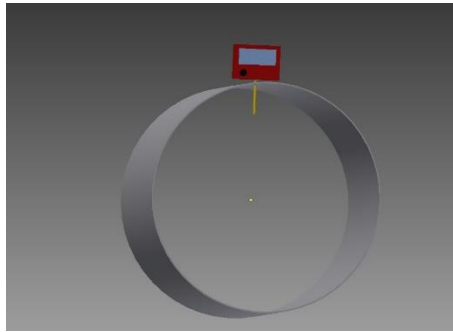
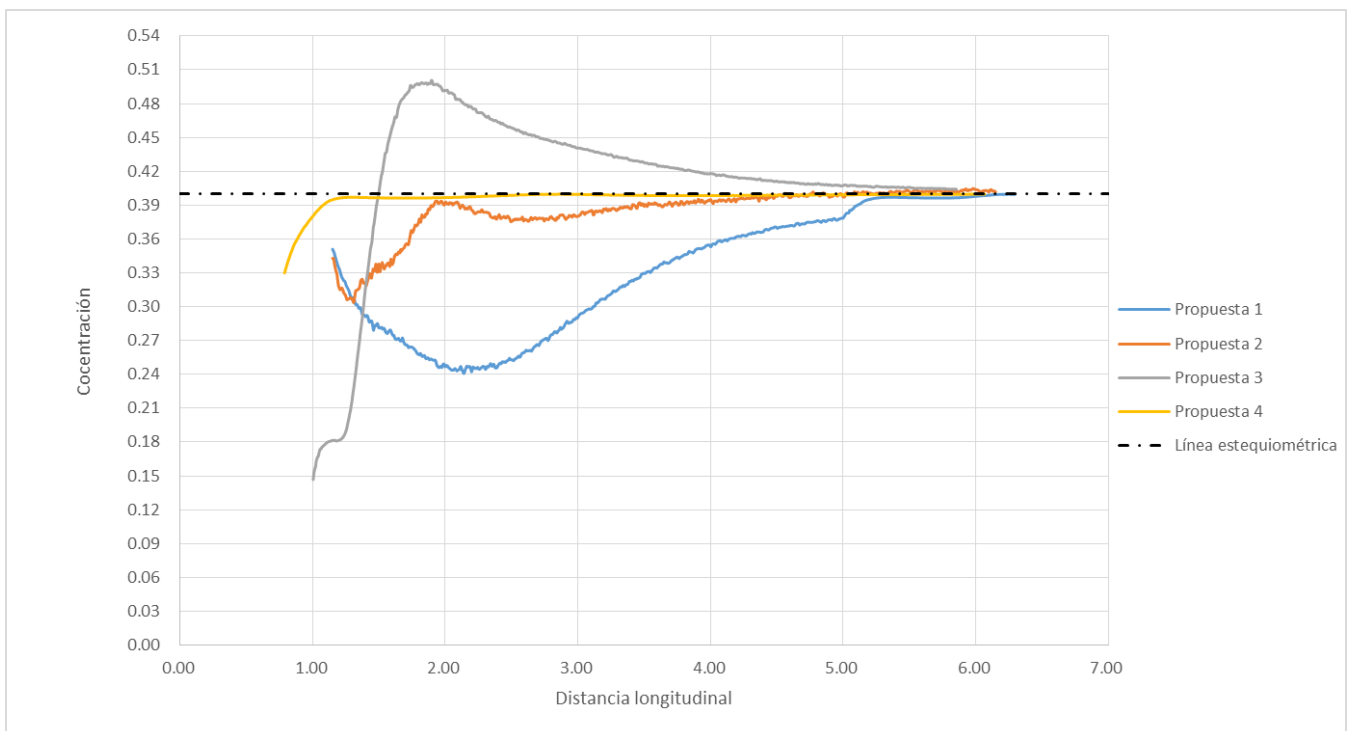


Figura 18: Ejemplo de posible colocación del conductivímetro.

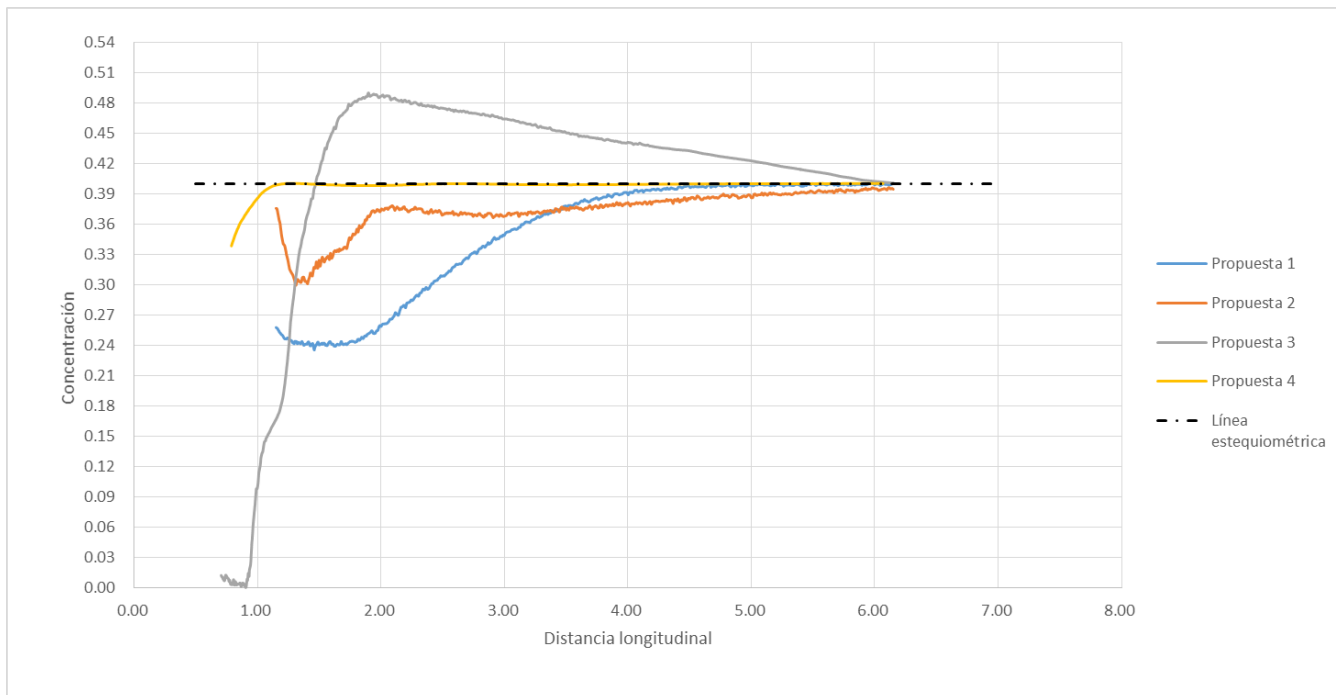
4.2.1 Concentración línea central.

Se presentan a continuación las gráficas correspondientes a las comparativas entre las distintas propuestas en base a los caudales de estudio a lo largo de la línea central.

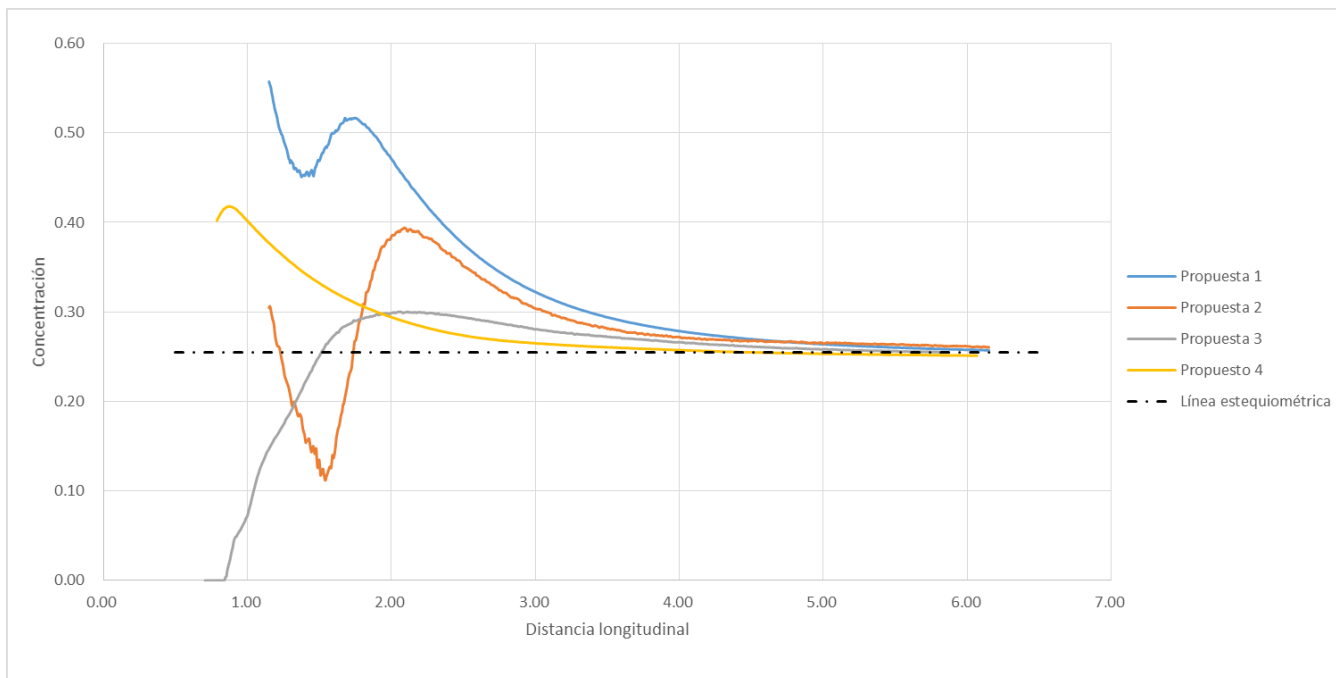


Gráfica 2: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 1.

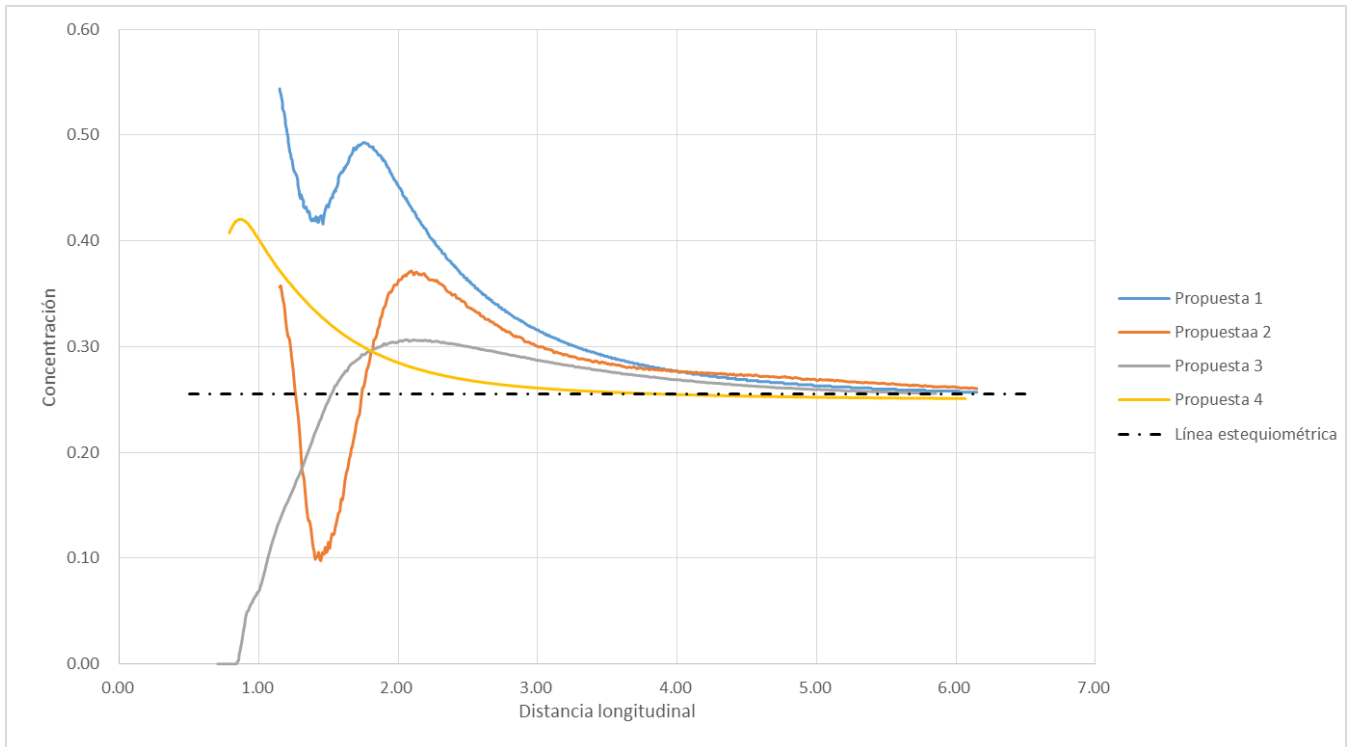
Diseño de las arquetas de mezcla instaladas a la salida de una desaladora mediante técnicas CFD



Gráfica 3: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 2.



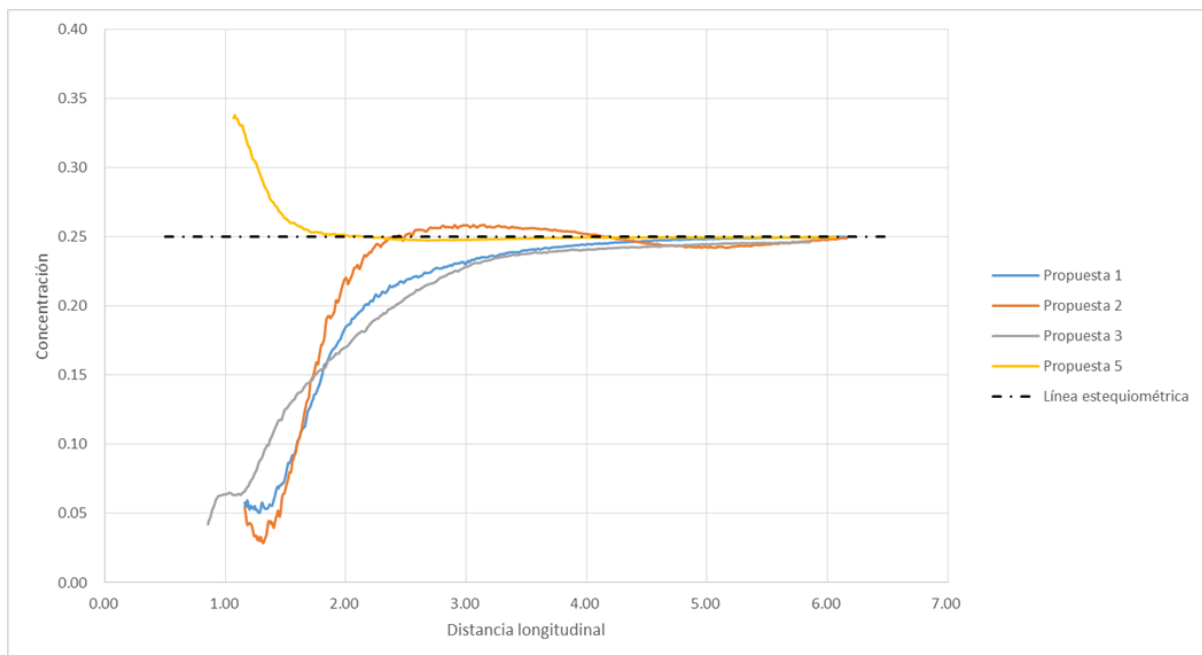
Gráfica 4: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 3.



Gráfica 5: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 4.

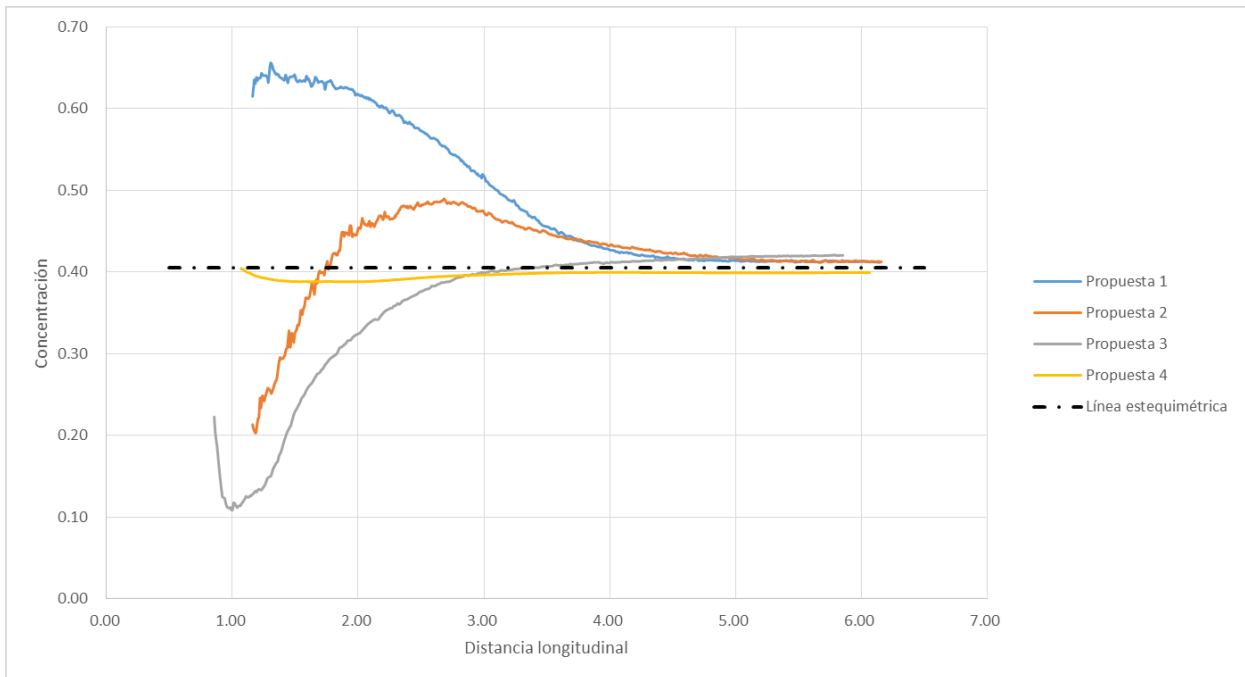
Como puede observarse en estas gráficas, las concentración estequiométrica exacta se produce a distancias medias, de esta manera y siempre del lado de la seguridad y tratando de reducir al máximo el error posible, se han tomado como correctas concentraciones con una tolerancia de ± 0.05 , así pues el error admitido es ínfimo y puede de esta manera preverse correctamente la distancia a la que se deberá colocar el conductivímetro. Para esta arqueta queda garantizada al 100% que a partir de los 5,5 metros será alcanzada la concentración objetivo para los 4 distintos caudales.

4.2.2 Concentración a 100 mm de la pared de la tubería.

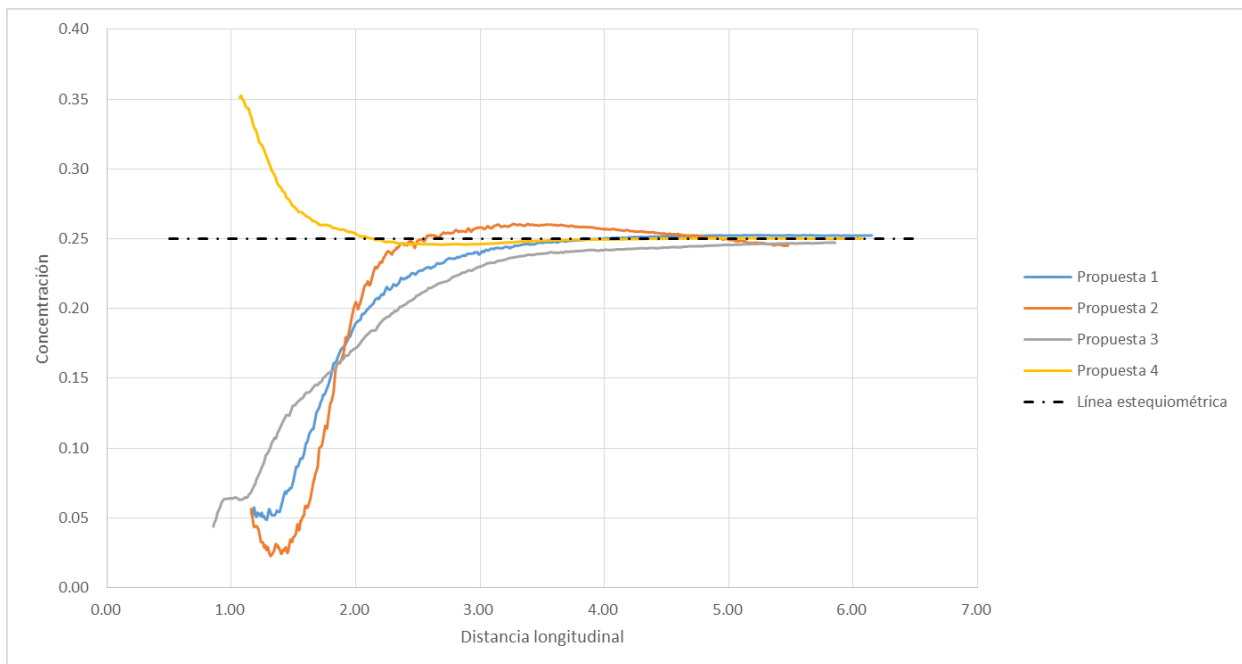


Gráfica 6: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 1.

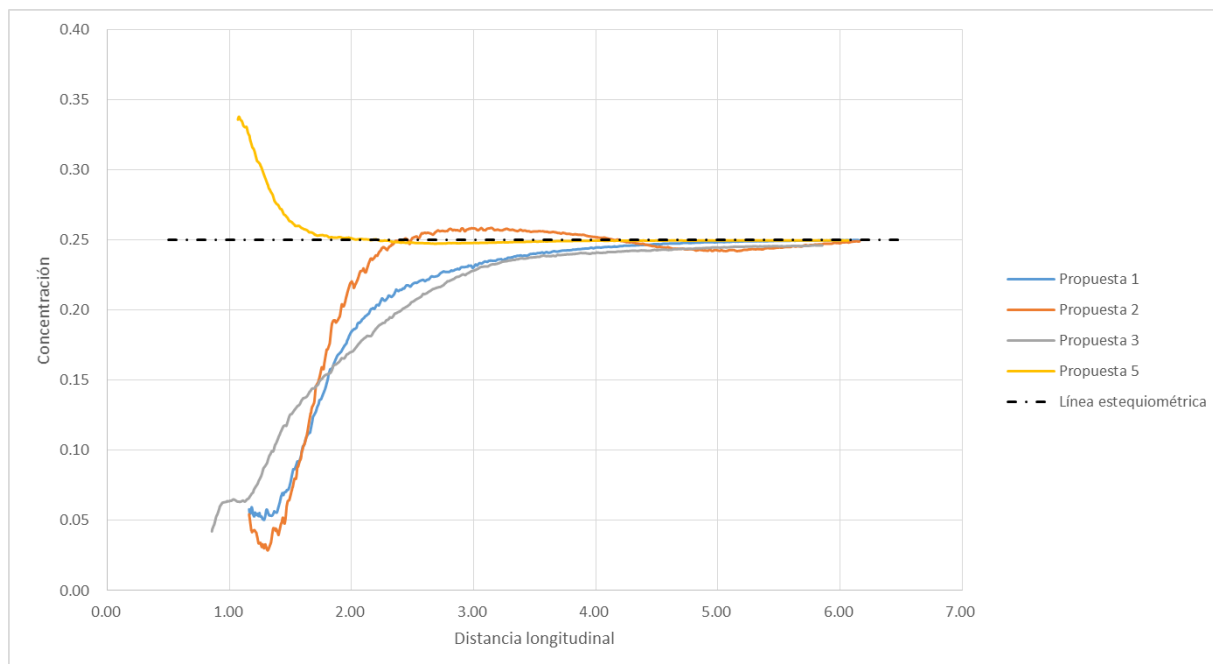
Diseño de las arquetas de mezcla instaladas a la salida de una desaladora mediante técnicas CFD



Gráfica 7: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 2.



Gráfica 8: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 3.



Gráfica 9: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 4.

Puede verse en las gráficas de la seis a la nueve como la concentración objetivo se alcanza en una longitud inferior, eso se debe a que las turbulencia en dicha zona son más fuerte debido al rozamiento del fluido con las paredes, cabe recordar que además de los distintos diseños de propuestas, cambios de plano o de diámetro de tubería, hay que tener muy en cuenta el fenómeno de rozamiento del fluido con la tubería como motivo de pérdida de cara y por tanto fenómeno generador de turbulencias.

4.3. Comparativa arqueta 2.

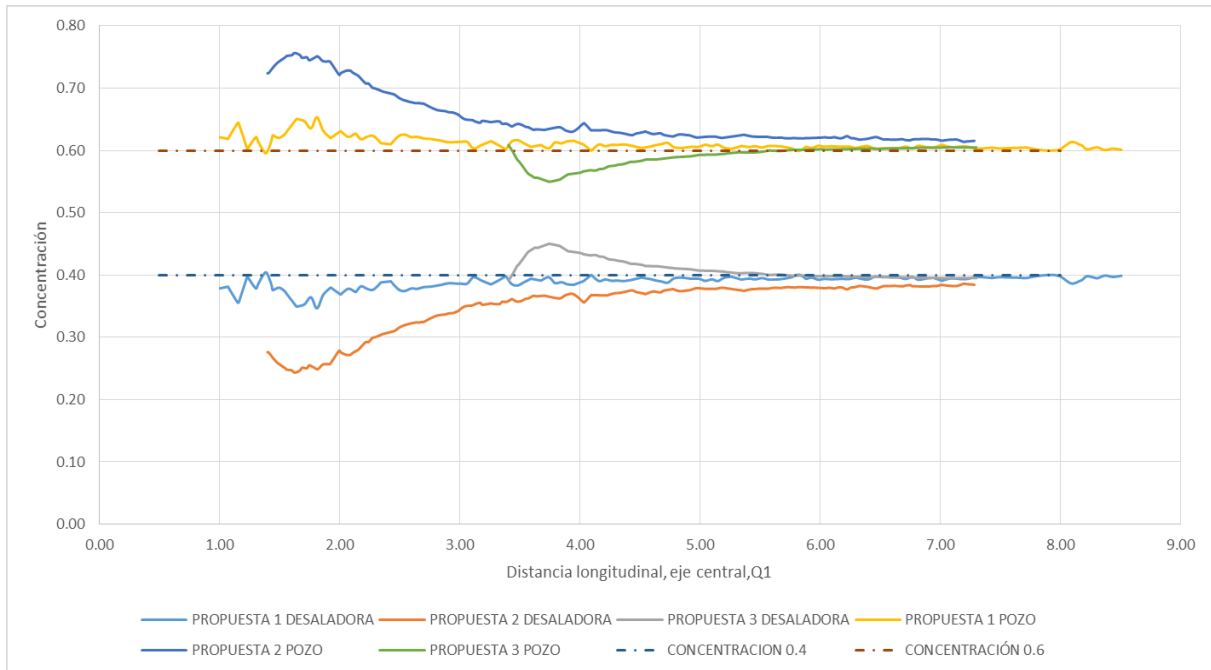
Como ya se había introducido antes, para la comparación de las propuestas de la arqueta 2, solo tendremos en cuenta, además de las pérdidas energéticas intrínsecas de cada geometría, las cuales se encuentran recogidas en apartados posteriores; las concentraciones a las salidas y no a lo largo del eje central de la tubería ni en la periferia, quedan por tanto las concentraciones estequiométricas de las propuestas de la arqueta 2, recogidas a continuación.

	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
	Salida 1	Salida2	Salida1	Salida2	Salida1	Salida2
Q1	0.43458815	0.41479418	0.39789388	0.40148818	0.39408326	0.4050847
Q2	0.42910349	0.42027884	0.39951071	0.39970589	0.39794794	0.40134621
Q3	0.27385417	0.24814583	0.24832951	0.25164938	0.25469711	0.24658398
Q4	0.26465531	0.25734469	0.24905795	0.25105163	0.24988744	0.25088036

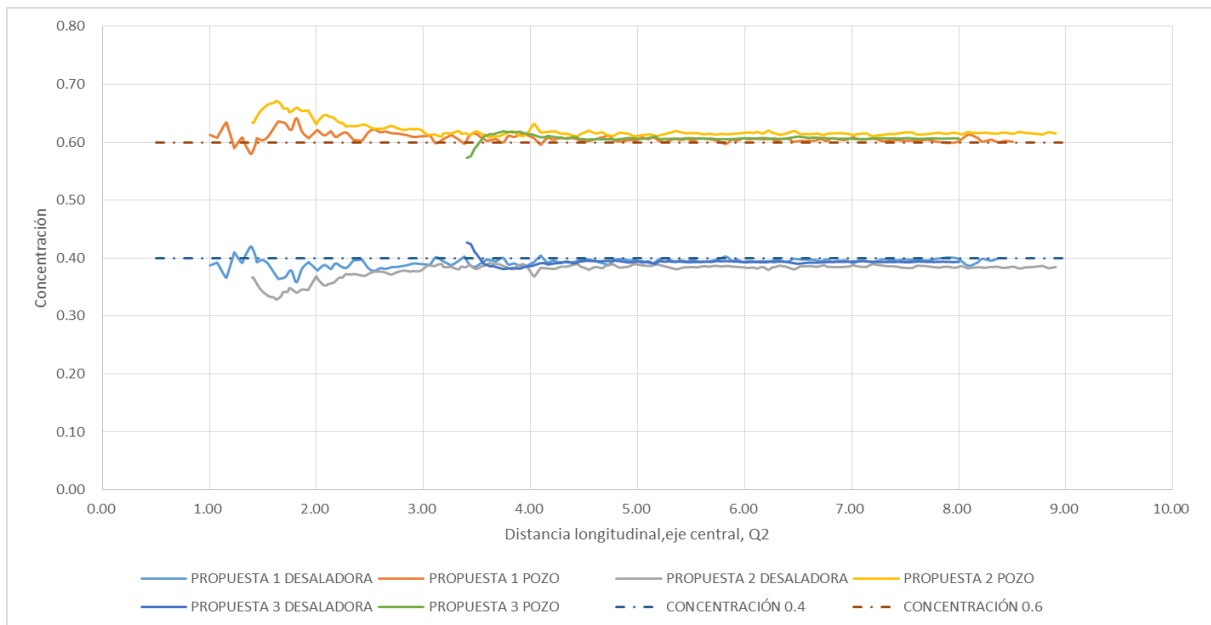
Tabla 6: Concentraciones a las salidas de las propuestas de la arqueta 2.

4.4. Comparativa arqueta 3.

4.4.1. Concentración línea central.

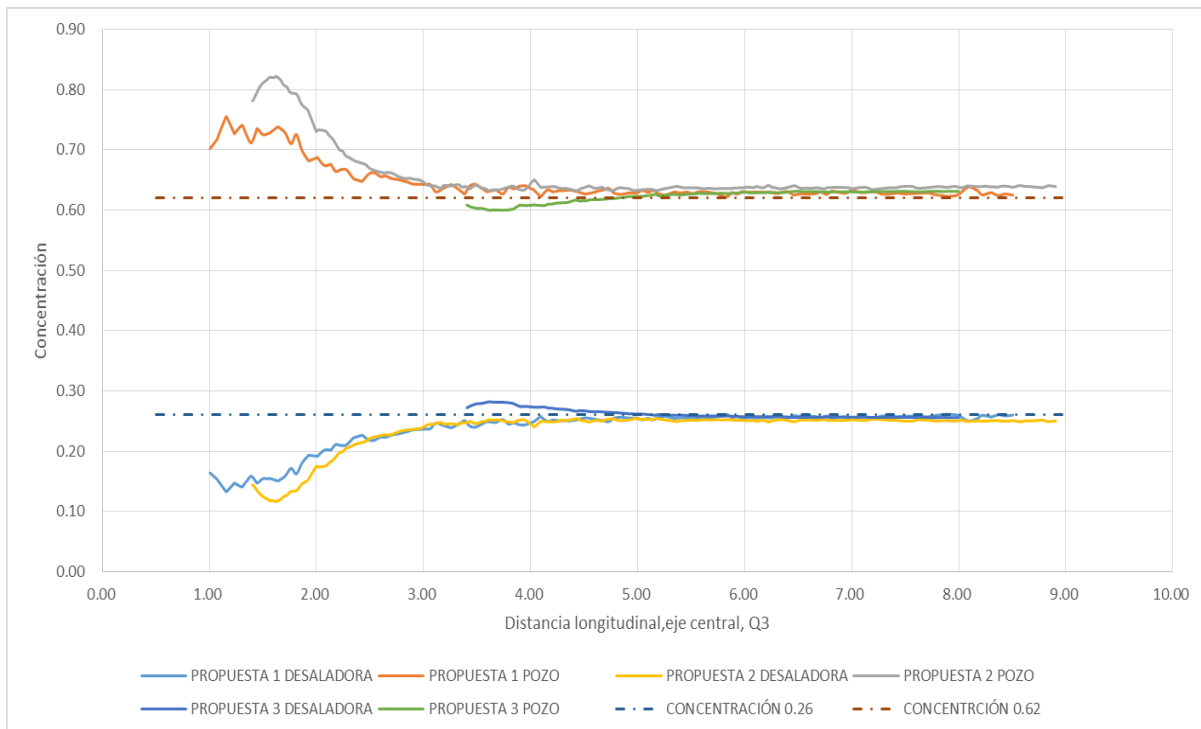


Gráfica 10: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 1.

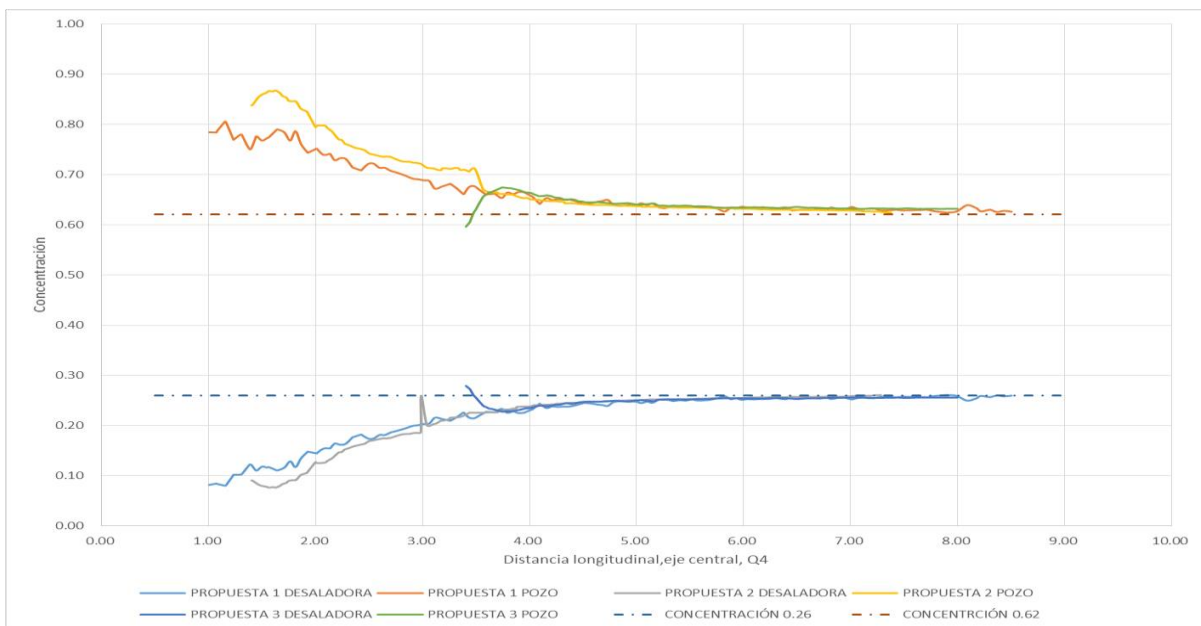


Gráfica 11: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 2.

Diseño de las arquetas de mezcla instaladas a la salida de una desaladora mediante técnicas CFD

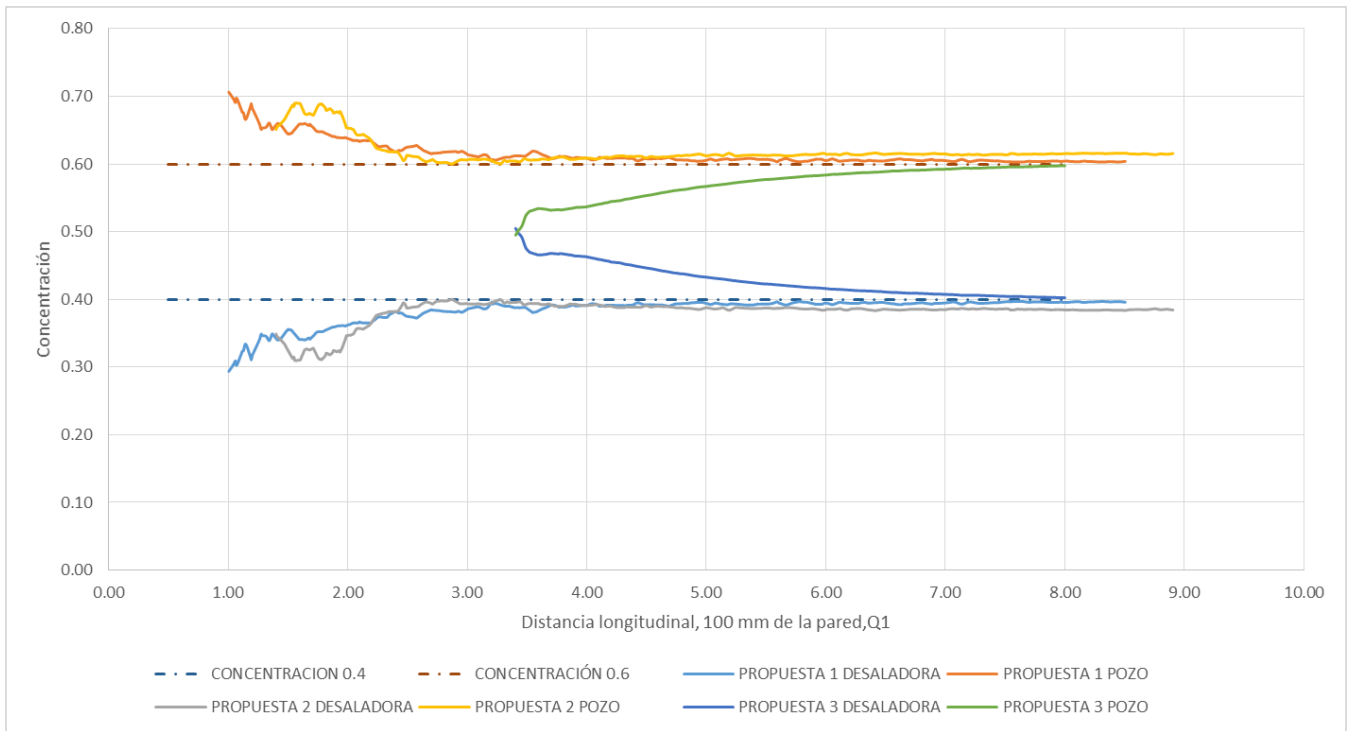


Gráfica 12: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 3.

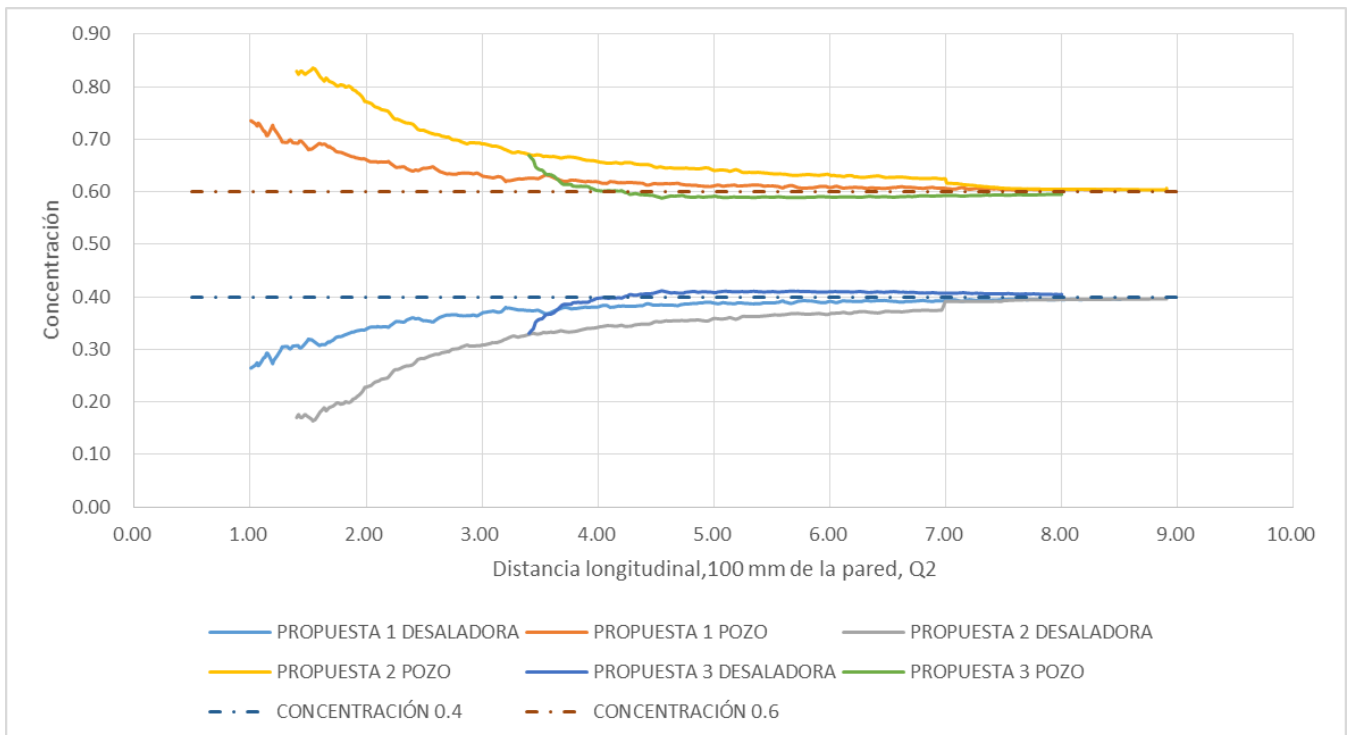


Gráfica 13: Concentración longitudinal en el eje central, caudal 4.

4.4.2. Concentración a 100 mm de la tubería.

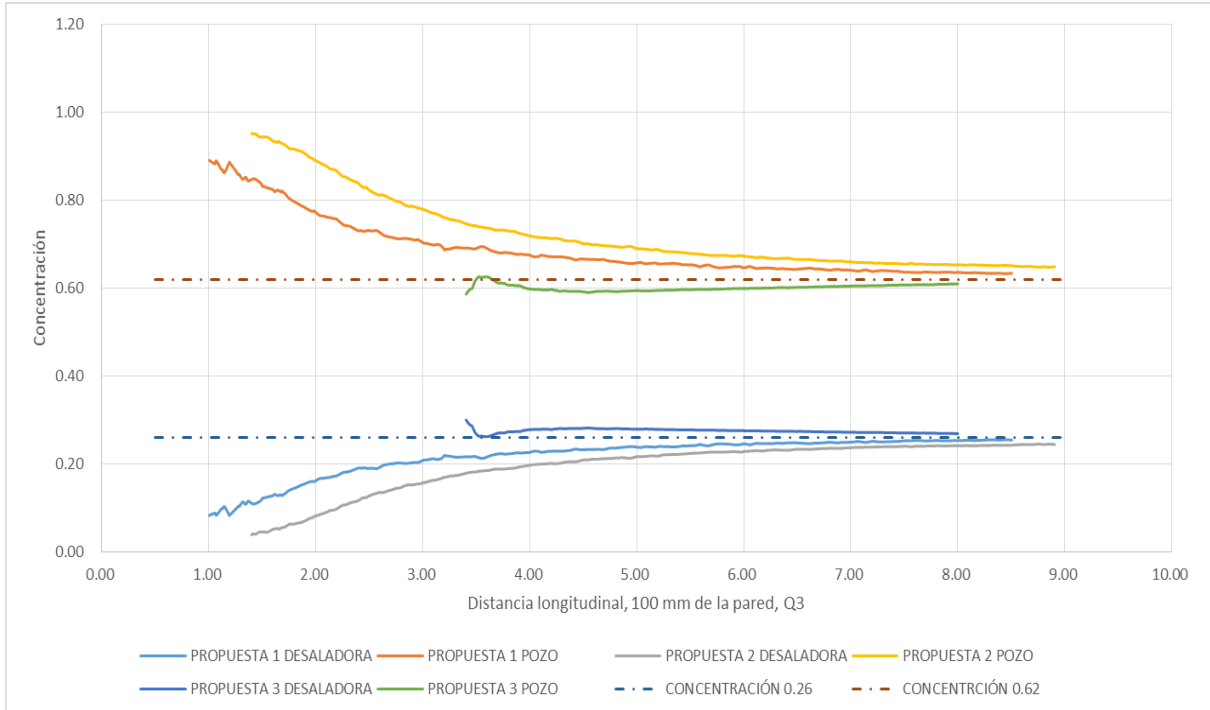


Gráfica 14: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 1.

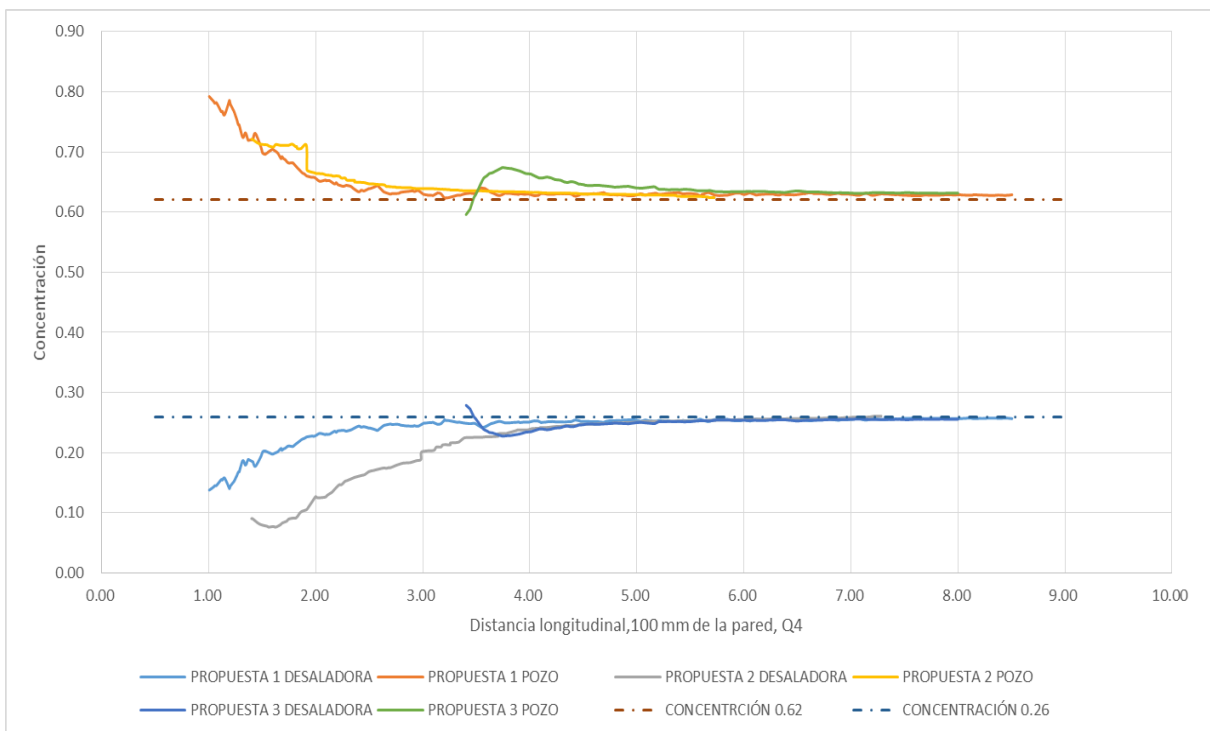


Gráfica 15: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 2.

Diseño de las arquetas de mezcla instaladas a la salida de una desaladora mediante técnicas CFD



Gráfica 16: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 3.



Gráfica 17: Concentración longitudinal a 100 mm de la pared de la tubería, caudal 4.

Para el estudio de las gráficas obtenidas en la arqueta 3 se emplea el mismo procedimiento empleado en la arqueta 1, se trata de observar si para cada uno de los caudales estudiados en las distintas propuestas de las arquetas la distancia longitudinal a la que con una tolerancia en cuanto a concentración de 0,05 se alcanza el objetivo, no se trata de una tarea sencilla puesto que en algunas ocasiones una arqueta funciona bien para unos caudales y mal para otros o se generan demasiadas pérdidas de carga, por ejemplo puede observarse como la propuesta 2 obtiene unos resultados bastante adecuados para todos los caudales en la línea central, sin embargo, los resultados obtenidos cercanos a la pared no son los mejores.

4.5. Diagramas concentraciones arquetas.

4.5.2. Arqueta 1.

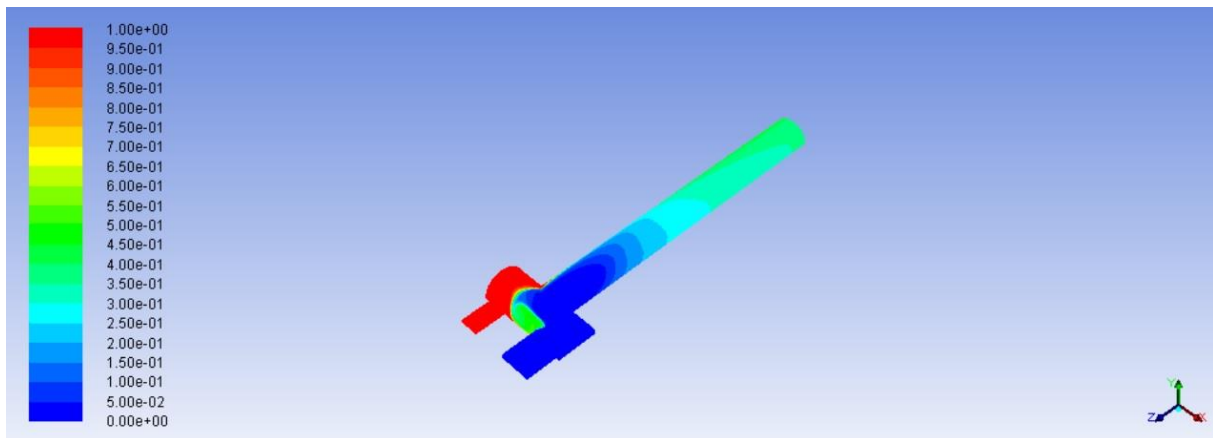


Figura 19: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 1 caudal 1.

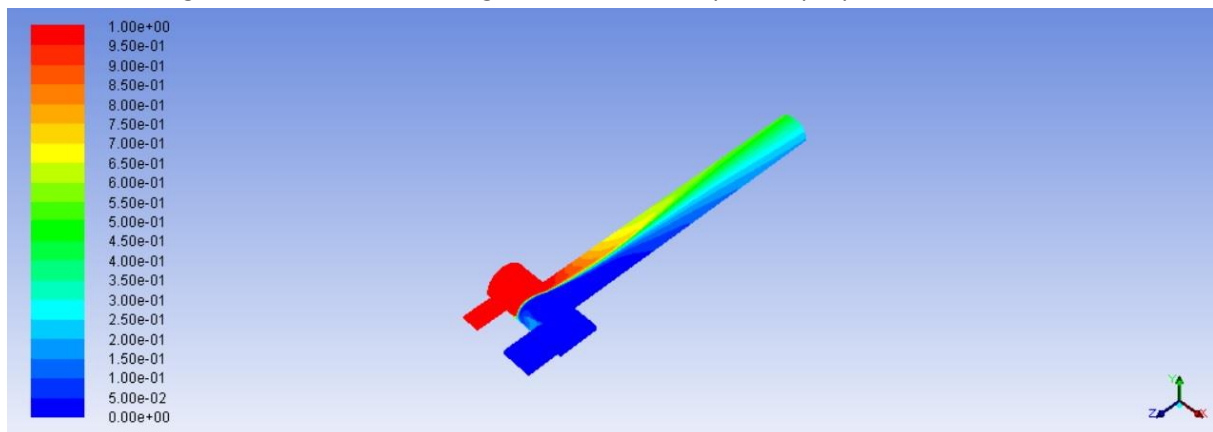


Figura 20: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 1 caudal 2.

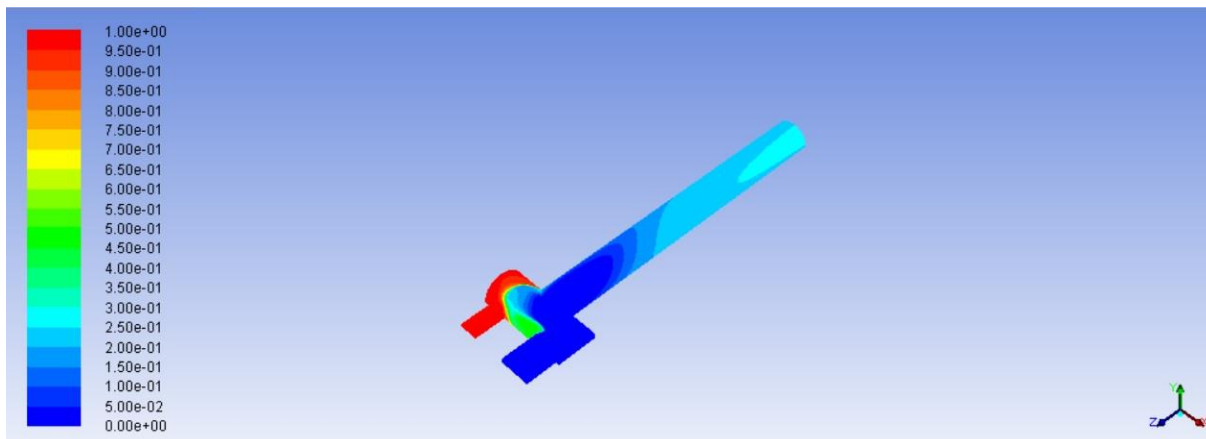


Figura 21: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 1 caudal 3.

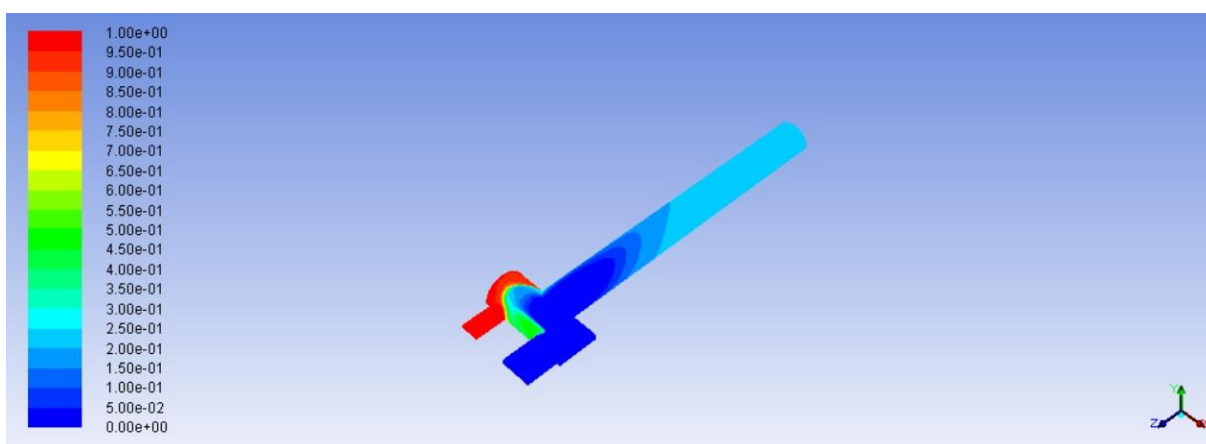


Figura 22: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 1 caudal 4.

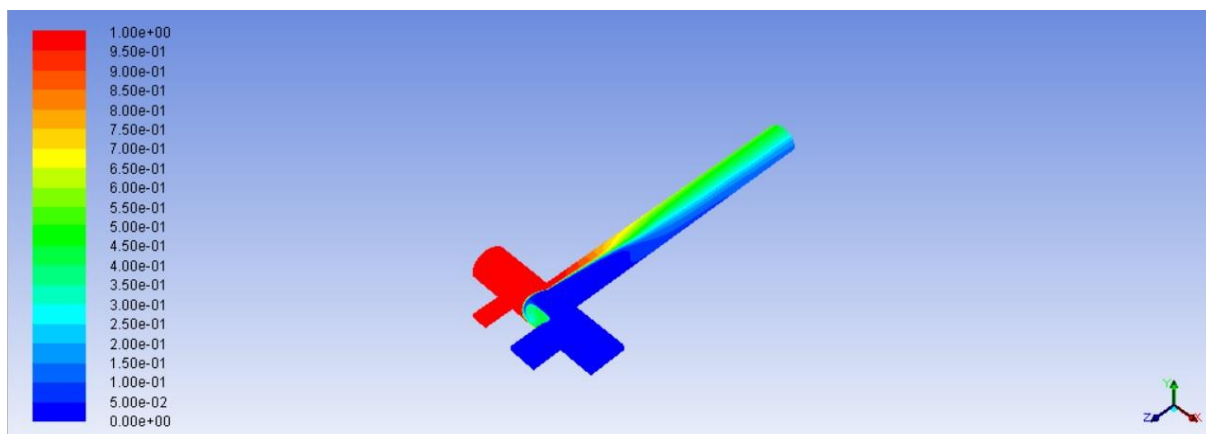


Figura 23: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 2 caudal 1

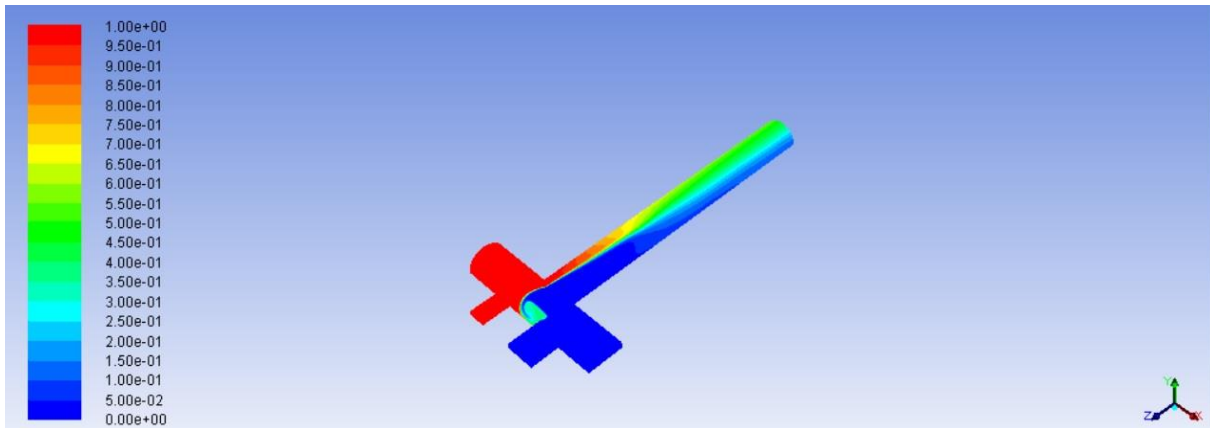


Figura 24: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 2 caudal 2.

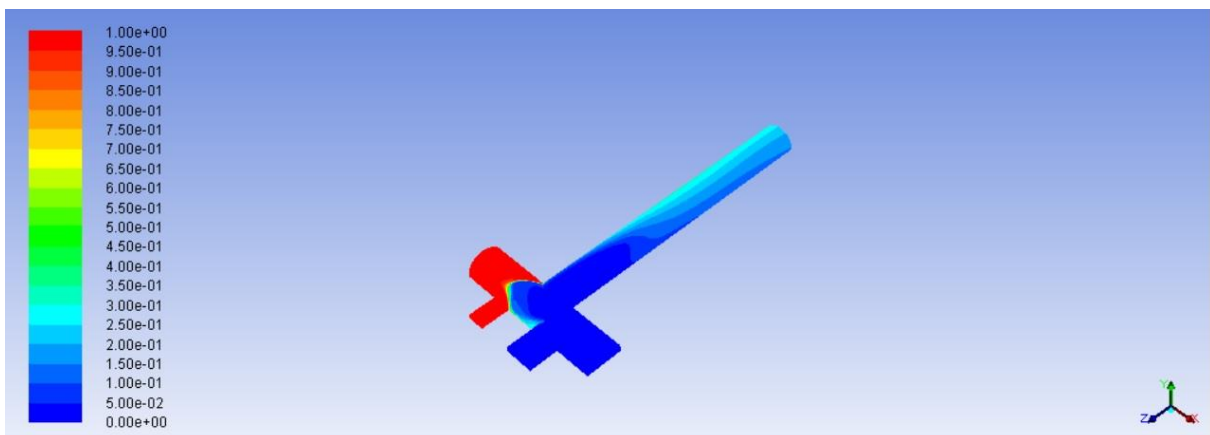


Figura 25: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 2 caudal 3.

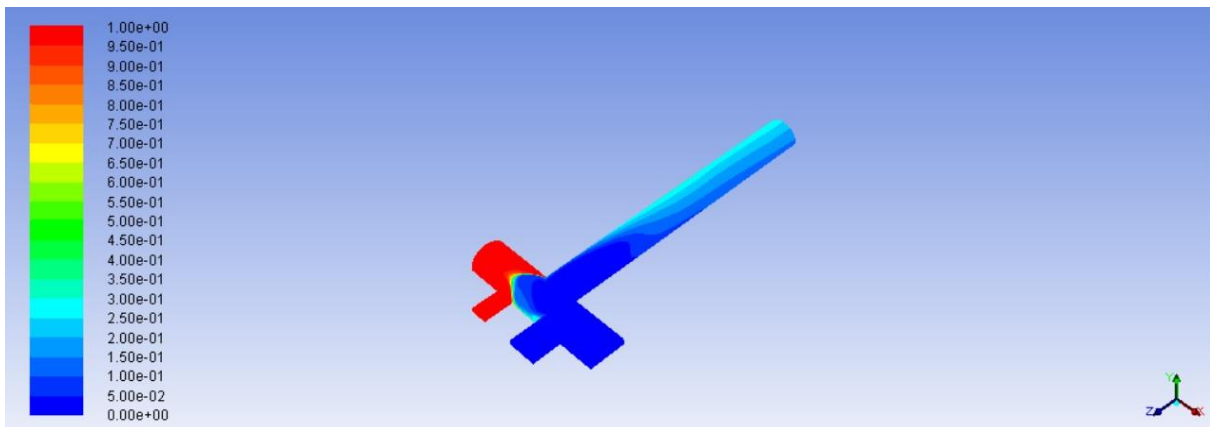


Figura 26: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 2 caudal 3.

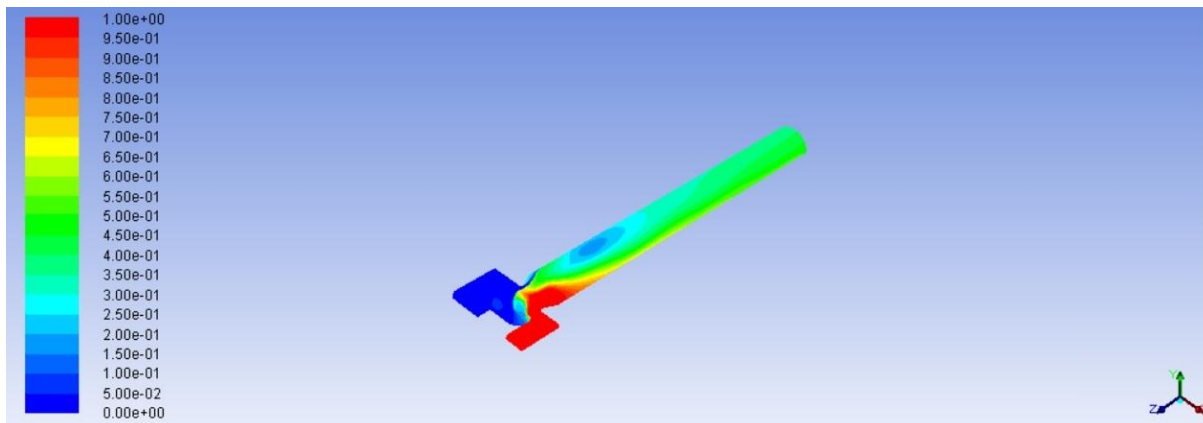


Figura 27: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 3 caudal 1.

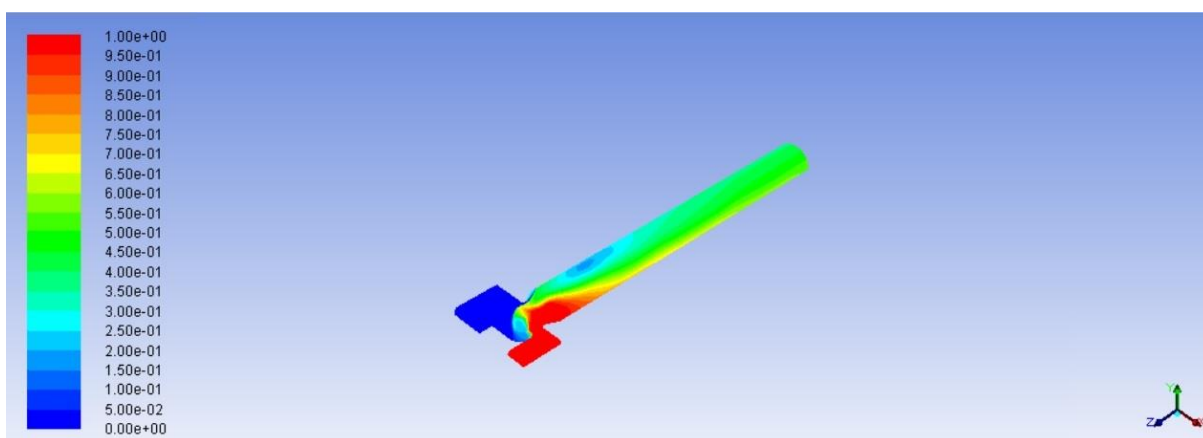


Figura 28: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 3 caudal 2.

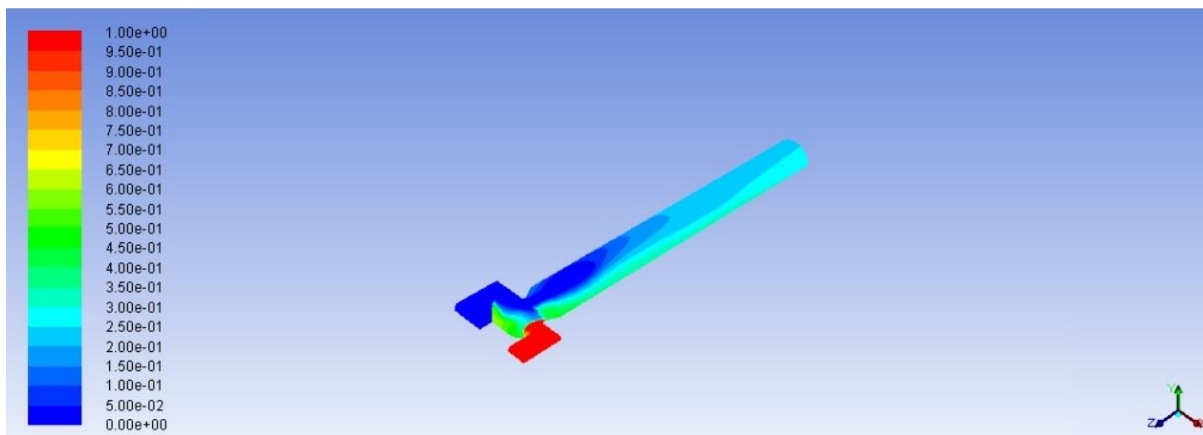


Figura 29: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 3 caudal 3.

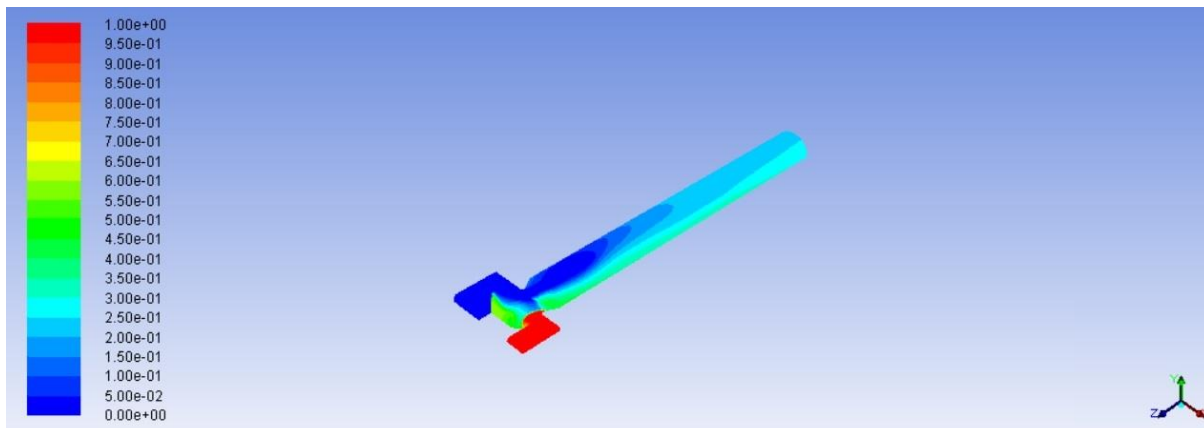


Figura 30: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 3 caudal 4.

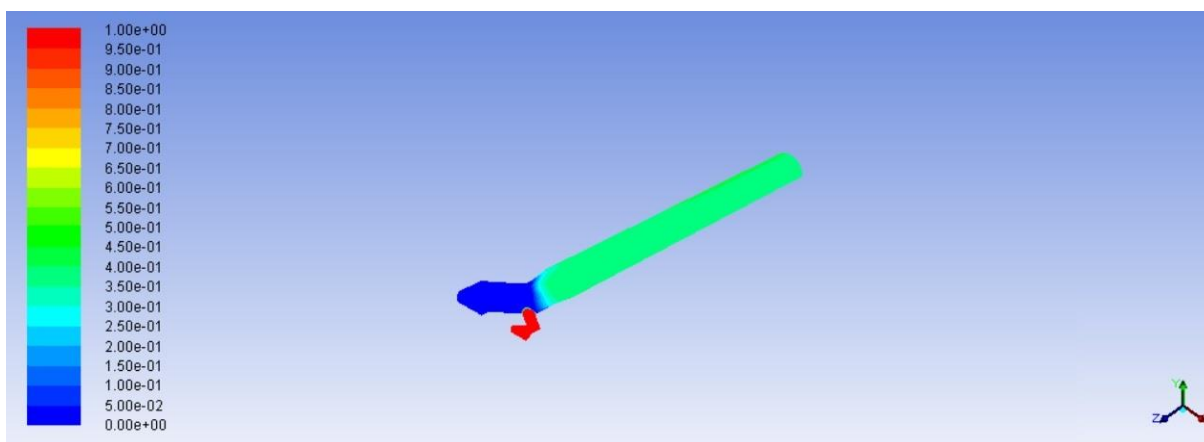


Figura 31: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 4 caudal 1.

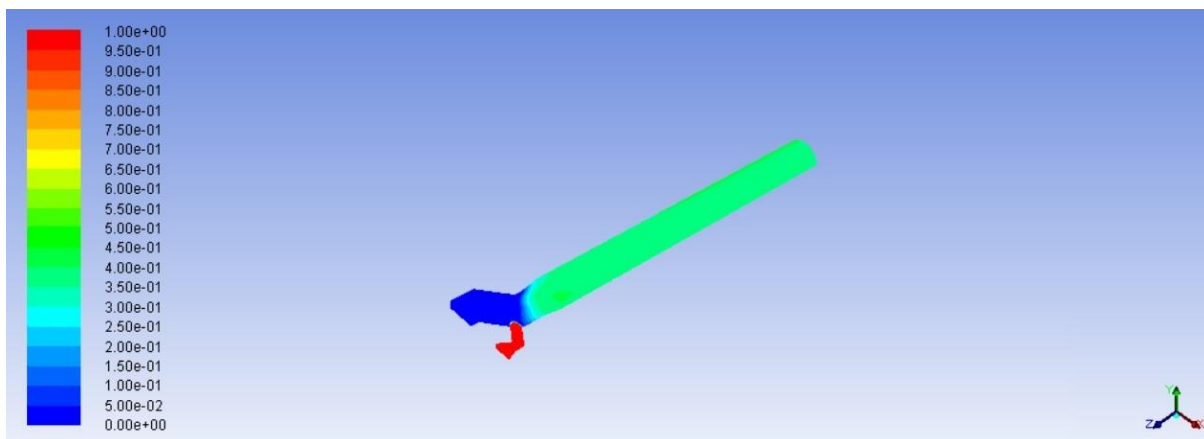


Figura 32: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 4 caudal 2.

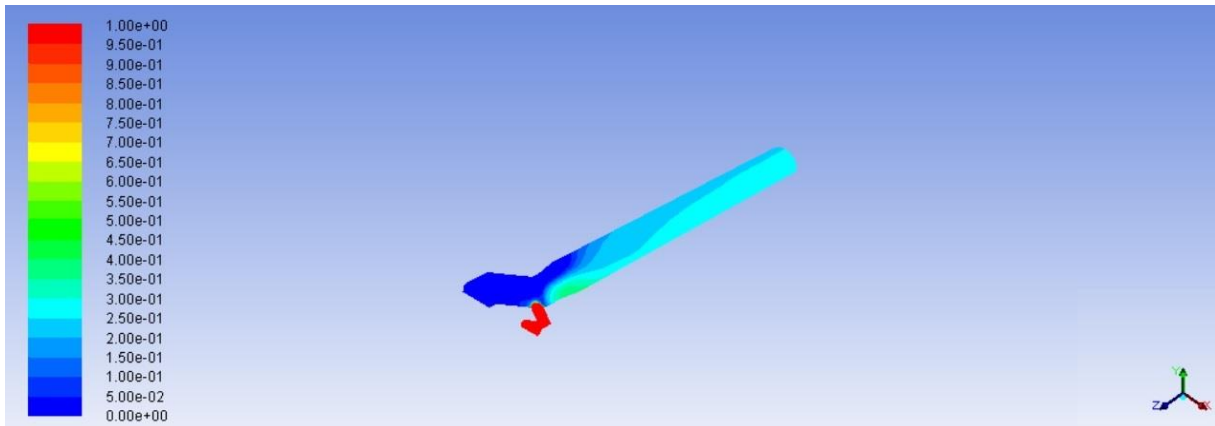


Figura 33: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 4 caudal 3.

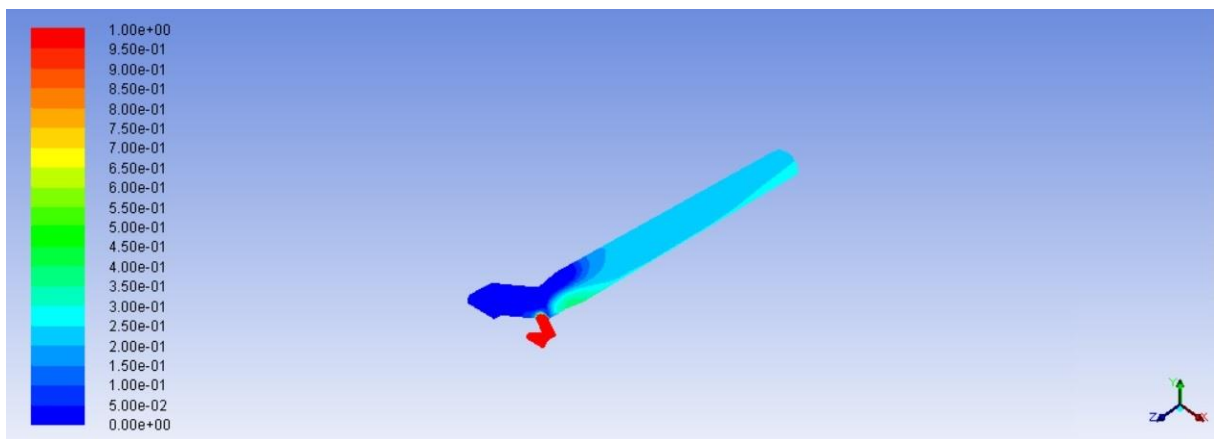


Figura 34: Concentración agua desaladora, arqueta 1 propuesta 4 caudal 4.

4.5.2. Arqueta 2.

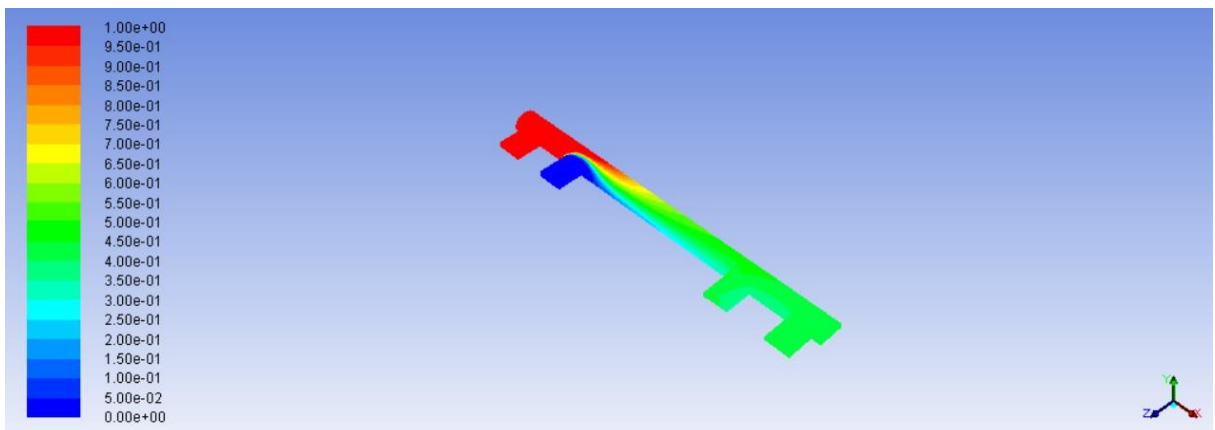


Figura 35: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 1 caudal 1.

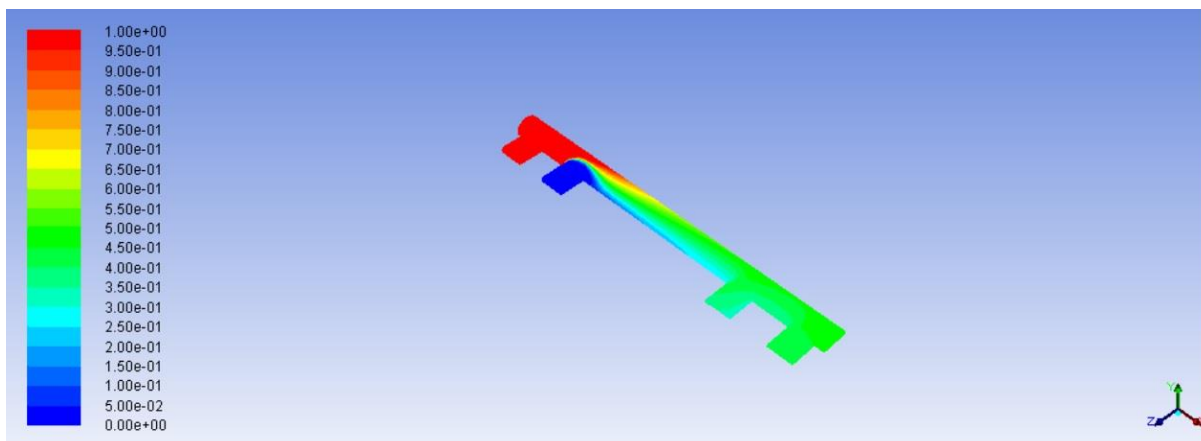


Figura 36: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 1 caudal 2.

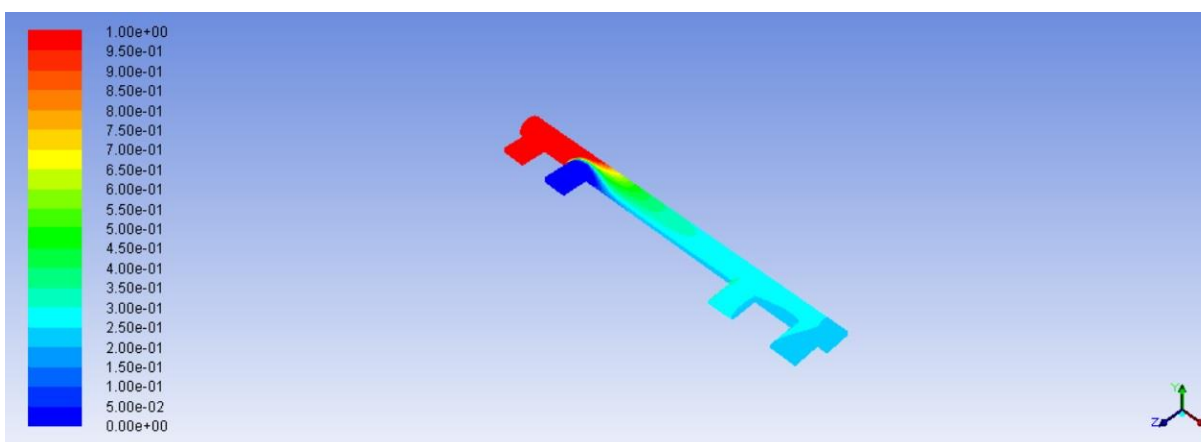


Figura 37: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 1 caudal 3.

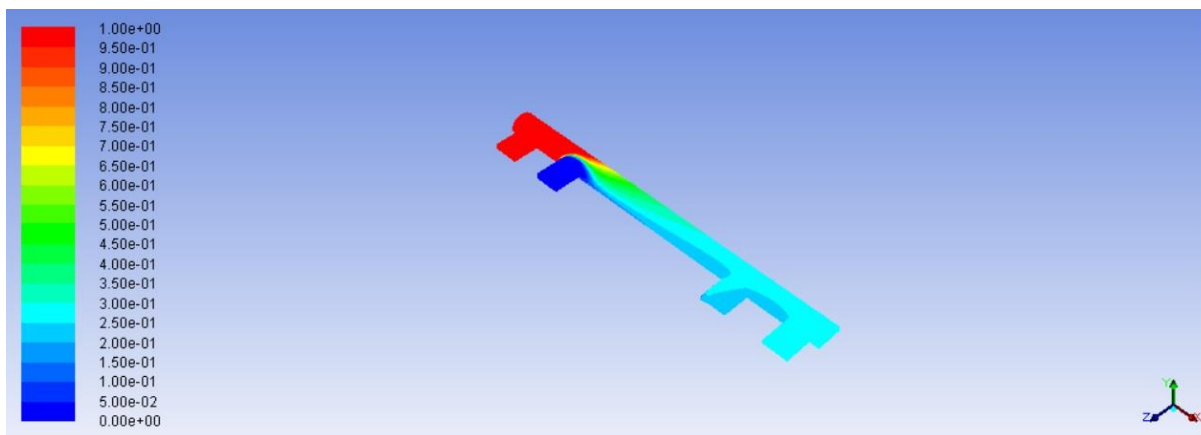


Figura 38: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 1 caudal 4.

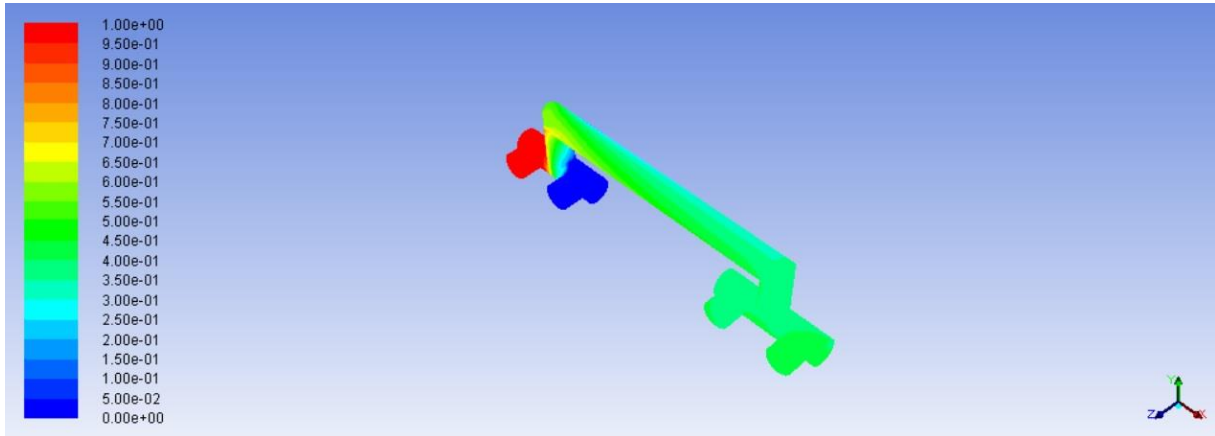


Figura 39: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 2 caudal 1.

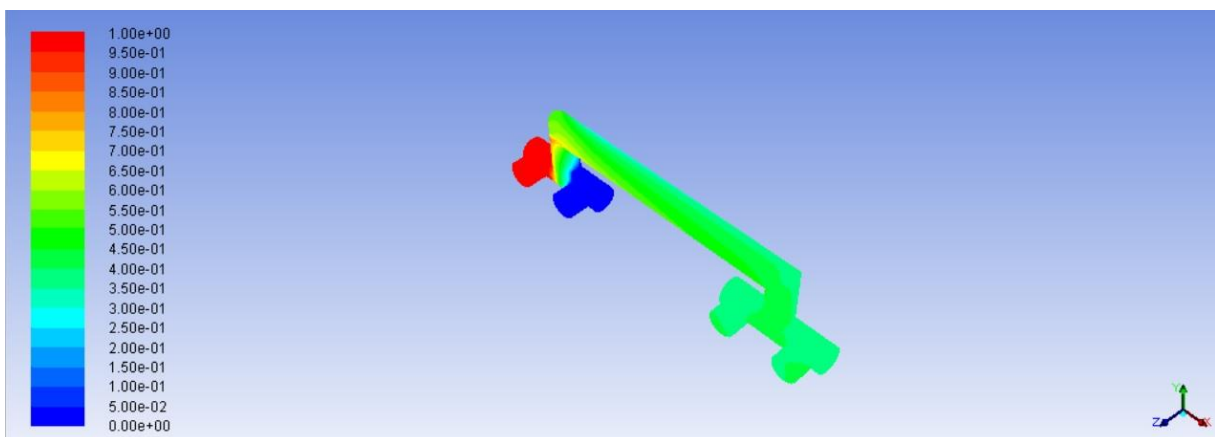


Figura 40: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 2 caudal 2.

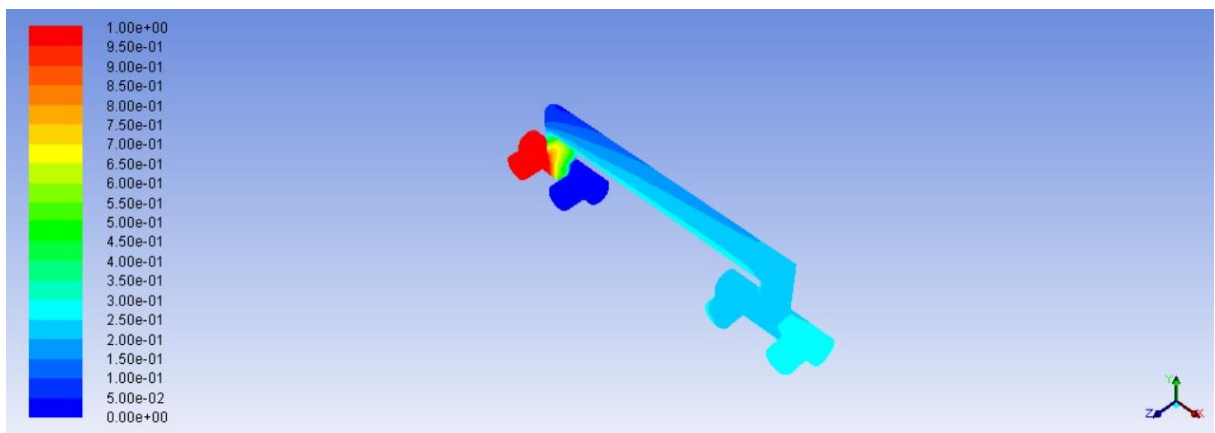


Figura 41: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 2 caudal 3.

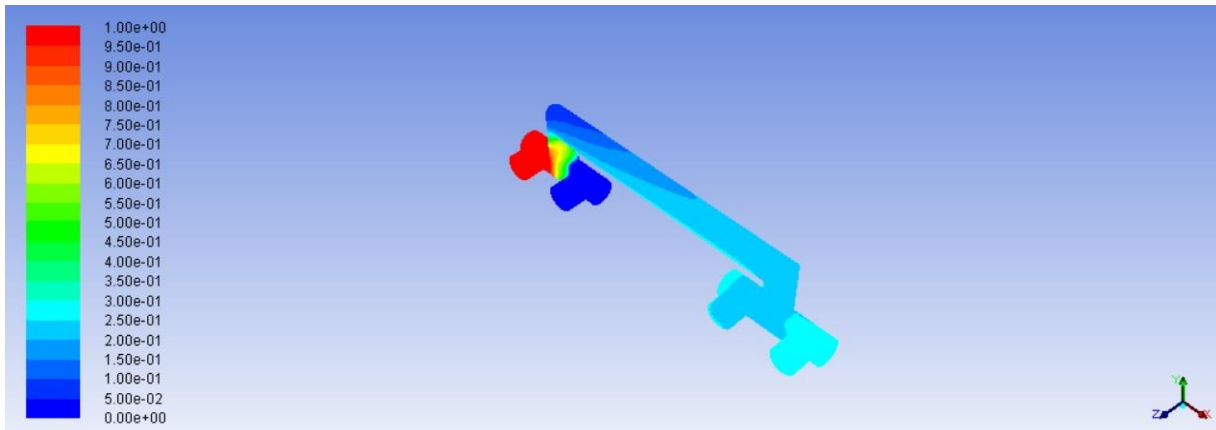


Figura 42: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 2 caudal 4.

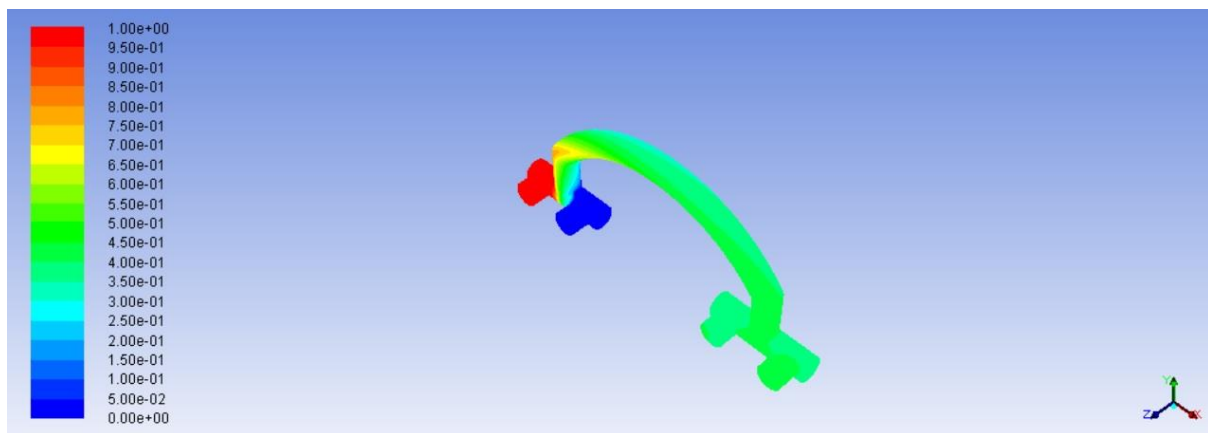


Figura 43: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 3 caudal 1.

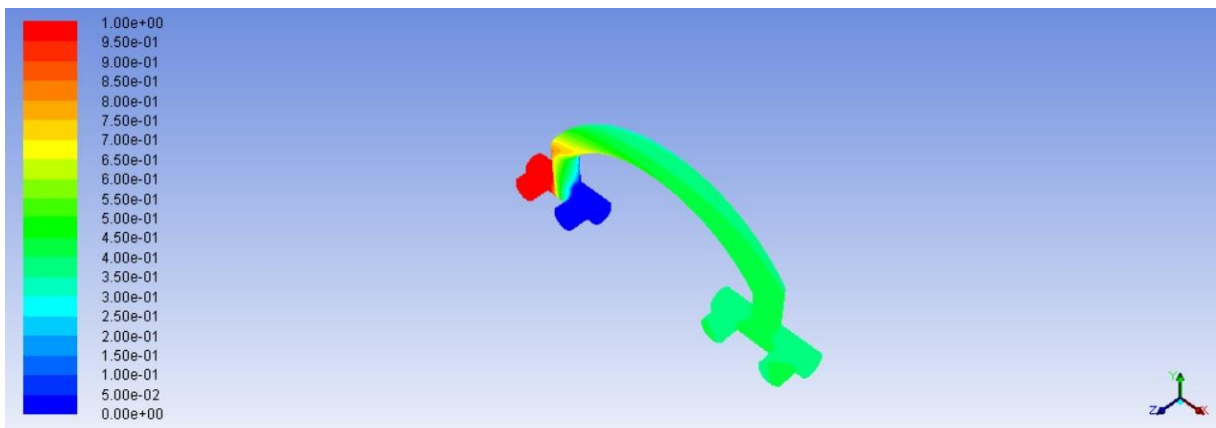


Figura 44: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 3 caudal 2.

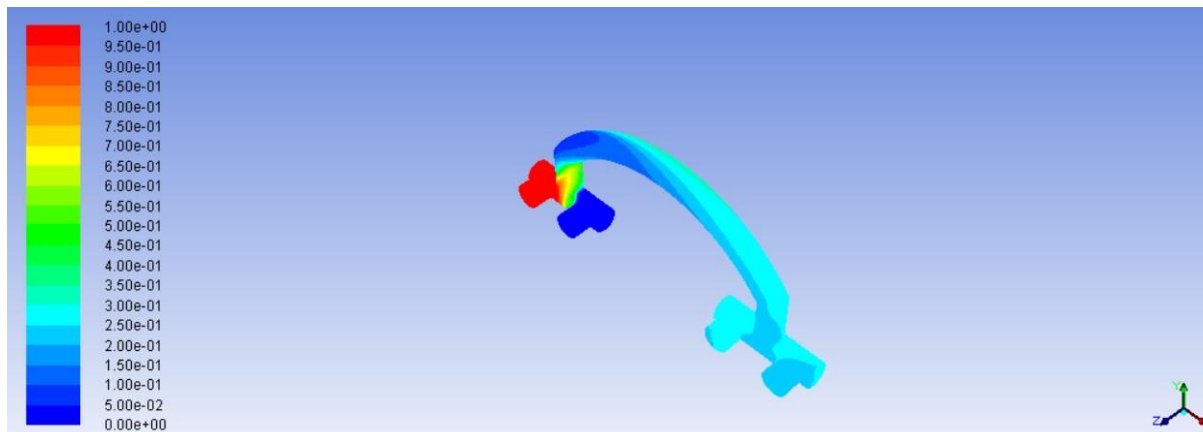


Figura 45: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 3 caudal 3.

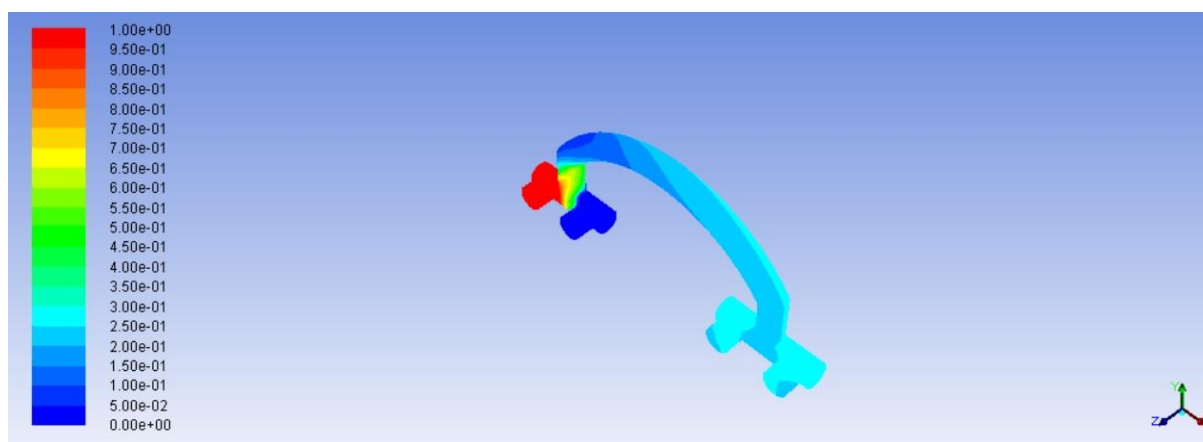


Figura 46: Concentración agua desaladora, arqueta 2 propuesta 3 caudal 4.

4.5.3. Arqueta 3.

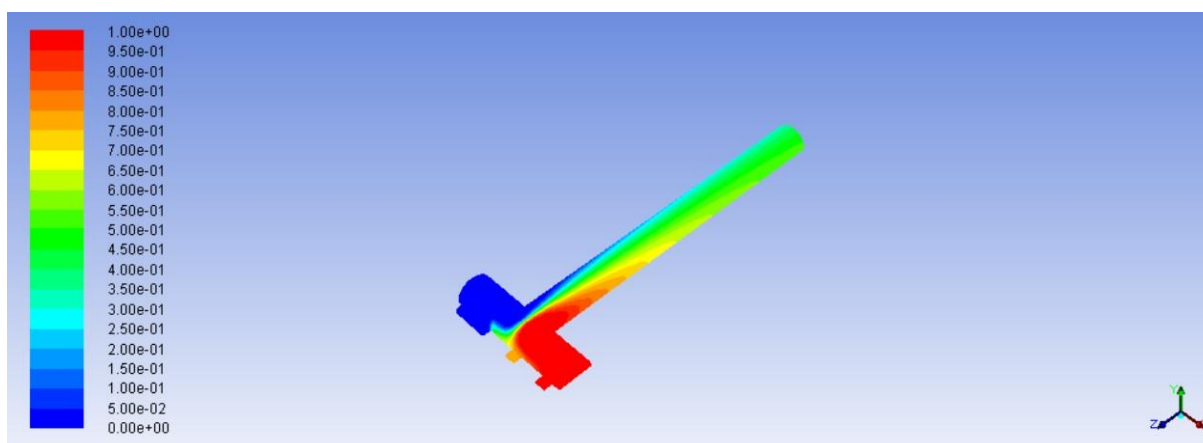


Figura 47: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 1 caudal 1.

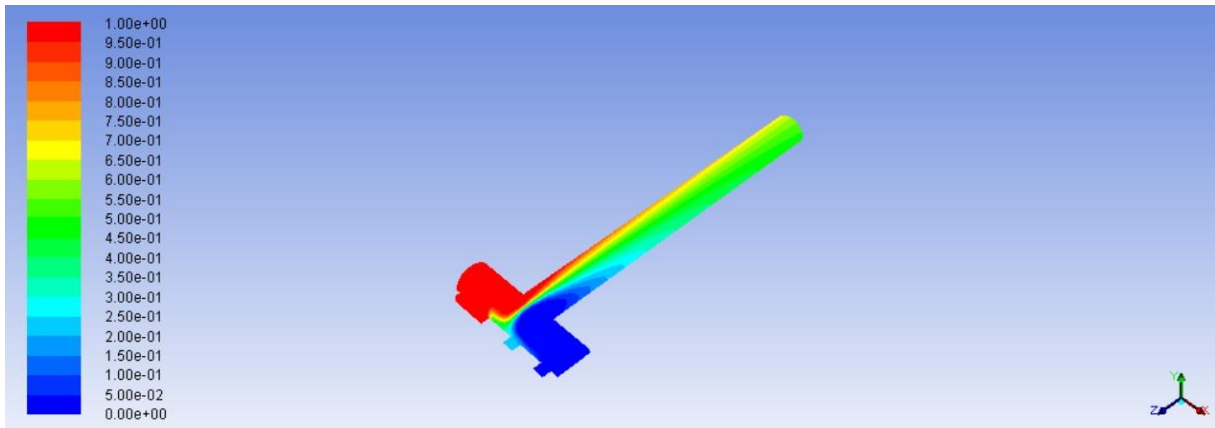


Figura 48: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 1 caudal 1.

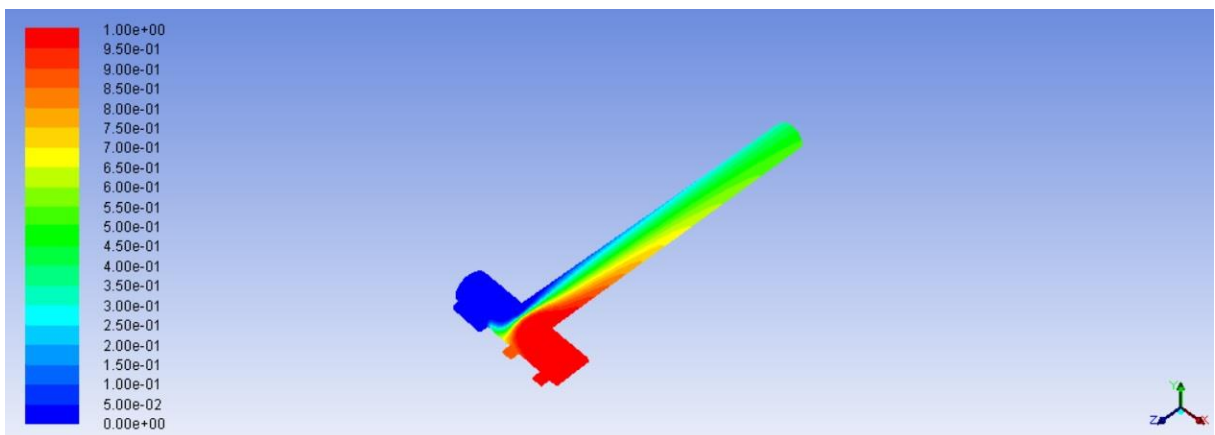


Figura 49: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 1 caudal 2.

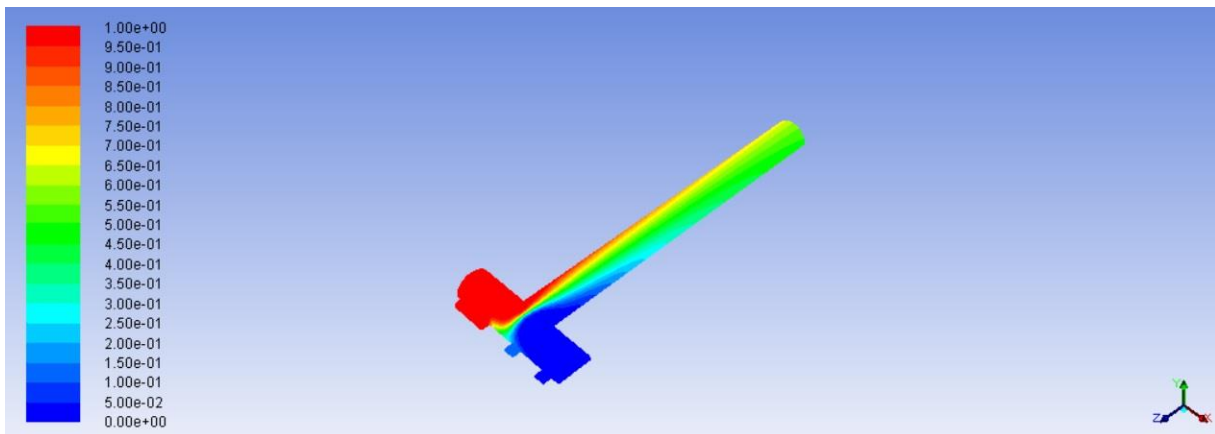


Figura 50: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 1 caudal 2.

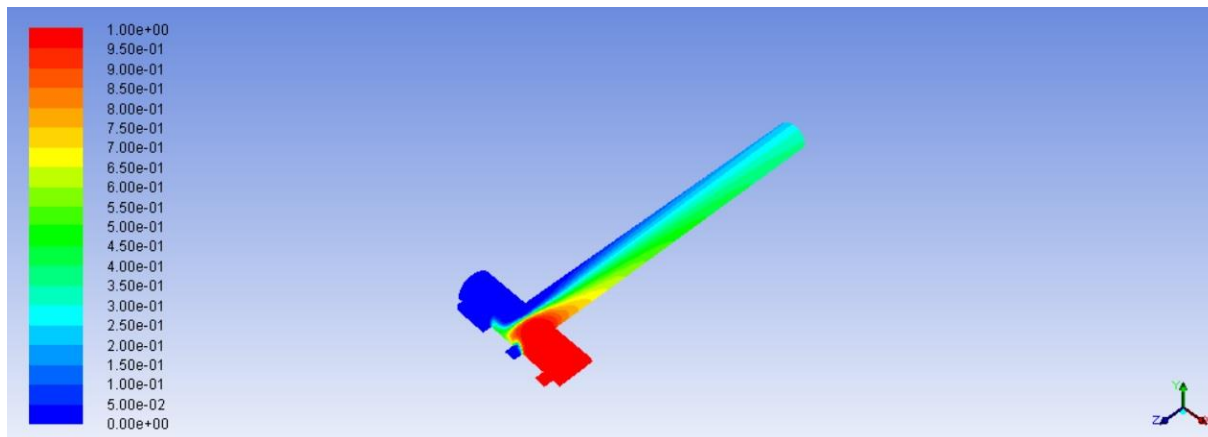


Figura 51: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 1 caudal 3.

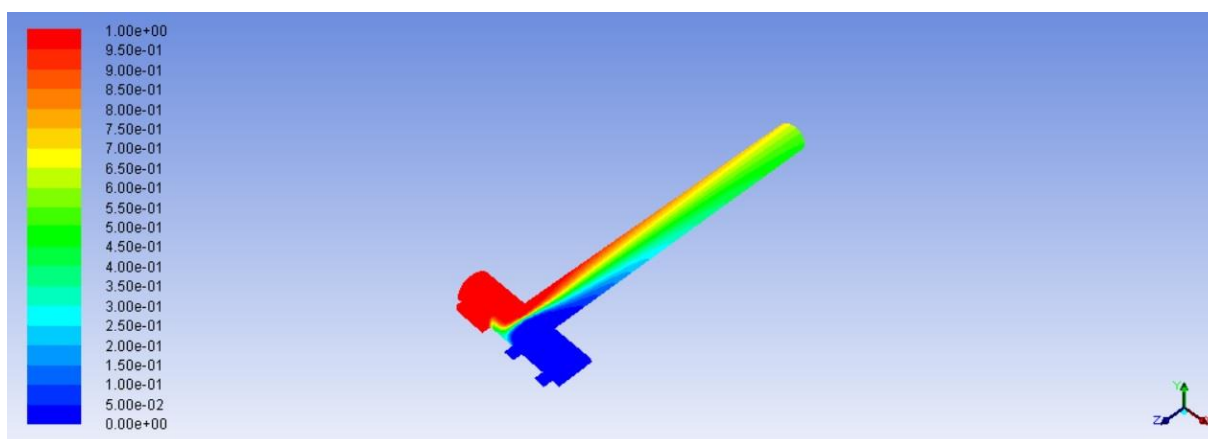


Figura 52: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 1 caudal 3.

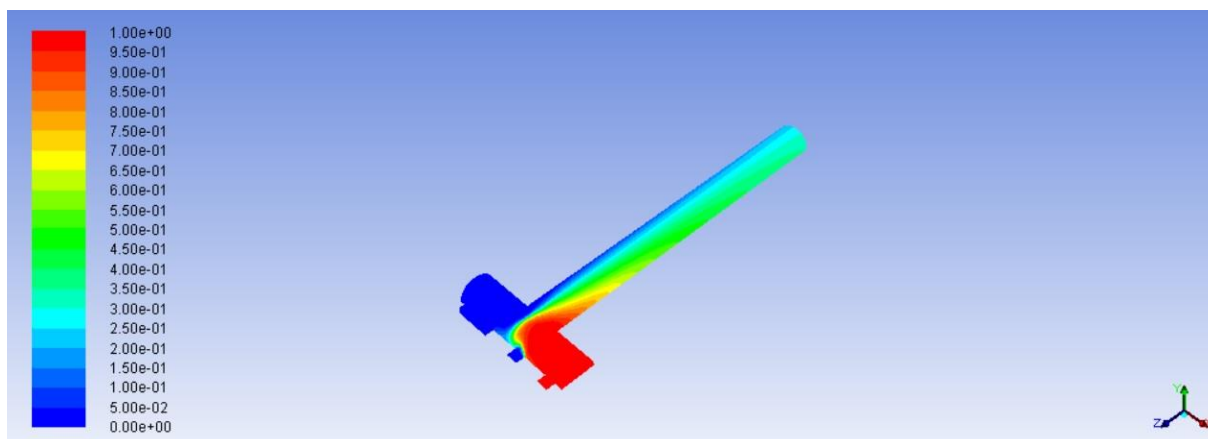


Figura 53: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 1 caudal 4.

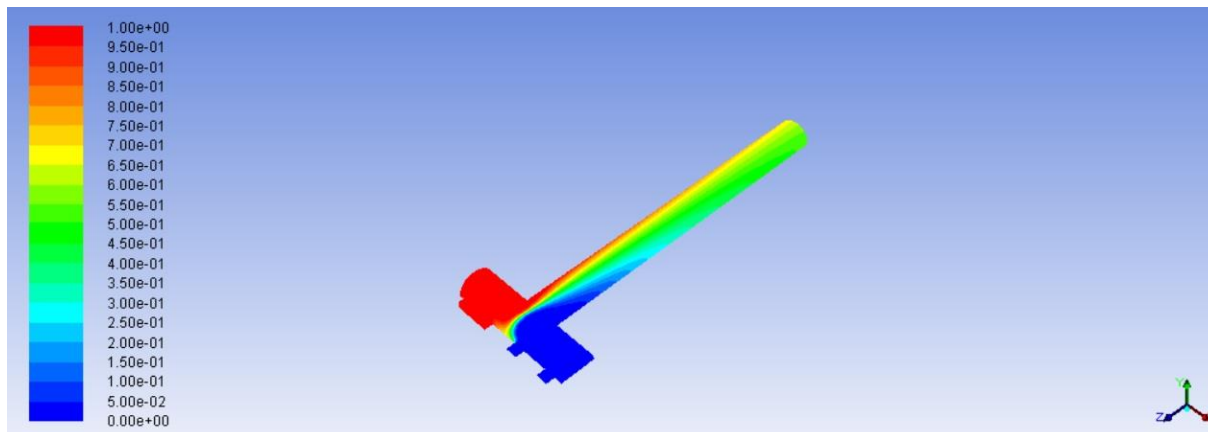


Figura 54: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 1 caudal 4.

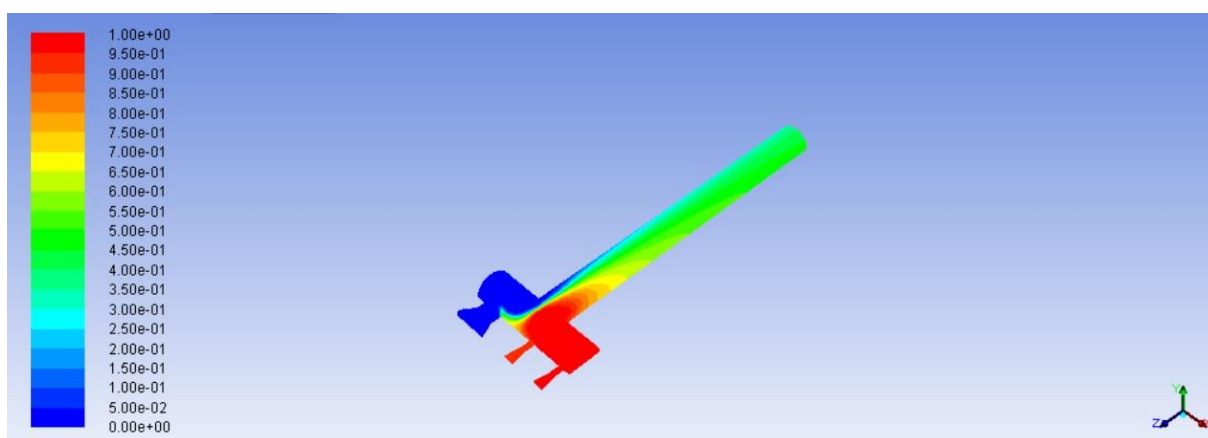


Figura 55: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 2 caudal 1.

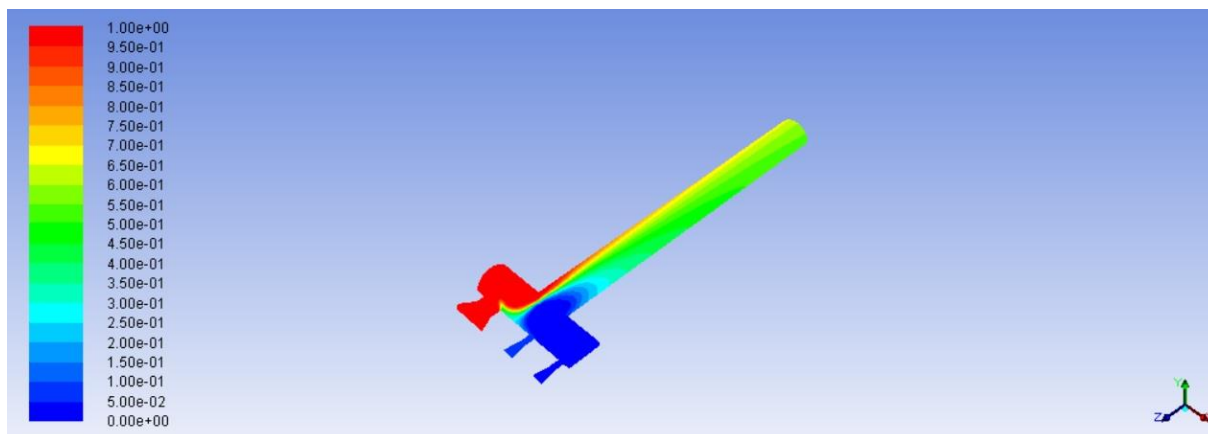


Figura 56: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 2 caudal 1.

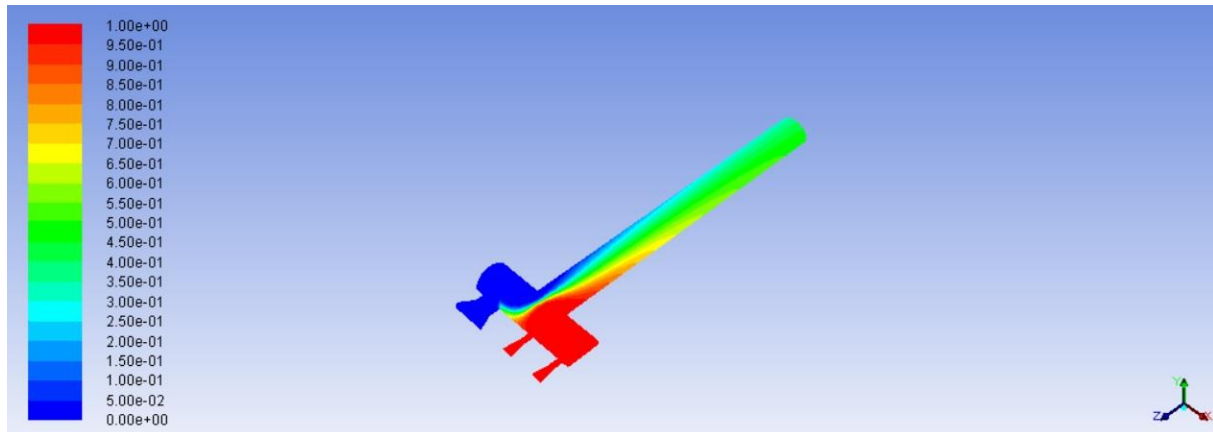


Figura 57: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 2 caudal 2.

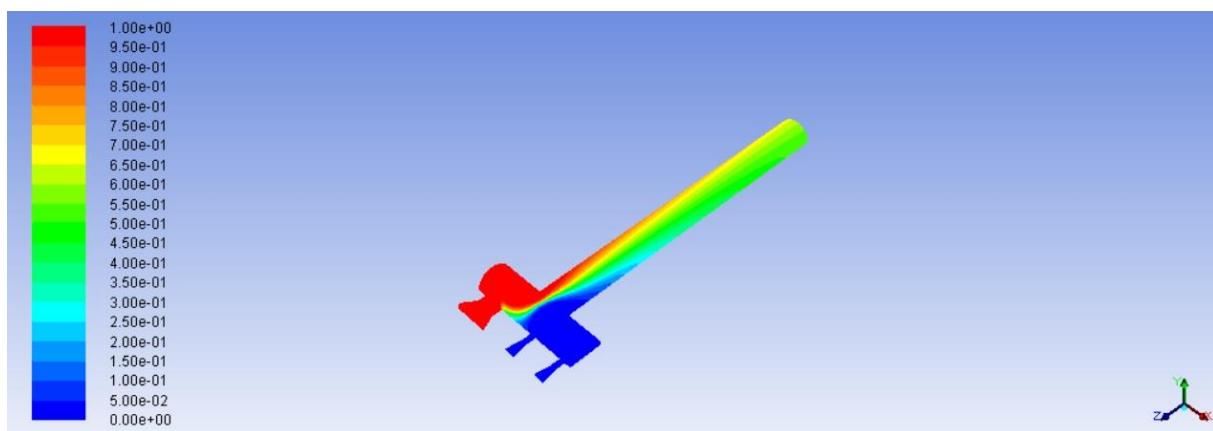


Figura 58: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 2 caudal 2.

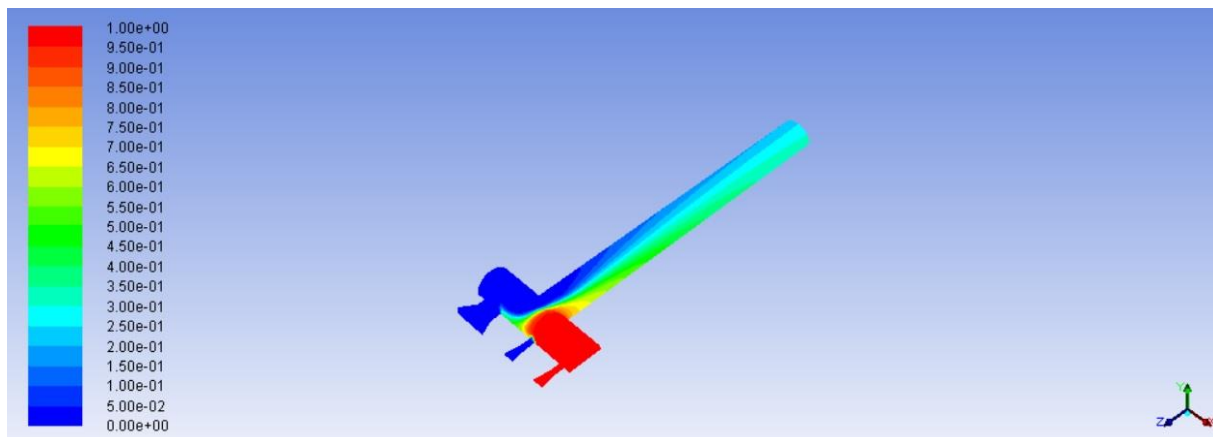


Figura 59: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 2 caudal 3.

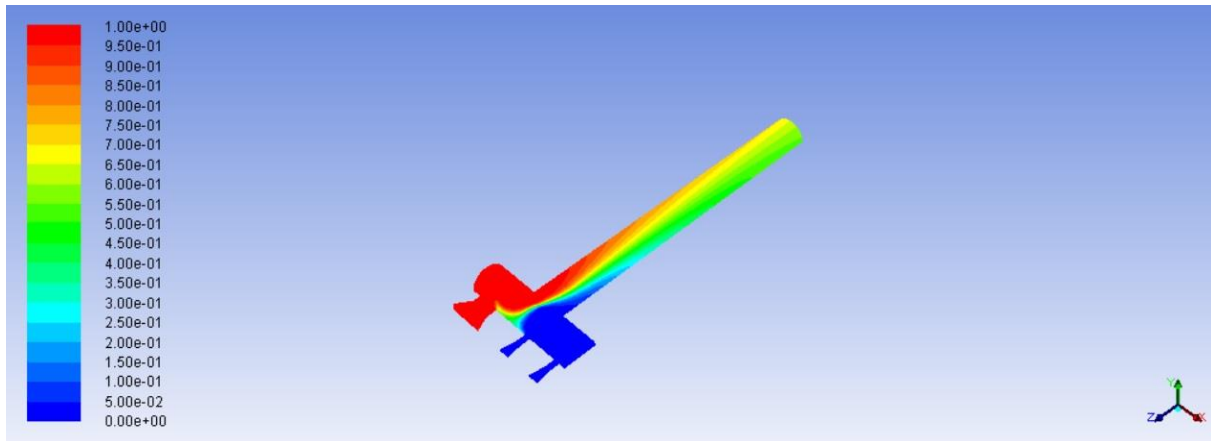


Figura 60: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 2 caudal 3.

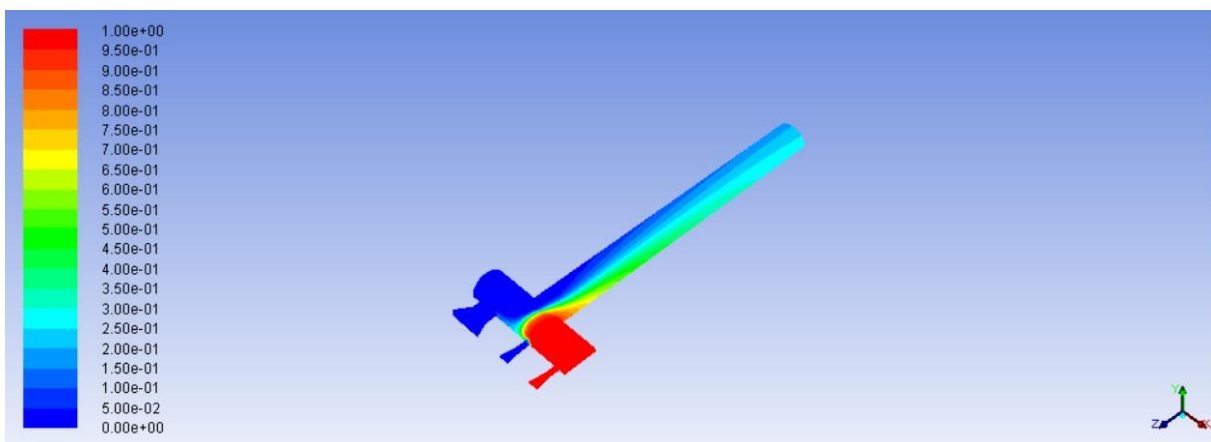


Figura 61: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 2 caudal 4.

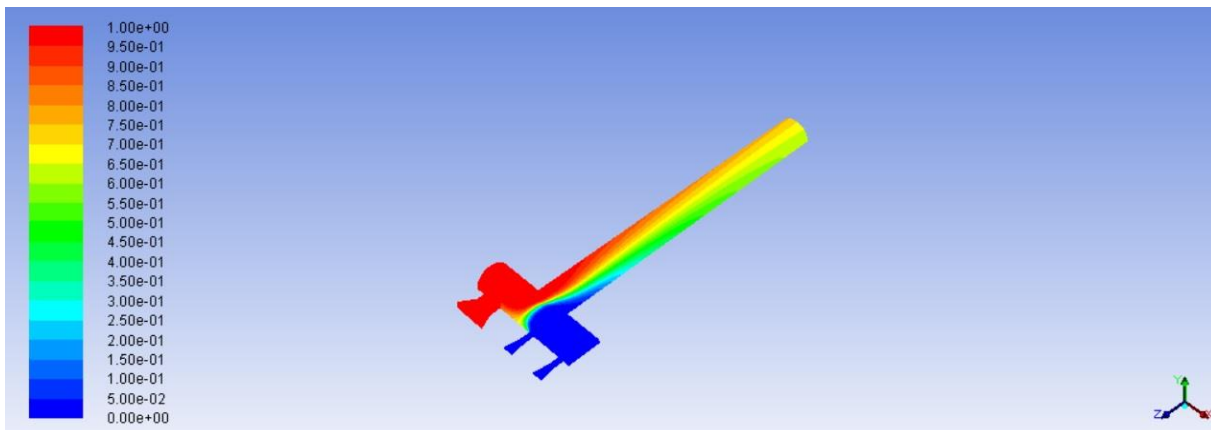


Figura 62: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 2 caudal 4.

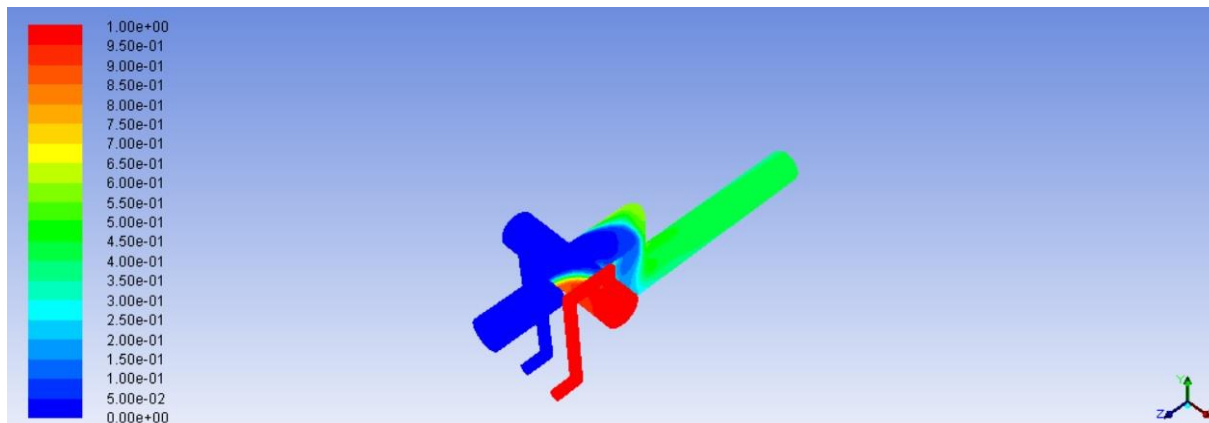


Figura 63: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 3 caudal 1.

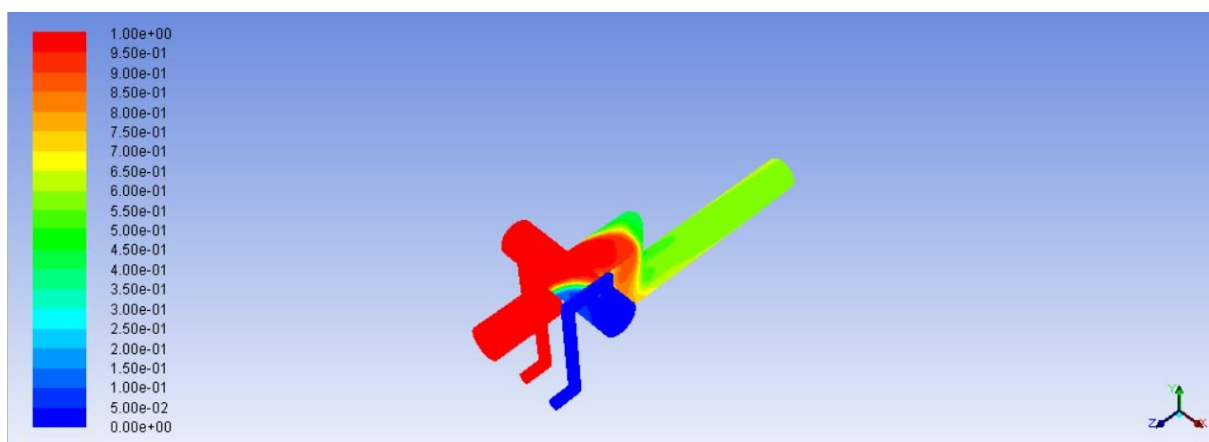


Figura 64: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 3 caudal 1.

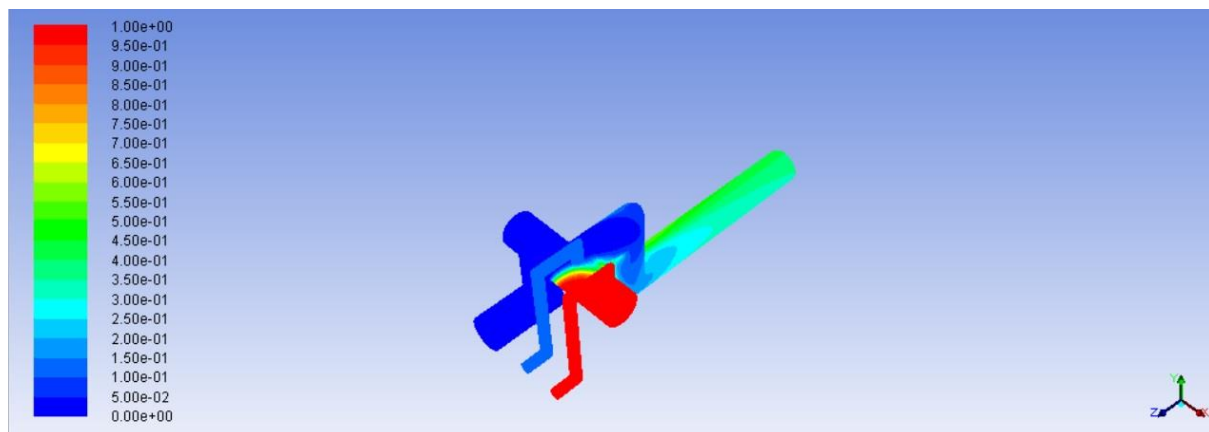


Figura 65: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 3 caudal 2.

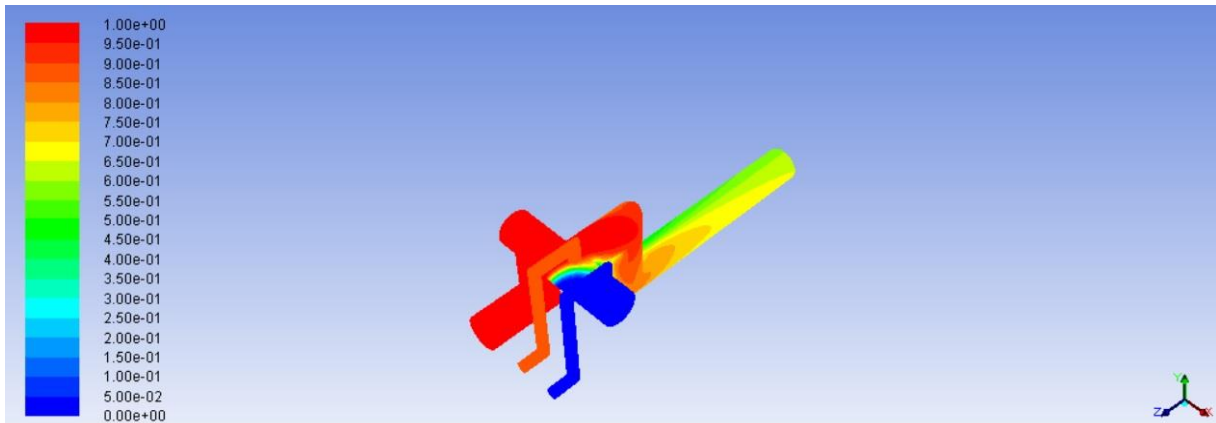


Figura 66: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 3 caudal 2.

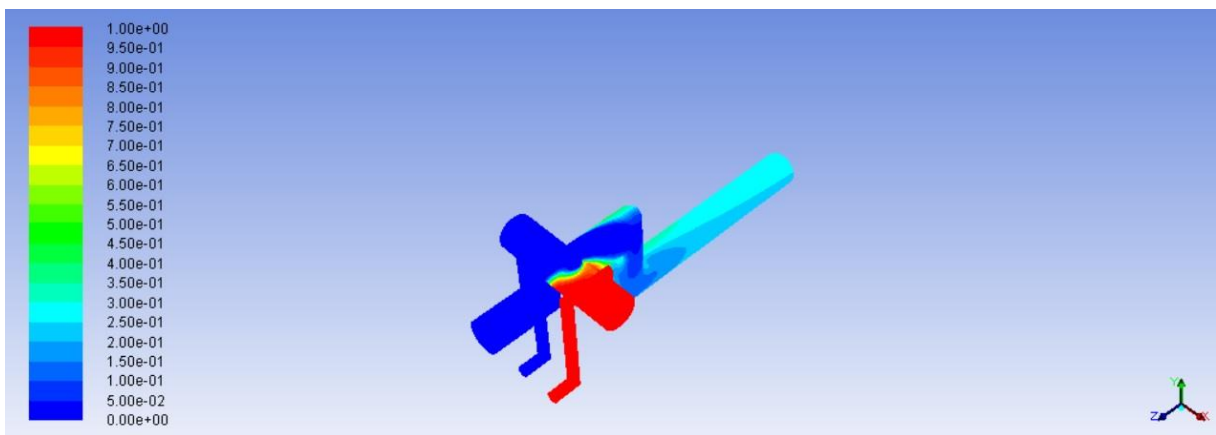


Figura 67: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 3 caudal 3.

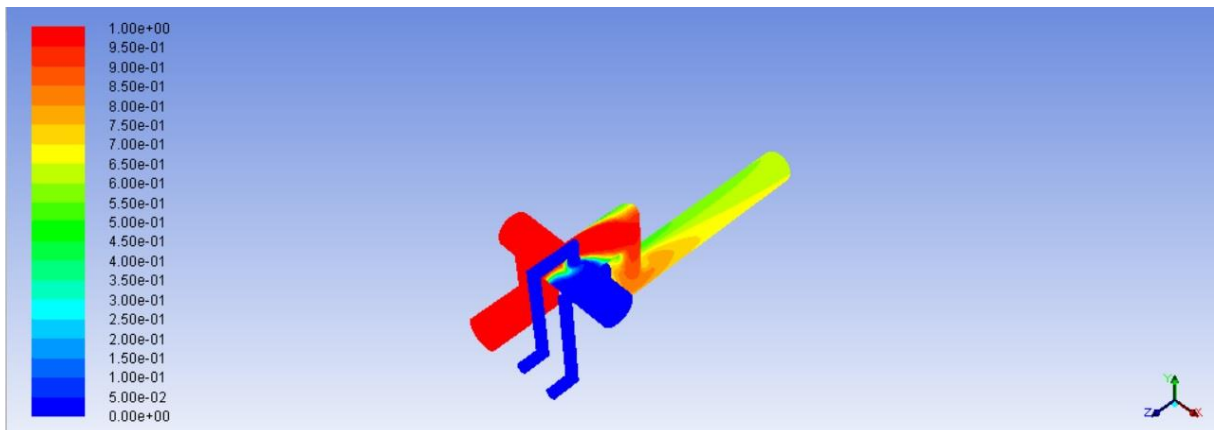


Figura 68: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 3 caudal 3.

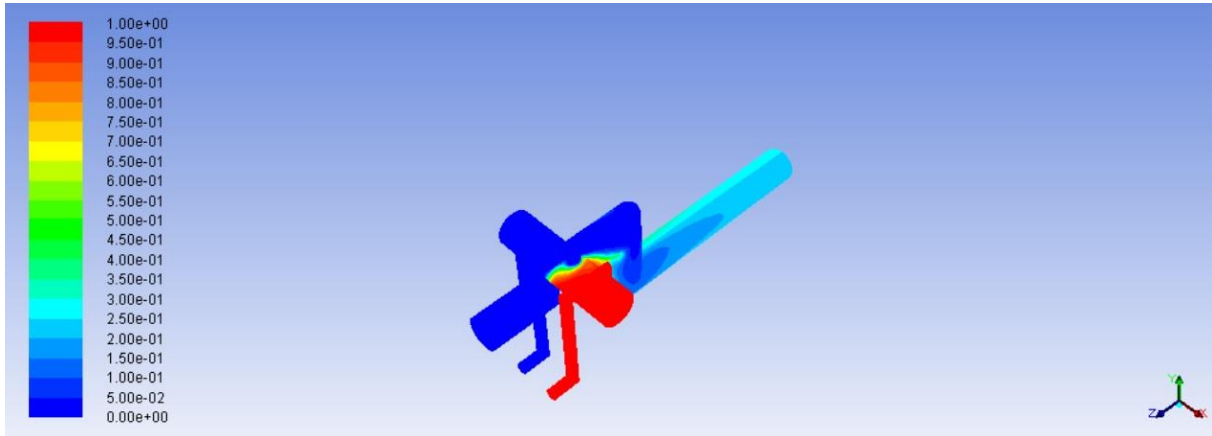


Figura 69: Concentración agua desaladora, arqueta 3 propuesta 3 caudal 4.

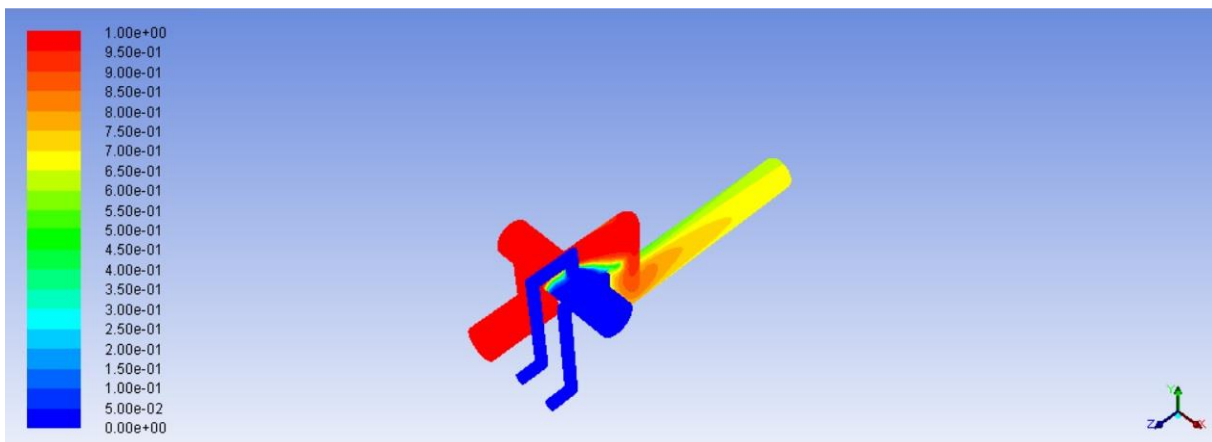


Figura 70: Concentración agua pozo, arqueta 3 propuesta 3 caudal 4.

4.6. Pérdidas de presión.

A continuación se pasa a recopilar las distintas pérdidas de presión producidas por las diferentes geometrías propuestas de cada una de las arquetas.

Perdidas de presión (mca)			
Propuestas	Arqueta 1	Arqueta 2	Arqueta 3
Propuesta 1	0.49	0.43	0.14
Propuesta 2	0.49	0.87	0.49
Propuesta 3	0.93	0.69	0.31
Propuesta 4	2.56	-	-

Tabla 7: Recopilación pérdidas de presión.

Puede observar por ejemplo como para la arqueta 1, la propuesta 4 supone una cantidad de pérdidas energéticas muy elevada, esto se debe a que al introducir un flujo en el seno de otro, pese a mejorar la concentración supone la aparición de una cantidad de turbulencias demasiado alta. En cuanto a la arqueta 2 cabe remarcar la mejora que supone la introducción de la canalización en forma de arco frente a los codos en ángulo recto, la primera propuesta de esta arqueta sería la que menos pérdidas supondría, sin embargo, la concentración alcanzada por la misma es poco homogénea en cuanto a la concentración.

La tercera arqueta es en la que menores pérdidas suponen sus propuestas, puede verse como la primera propuesta es la que menor ineficiencia energética tendrá, pese a que las otras dos alternativas planteadas tiene unas pérdidas muy reducidas en comparación con las demás propuestas planteadas para las distintas arquetas, será la primera propuesta la que demuestre mayor facilidad para alcanzar la concentración objetivo.

5. CONCLUSIONES.

Hay que resaltar que en cualquier tipo de proyecto de ingeniería es fundamental tratar de conseguir la mayor eficiencia posible en todos y cada uno de los aspectos técnicos del mismo, sin embargo, debido a las características del problema estudiado a lo largo de este proyecto, la eficiencia energética es el punto básico del estudio, lograr una concentración objetivo en la distancia adecuada es por esa razón de vital importancia, podría plantearse el problema de tal manera que haciendo una simple unión de las distintas tomas de agua y esperando que la concentración objetivo sea alcanzada 20 metros aguas abajo, esto sería de una gran sencillez técnica pero a la vez supondría una serie de problemas que al final no haría sino complicar más la posible solución, existe la posibilidad de un sobredimensionamiento de las canalizaciones, un mayor coste material e incluso un peligro para la instalación y las personas tanto encargadas de su mantenimiento como los consumidores

Una vez se han recopilado los suficientes datos referentes a concentración y pérdidas de presión y tras compararlos entre las diferentes propuestas para cada una de las tres arquetas, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

En cuanto a la arqueta 1, la propuesta 4 es sin lugar a dudas la que mejores resultados obtendría en cuanto a concentración, para todos los caudales propuestos es la que para una menor distancia obtiene la concentración objetivo, sin embargo, las pérdidas en la misma son demasiado elevadas, 2,56 mca, así pues, dicha propuesta queda descartada debido a las gran ineficiencia energética que supondría para el circuito hidráulico, queda por tanto como elección definitiva para

	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
	Salida 1	Salida2	Salida1	Salida2	Salida1	Salida2
Q1	0.034588	0.014794	-0.002106	0.001488	-0.005917	0.005085
Q2	0.029103	0.020279	-0.000489	-0.000294	-0.002052	0.001346
Q3	0.023854	-0.001854	-0.001670	0.001649	0.004697	-0.003416
Q4	0.014655	0.007345	-0.000942	0.001052	-0.000113	0.000880
ΣSalida	0.102201	0.044272	0.005208	0.004483	0.003384	0.010727
$\frac{ \Sigma Salida 1 + \Sigma Salida 2 }{8}$	0.018309		0.001211		0.001764	

esta arqueta, la propuesta 2, dicha propuesta cuenta con una relación de pérdidas de presión, 0.4941 mca, distancia hasta la concentración objetivo mucho más eficiente, se deberá situar en esta propuesta el conductímetro a una distancia igual o superior a 5 metros desde la salida de la arqueta a fin de no incurrir en errores de medida y asegurar el buen funcionamiento del mismo.

Para la arqueta 2 se ha tenido en cuenta la diferencia entre los valores de concentración obtenidos y la concentración objetivo para cada uno de los caudales.

Tabla 8: Diferencia entre concentraciones obtenidas y objetivo.

De esta manera y en vista de los resultados obtenidos para las concentraciones, se puede observar que es la propuesta 2 la que mejores resultados tendrá en cuanto a variación respecto de la concentración estequiométrica objetivo.

Finalmente para la arqueta 3, la propuesta con un mejor rendimiento energético y distancia hasta la consecución de la concentración objetivo es la propuesta 1, dicha distancia será de 6,5 metros y para la misma se obtendrán unas pérdidas de presión de aproximadamente una tercera parte respecto de las demás propuestas.

Cabe añadir que pese a que el diseño anterior al propuesto en este proyecto era perfectamente válido para las características de la instalación y del esquema hidráulico se ha podido mejorar su eficiencia en casi todos los puntos gracias a los complejos cálculos hidráulicos que han podido abordarse mediante el programa de cálculo empleado, Ansys, se ha tratado por tanto de mejorar el diseño previo mediante distintos conceptos de la mecánica de fluidos.