



Escuela Técnica
Superior de Ingeniería
de Caminos, Canales y
Puertos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Trabajo Final de Máster

Estudio de la aplicación de las distintas metodologías existentes para el cálculo de zona de mezcla a un caso concreto.

Alumna: Esther Hervàs González

Titulación: Máster en Ingeniería Ambiental

Directora del TFM: Inmaculada Romero Gil

Curso: 2016 - 2017

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la profesora Inmaculada Romero su paciencia y su respuesta positiva siempre que he intentado empezar y echar adelante este TFM, que no han sido pocas.

También quiero agradecer a la profesora Inmaculada Revuelta que me diese la idea principal para desarrollar el TFM, sin su consejo seguramente, a día de hoy, no habría ni oído hablar del tema.

Gracias a mi hija Vega, que aún antes de nacer me ha dado los ánimos y la fuerza para, de una vez por todas atreverme con la tarea de acabar este máster.

Por último, gracias a mi compañero de vida, Juanjo, porque, a pesar de todo, siempre me ha apoyado y me ayuda en cualquier idea que se me ocurre emprender, como la realización de este máster. Sin él, probablemente nunca hubiera llegado a este momento.

Índice general

1. Análisis del concepto de zona de mezcla y su desarrollo en España y los países vecinos europeos.....	1
1.1. Definición de zona de mezcla.....	1
1.2. Objetivos de la zona de mezcla	2
1.3. Metodologías para la designación de zonas de mezcla	3
1.4. Enfoque técnico para la designación de zonas de mezcla.....	3
1.4.1. Enfoque normativo para la designación de las zonas de mezcla.....	4
1.4.1.1. Zonas de mezcla en la legislación española.....	4
(a) PH Miño-Sil.....	5
(b) PH del Guadalquivir.....	6
(c) Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña	7
1.4.1.2. Zonas de mezcla en la legislación de los países europeos vecinos	7
(a) Italia	7
(b) Francia	9
(c) Portugal.....	11
1.4.1.3. Zonas de mezcla en la legislación de otros países europeos.....	13
2. Caso práctico. Estudio de la zona de mezcla de un vertido mediante emisario submarino.	14
2.1. Introducción.....	14
2.2. Cálculo de la zona de mezcla	14
2.2.1. Discharge Test	15
2.2.2. Visual Plumes.....	16
2.3. Definición del caso hipotético de estudio.....	18
2.3.1. Datos de base para la definición del caso de estudio.....	18
2.3.1.1. Medio receptor	18
(a) Temperatura.....	19
(b) Salinidad	19
(c) Velocidad de la corriente	20

(d) Dirección de la corriente	20
2.3.1.2. Emisario submarino	21
2.3.1.3. Vertido	23
2.4. Definición del caso hipotético de estudio.....	24
2.4.1. Medio receptor.....	24
2.4.2. Emisario submarino	25
2.4.3. Vertido.....	25
2.5. Definición de la zona de mezcla.....	27
2.5.1. Simulación del caso mediante la herramienta Discharge Test	28
2.5.2. Cálculo mediante la herramienta Visual Plumes.....	34
2.5.3. Análisis de los resultados	38
2.5.3.1. Delimitación de la zona de mezcla del caso de estudio	41
3. Conclusiones.....	45
4. Referencias	46
5. Anexo 1. Informes de las simulaciones del Discharge Test.....	50

Lista de figuras

Figura 1 - Esquema de la nomenclatura en Discharge Test.....	16
Figura 2 - Tabla resumen de los principales modelos del paquete Visual Plumes. Extraído de la "ficha 4. Descripción de los modelos del software Visual Plumes" [25]	17
Figura 3 - Esquema del vertido simulado por Visual Plumes. Esquema en alzado (izquierda) y planta (derecha).....	17
Figura 4 - Ficha identificativa de la EPSAR del emisario submarino de Gandía.....	22
Figura 5 - Ficha de información sobre el emisario submarino de Gandía.....	23
Figura 6 - Ficha de la depuradora de Gandía - La Safor de la EPSAR	24
Figura 7 - Vista en planta y perfil del esquema representativo del caso de estudio.....	27
Figura 8 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 1 de 3	28
Figura 9 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 2 de 3	29
Figura 10 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 3 de 3	29
Figura 11 - Captura de pantalla del resultado del cálculo básico del Discharge Test	30
Figura 12 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 1 de 3	30
Figura 13 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 2 de 3	31
Figura 14 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 3 de 3	32
Figura 15 - Captura de pantalla del resultado del cálculo avanzado del Discharge Test	32
Figura 16 - Gráfico de la máxima concentración admisible resultado de la simulación con Discharge Test.....	33
Figura 17 - Gráfico de las NCA resultado de la simulación con Discharge Test.....	33
Figura 18 - Captura de pantalla de introducción de los datos del difusor, vertido y ZM en Visual Plumes	34
Figura 19 - Captura de pantalla de introducción de los datos del ambiente en Visual Plumes	35
Figura 20 - Gráfico de la predicción de la dilución de la pluma resultado de la simulación con Visual Plumes	36
Figura 21 - Gráfico de vista de planta de la pluma resultado de la simulación con Visual Plumes	36
Figura 22 - Gráfico de la elevación de la pluma resultado de la simulación con Visual Plumes	37

Figura 23 - Resultado numérico de la simulación con Visual Plumes.....	37
Figura 24 - Simulación del caso de estudio sustituyendo los difusores por una salida única de 0,6m.....	39
Figura 25 - Resultado de la simulación del caso de estudio con ZM - MAC de 1.000m mediante Discharge Test.....	40
Figura 26 - Resultado de la simulación del caso de estudio con ZM - NCA de 1.000m mediante Discharge Test.....	40
Figura 27 - Obtención de la longitud de la zona de mezcla del caso de estudio	41
Figura 28 - Definición del área de la zona de mezcla del caso de estudio	42

Lista de tablas

Tabla 1 - Datos de temperatura extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P.	19
Tabla 2 - Datos de salinidad extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P. 20	
Tabla 3 - Datos de velocidad de la corriente extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P.....	20
Tabla 4 - Datos de dirección de la corriente extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P.....	21
Tabla 5 - Datos para la caracterización del emisario submarino para el caso de estudio... 25	
Tabla 6 - Datos para la caracterización del emisario submarino para el caso de estudio... 25	
Tabla 7 - Datos de NCA del mercurio del Anexo I de la Directiva 2008/105/CE	26
Tabla 8 - Parámetros del vertido para el caso de estudio	27
Tabla 9 - Caracterización completa del caso hipotético de estudio	27

1. Análisis del concepto de zona de mezcla y su desarrollo en España y los países vecinos europeos.

En esta primera parte del trabajo se analizará la aparición del concepto de zona de mezcla en la legislación europea y cómo, en primer lugar, las autoridades españolas lo han trasladado a la legislación estatal e incluso, a la legislación autonómica. También se realizará un análisis de cómo se ha adoptado el concepto de zona de mezcla en los países vecinos europeos, en concreto Portugal, Italia y Francia.

1.1. Definición de zona de mezcla

En el ámbito de la Unión Europea, el concepto de zona de mezcla (ZM) aparece por primera vez en la *Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE (Directiva 2008/105/CE)*.

En el artículo 4 de dicha normativa se define el concepto de zona de mezcla como:

Artículo 4

Zonas de mezcla 1.

Los Estados miembros podrán designar zonas de mezcla adyacentes a los puntos de vertido. Las concentraciones de una o más sustancias enumeradas en el anexo I, parte A, podrán superar las NCA pertinentes dentro de dichas zonas de mezcla siempre que el resto de la masa de agua superficial siga cumpliendo dichas normas.

Además, otros aspectos destacables que contempla dicho apartado es que la designación de las zonas de mezcla pertinentes se incluya en los planes hidrológicos de la cuenca en la que se realice el vertido incluyendo una descripción de los enfoques y métodos aplicados para definir dichas zonas, así como las medidas adoptadas, con vistas a reducir la extensión de dichas zonas de mezcla en el futuro. Además, se exige en el apartado 3 del mismo artículo que la ZM de esté limitada a las proximidades del punto de vertido y que sea proporcionada.

Resulta interesante hacer un pequeño análisis sobre la introducción de este concepto en la normativa ambiental de la Unión Europea, ya que, como es sabido, la Unión Europea ha pretendido históricamente, y lo sigue haciendo, mediante la aprobación de los distintos textos reglamentarios, una protección cada vez más elevada del medio ambiente y todo lo relacionado con él.

Para entender bien la política ambiental que la UE ha instaurado a lo largo de las últimas décadas, hay que conocer el enfoque combinado que propuso el parlamento Europeo en la *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*, la llamada directiva marco del agua (DMA) en su artículo 10. Este enfoque consiste en, por una parte, el control de las emisiones, teniéndose como referencia las mejores técnicas disponibles (MTD) y, por otra parte, del establecimiento de normas de calidad ambiental (NCA) que regulan los valores de inmisión. Sin embargo, esta visión global, que pretende conseguir una mejora cada vez más importante de la calidad de las aguas, puede no ser realista y en algunas ocasiones, la aplicación de las mejores técnicas disponibles puede no garantizar el cumplimiento de las normas de calidad ambiental.

Probablemente, el concepto y regulación de las ZM se haya propuesto, en la Directiva 2008/105/CE para dar respuesta a este fenómeno, que quedaba bastante en el aire en la nombrada DMA. En dicha directiva, la única propuesta a los casos en que un objetivo o norma de calidad fuese más restrictivo que las que originaría la aplicación del apartado 2 del artículo 10, es decir, los controles de emisión basados en las mejores técnicas disponibles o la aplicación de los valores de emisión que correspondan, la encontramos en el punto 3 del mismo artículo 10, en que la opción que se enuncia es el establecimiento de controles de emisión más rigurosos. Es muy probable que esta alternativa no fuese realista en la mayoría de los casos problemáticos, por lo que se pensó en introducir algún tipo de elemento reglamentario para poder cumplir la ley al mismo tiempo que era técnica o económicamente inviable hacerlo.

1.2. Objetivos de la zona de mezcla

Teniendo en cuenta todo lo enunciado en el apartado anterior, los objetivos de la designación de ZM son los siguientes:

- Cumplimiento de la legislación. Al permitir que se incumplan las NCA en cierta zona cercana al punto de vertido, se evita, que las industrias o empresas responsables de dichos vertidos estén sistemáticamente incumpliendo las leyes con todo lo que ello conlleva.
- Acotación y registro de las zonas en que las NCA puedan ser incumplidas. La obligación de incluir las ZM designadas en los planes hidrológicos hace que se pueda mantener un control más exhaustivo de las zonas en que se superan los valores de calidad ambiental requeridos.
- Focalización de los esfuerzos para el cumplimiento de las NCA. Si la zona en donde no se cumple la norma está acotada y es relativamente reducida, será mucho más sencillo y factible buscar y encontrar soluciones.

1.3. Metodologías para la designación de zonas de mezcla

El siguiente paso, una vez definido el concepto de ZM es poder llevarlo a la práctica. Es por ello que se han de definir metodologías para facilitar su implantación y la normalización de la utilización de las ZM. El análisis de las metodologías desarrolladas para la designación de las zonas de mezcla se hará desde dos puntos de vista. En primer término, analizaremos desde el punto de vista técnico qué recomendaciones ha hecho la Comisión Europea y qué soluciones se han ido adoptando en los diferentes trabajos realizados. En segundo término y teniendo en cuenta que cada Estado miembro ha de trasponer las Directivas para adaptarlas a su marco legislativo, veremos cómo España y los países vecinos han incluido el concepto de ZM en su legislación.

1.4. Enfoque técnico para la designación de zonas de mezcla

En diciembre de 2010, la Comisión Europea publicó el documento *Orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla en aplicación de lo dispuesto en artículo 4, apartado 4 de la Directiva 2008/105/CE*. Se trata de un documento en donde se desarrollan metodologías para la designación de las ZM en los diferentes escenarios que se pueden dar en una situación de vertidos que incumplan la norma. La Comisión Europea recomienda utilizar estas orientaciones técnicas, aunque no son de obligado cumplimiento por dos razones. En primer lugar, unas orientaciones técnicas nunca pueden ser de obligado cumplimiento, y en segundo lugar, hay que recordar, que la designación de ZM es optativa y, en ningún caso se obliga a ello. No obstante, el documento presenta una buena base para la designación de las ZM, ya que la Directiva reguladora es bastante laxa en su definición.

El documento tiene un doble objetivo, que es ayudar a las autoridades competentes, por una parte, a decidir si es necesaria la definición de ZM y por otra a definir el tamaño y la accesibilidad de esta mediante una “estrategia escalonada” que permitirá aplicar los grados de detalle y de control adecuados para el escenario que se presenta.

En general, esta ha sido la base para el cálculo de las ZM de la mayoría de trabajos existentes sobre la materia, algunos ejemplos de estos trabajos son:

- Ceka, Arnola. (2011) Water Framework Directive and Mixing Zone Guidelines Applied on a Smelter and Mine Scenario at two Boliden Sites. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.
- Troya Pérez, L.M. (2012) Determinación de la zona de mezcla de los vertidos hídricos en el estuario del Guadiana. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, España.
- Rodríguez Benítez, A. J. (2016) Metodología para el análisis de zonas de mezcla de vertidos puntuales en medios fluviales. Universidad de Cantabria, España.

- Ferrerira de Lima Freire, A. A. (2016) Metodología para el establecimiento de zonas de mezcla de vertidos de emisarios submarinos en aguas costeras.

Existen algunos países que han optado por desarrollar ellos mismos una metodología, al margen o en base a las orientaciones de Comisión Europea para facilitar a las autoridades competentes la designación de las ZM.

Este es el caso de la República Checa, donde el T.G. Masaryk Water Research Institute ha desarrollado una metodología y una herramienta de software para el cálculo de las ZM llamada “The Czech Pollution Test” (El Test Checo de Contaminación). El modelo es capaz de representar la escala espaciotemporal de la pluma contaminante, y la concentración de sustancias peligrosas en la sección longitudinal y transversal del río.

Otro ejemplo, es el de Letonia y Lituania, que han formado un tándem para gestionar las zonas de mezcla de los territorios transfronterizos y han desarrollado HOTRISK, un proyecto enfocado a la armonización de la gestión del agua y del riesgo de contaminación. En este proyecto, basado en las orientaciones técnicas, se ha elegido la herramienta “Discharge test” como la óptima para la complejidad detectada en las aguas de estudio, que se ha extrapolado al conjunto de aguas transfronterizas.

1.4.1. Enfoque normativo para la designación de las zonas de mezcla

En cuanto al enfoque normativo, revisaremos en profundidad cuál es el estado del arte de la designación de las ZM en España, así como en los países vecinos de Francia e Italia. Finalmente haremos una revisión sucinta de lo que ocurre en otros países europeos.

1.4.1.1. Zonas de mezcla en la legislación española

En España, desde que en el año 2008 la Comisión Europea aprobara la Directiva que introduce el concepto de ZM, se han redactado y aprobado dos Reales Decretos al respecto. En primer lugar, en el año 2011 se aprobó el *Real Decreto 60/2011 de 21 de enero sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas*, en el cual, acorde a la Directiva correspondiente, se definía el concepto de zona de mezcla de forma bastante somera y se imponía la obligación de, en caso de definir alguna, reflejarlo en el correspondiente plan hidrológico, así como de definir estrategias para reducir su superficie en el futuro. Esta regulación nada mencionaba sobre “cómo” definir las citadas zonas de mezcla o a qué reglamento u otro tipo de documento se podía recurrir en caso de querer o necesitar designar una zona de mezcla. En el año 2015, se aprobó el *Real Decreto 817/2015 de 11 de septiembre por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental*, que, entre otros deroga el RD 60/2011 expuesto anteriormente. En el documento vigente, en el artículo 3.47 se define la zona de mezcla como:

Zona de mezcla

Zona adyacente a un punto de vertido donde las concentraciones de los diferentes constituyentes del mismo pueden no corresponder al régimen de mezcla completa del efluente y el medio receptor.

Esta es la primera definición como tal que podemos encontrar en la legislación española, teniendo en cuenta que, a nivel europeo, la única definición concreta la encontramos en el documento de orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla de la Comisión Europea donde se hace referencia a esta carencia y se acuerda generar una definición adecuada de zona de mezcla sobre la que basarse para la redacción de todo el resto del documento. El resto de articulado del RD 817/2015 es exactamente igual al del texto derogado.

Se observa, por tanto, que a nivel nacional la regulación de las zonas de mezcla no está ni demasiado delimitada ni, probablemente lo suficientemente normalizada. Veamos qué ocurre a nivel de demarcaciones hidrográficas, que son, en definitiva, los organismos más directamente afectados por este concepto.

A este nivel, podemos distinguir dos conjuntos diferenciados del total de planes hidrológicos de cuenca, los planes del segundo ciclo (2015 - 2021), que fueron aprobados en enero de 2016 por el Consejo de Ministros y aquellos del primer ciclo (2009 - 2015) la segunda fase de los cuales todavía no han sido desarrollada y/o aprobada. También se ha de tener en cuenta el Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña, para el periodo 2016 - 2021 cuyo texto fue aprobado el pasado 3 de enero de 2017. Evidentemente, en los planes del primer ciclo no cabe preguntarse si se ha incluido alguna zona de mezcla, lo que, por el contrario, sí que sería lógico preguntarse sobre los planes del segundo ciclo. En este caso, únicamente tres (de los dieciocho) planes, mencionan las zonas de mezcla: El PH del Miño-Sil, el PH del Guadalquivir y el Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña para el periodo 2016 - 2021.

(a) PH Miño-Sil

El concepto de ZM en el PH Miño-Sil aparece de forma meramente testimonial, ya que únicamente se le hace referencia, en primer lugar, en las disposiciones normativas en su artículo 43.4, dedicado al caudal preventivo:

4. La autorización de vertido a los cauces a los que se refiere el apartado 3 se realizará teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas de calidad ambiental aplicables a las masas de agua con las que confluyan así como la potencial zona de mezcla.

El otro capítulo en el que aparece este concepto es en capítulo 7. Valoración del estado de las masas de agua, en su apartado 2.12. Estado químico.

(...) Así mismo, en la evaluación no han sido consideradas las zonas de mezcla, aquellas zonas próximas a puntos de descarga en los que se permite la superación de los objetivos de calidad de las sustancias, siempre y cuando la calidad del resto de la masa de agua no se vea afectada. Por el momento estas zonas de mezcla no han sido determinadas y, por tanto, deben de cumplirse las normas de calidad en todos los puntos de las masas de agua (GC-7.34) (GC-7.35) (...)

Por tanto, tal y como se ha comentado al principio del apartado, parece que la introducción del concepto de ZM en este PH es puramente teórico y, de momento, carece de ningún tipo de aplicación práctica.

(b) PH del Guadalquivir

Otro de los planes hidrológicos que ha tenido en cuenta en su redacción el concepto de ZM es el PH del Guadalquivir. A diferencia del anterior, este es algo más concreto aunque sea de forma provisional. En el artículo 32. Zonas de mezcla, de las disposiciones normativas aprobadas en el RD 817/2015, se regulan las ZM:

Artículo 32. Zonas de mezcla

De manera provisional y en tanto se realizan estudios que permitan dar criterios para definir las zonas de mezcla contempladas en el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, se delimitan como zonas de mezcla en los vertidos de estaciones depuradoras de aguas residuales y a los efectos previstos en el citado Real Decreto, los 100 metros de cauce aguas abajo del punto de vertido.

En este caso, se define un valor concreto para la zona de mezcla sin tener en cuenta ninguna característica del medio receptor: tipo, anchura, longitud, corrientes, tipo de sustancia prioritaria etc. Por lo que a priori, podríamos considerar que este tipo de definiciones o designaciones de ZM no se adecuen al articulado correspondiente de la Directiva 2008/105/CE, ya que en ningún momento se realiza una descripción y/o explicación de los enfoques y métodos aplicados para definir la distancia enunciada. Además de esto, la definición de las ZM con valores fijos resulta inexacta y puede que, en ocasiones no tenga demasiado sentido por resultar bien demasiado extensa o insuficiente.

(c) Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña

Por último, es en el *Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña para el periodo 2016-2021* en donde podemos encontrar la tercera referencia a las ZM. En este caso, sigue la misma línea del anterior, definiendo un valor fijo, aunque en este caso es algo más conservador, ya que la distancia fijada es de 50 metros, siguiendo la misma línea que en la versión anterior del plan. La referencia se puede encontrar en el punto 8. Plazos, identificación de las condiciones por el establecimiento y prórrogas:

(...) Igualmente, hay que considerar las zonas de mezcla, zonas próximas al vertido de sustancias prioritarias u otros contaminantes que no se consideran representativo del conjunto de la masa de agua, y donde se permiten superar los valores establecidos a las normas de calidad ambiental. En el primer Plan de gestión se designaron zonas de mezcla en aguas costeras y en ríos. En aguas costeras estas zonas se definen para cada emisario en una circunferencia centrada en el punto de vertido y con un radio de 50 m. En ríos las zonas de mezcla engloban la zona comprendida entre el punto de vertido y 50 metros aguas abajo de lo mismo.

1.4.1.2. Zonas de mezcla en la legislación de los países europeos vecinos

(a) Italia

La legislación italiana también ha recogido el concepto de ZM y la posibilidad de su definición en la modificación del *Codice dell'Ambiente, decreto legislativo, 03/04/2006 n° 152, G.U. 14/04/2006* realizada por el *Decreto Legislativo 10 dicembre 2010, n.219 "Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualita' ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE, nonche' modifica della direttiva 2000/60/CE e recepimento della direttiva 2009/90/CE che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque"*. Este artículo reconoce la potestad de designar zonas de mezcla a las regiones y provincias autónomas y añade las características básicas reflejadas en la Directiva para ello, sin acotar o marcar pautas más concretas para su definición.

Art. 78-bis.

Zone di mescolamento

1. Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano possono designare zone di mescolamento adiacenti ai punti di scarico di acque reflue contenenti sostanze dell'elenco di prioritaria nel rispetto dei criteri

tecnicî stabiliti con decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sulla base delle linee guida definite a livello comunitario, ai sensi dell'articolo 4, paragrafo 4, della direttiva 2008/105/CE. Le concentrazioni di una o piú sostanze di detto elenco possono superare, nell'ambito di tali zone di mescolamento, gli SQA applicabili, a condizione che il superamento non abbia conseguenze sulla conformita' agli SQA del resto del corpo idrico superficiale.

2. Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano designano le zone di mescolamento assicurando che l'estensione di ciascuna di tali zone:

a) sia limitata alle vicinanze del punto di scarico;

b) sia calibrata sulla base delle concentrazioni di inquinanti nel punto di scarico, dell'applicazione delle disposizioni in materia di disciplina degli scarichi di cui alla normativa vigente e dell'adozione delle migliori tecniche disponibili, in funzione del raggiungimento o mantenimento degli obiettivi ambientali.

3. Le regioni, le province autonome di Trento e di Bolzano e le autorità di distretto riportano, rispettivamente, nei piani di tutela e nei piani di gestione le zone di mescolamento designate indicando:

a) l'ubicazione e l'estensione;

b) gli approcci e le metodologie applicati per definire tali zone;

c) le misure adottate allo scopo di limitare in futuro l'estensione delle zone di mescolamento, quali quelle necessarie alla riduzione ed all'eliminazione dell'inquinamento delle acque superficiali causato dalle sostanze dell'elenco di prioritá o le misure consistenti nel riesame delle autorizzazioni rilasciate ai sensi del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59, e successive modificazioni, o delle autorizzazioni preventive rilasciate ai sensi del presente decreto.

4. Le disposizioni di cui al presente articolo non si applicano nelle aree protette elencate all'allegato 9, alle lettere i), ii), iii), v).¹

¹ Art. 78-bis.

(b) Francia

En Francia, a nivel estatal se ha regulado de forma algo más concreta las ZM que en España. Así, en el *Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement* (Decreto de 25 de enero de 2010 relativo a los métodos y criterios de evaluación de l'état

zonas de mezcla

1. Las regiones y provincias autónomas de Trento y Bolzano podrán establecer zonas adyacentes a los puntos de descarga de aguas residuales que contienen sustancias prioritarias en el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos por el decreto del Ministerio de Medio Ambiente y Protección del territorio y el mar, sobre la base de las directrices elaboradas a nivel comunitario, de conformidad con el artículo 4, párrafo 4, de la Directiva 2008/105 / CE. Las concentraciones de una o más sustancias de dicha lista se puede superar, en el ámbito de estas zonas de mezcla, las NCA pertinentes, siempre que el exceso no tenga ningún efecto sobre el cumplimiento con las NCA en el resto de la masa de agua superficial.

2. Las regiones y las provincias autónomas de Trento y Bolzano designan las zonas de mezcla, garantizando que la extensión de cada una de estas áreas:

a) esté limitada a las proximidades del punto de descarga;

b) sea calculada en función de las concentraciones de contaminantes en el punto de descarga, la aplicación de las disposiciones relativas a la regulación de las descargas de acuerdo con la legislación vigente y la adopción de las mejores técnicas disponibles, en función de la consecución o mantenimiento de los objetivos medioambientales.

3. Las regiones, las provincias autónomas de Trento y Bolzano, y el distrito de las autoridades informarán, respectivamente, en los planes de protección y en las áreas de gestión de la zona de mezcla designada con los datos siguientes:

a) la localización y extensión;

b) los enfoques y métodos aplicados para definir dichas zonas;

c) las medidas a adoptar en el futuro con el fin de limitar la extensión de las zonas de mezcla, tales como las necesarias para la reducción y eliminación de la contaminación de las aguas superficiales causada por las sustancias prioritarias o las medidas que consisten en la revisión de autorizaciones expedidas de conformidad con el decreto legislativo 18 de febrero de 2005, n. 59, y sucesivas modificaciones, o las autorizaciones previas emitida bajo este decreto.

4. Las disposiciones del presente artículo no se aplicarán en las áreas protegidas que figuran en el anexo 9, las letras i), ii), iii), v).

ecológico, del estado químico y del potencial ecológico de las aguas superficiales en aplicación de los artículos R. 212-10, R. 212-11 y R. 212-18 del código del medio ambiente), en su artículo 17 enumera los criterios de definición de las zonas de mezcla:

Article 17:

La longueur d'une zone de mélange est proportionnée à la largeur de la masse d'eau et ne peut dépasser:

- dix fois la largeur du cours d'eau au droit du point de rejet;*
- dix pour cent de la longueur de la masse d'eau dans laquelle s'effectue le rejet,*
- un kilomètre²*

Además, en 2012, el Ministerio de la ecología, desarrollo sostenible y energía de Francia, publicó la “*Guide technique relatif aux modalités de prise en compte des objectifs de la DCE en police d'eaux*”, una guía técnica cuyo objetivo es marcar las bases para la toma en consideración de los objetivos de la Directiva Marco del agua en cuestión de aguas y que fue actualizada en 2015. En esta guía se incluye un capítulo dedicado a la noción y dimensionamiento de una zona de mezcla, a partir de las indicaciones de los documentos normativos ya nombrados incluidas las orientaciones técnicas. En el documento se diferencian 2 modalidades de utilización y dimensionamiento, en primer lugar, aquellos escenarios en los que el dimensionamiento reglamentario de una ZM no es útil, en segundo lugar, el caso en que sí que se requiere la definición de la ZM. Este segundo supuesto lo divide en dos, el enfoque general, para cursos de agua en el que rescata literalmente el artículo 17 del decreto comentado con anterioridad y el enfoque detallado para otro tipo de escenario: estuarios, aguas costeras, lagos, etc. En este caso, invita a calcular la ZM a partir de los datos reales del vertido y el medio receptor con la ayuda o bien de un software o bien de una hoja de cálculo que debería de estar a disposición del ciudadano en la página web

² Artículo 17:

La longitud de una zona de mezcla es proporcional a la anchura de la masa de agua y no puede sobrepasar:

- diez veces la anchura del curso del agua en el punto de vertido,
- diez por ciento de la longitud de la masa de agua en la que se efectúa el vertido,
- un kilómetro

AIDA, una página en lengua francesa de información relativa al derecho del medio ambiente y que está desarrollada a demanda del Ministerio encargado del medio ambiente.

Se puede observar cómo el gobierno francés ha ido un paso más allá que los gobiernos españoles e italianos en este tema, facilitando la labor de designación de zona de mezcla a las autoridades competentes.

(c) Portugal

En el país vecino Portugal, las prescripciones de la Directiva 2008/105/CE se tuvieron en cuenta en el *Decreto-Lei n.º 103/2010 de 24-09-2010*, en cuyo artículo 9 del capítulo II: *Normas de qualidade ambiental, monitorização* regula las ZM. Dicho artículo recoge casi literalmente el artículo análogo de la Directiva donde se definen las ZM:

Artigo 9.º - Zonas de mistura

1 - A zona de mistura constitui a área adjacente a qualquer descarga de uma ou mais substâncias indicadas nos anexos I e II do presente decreto-lei onde:

a) Ainda não teve lugar a mistura completa da substância descarregada com a água superficial cujas características de qualidade se pretendem determinar; e

b) As concentrações de uma ou mais substâncias indicadas nos anexos I e II do presente decreto-lei podem ultrapassar as respectivas NQA desde que não afectem a conformidade das restantes massas de águas superficiais em relação a essas NQA.

2 - O Instituto da Água, I. P., pode, mediante proposta fundamentada da ARH territorialmente competente, designar, na área adjacente ao ponto de descarga, zonas de mistura de substâncias indicadas nos anexos I e II do presente decreto-lei.

3 - Os PGBH devem incluir, para cada zona de mistura designada, uma descrição:

a) Das abordagens e dos métodos aplicados para determinar a zona de mistura;

b) Das medidas tomadas para reduzir a dimensão da zona de mistura, nomeadamente as indicadas na alínea e) do n.º 3 do artigo 30.º da Lei da Água, e as associadas à reavaliação das condições de licenças de

rejeição de águas residuais emitidas ao abrigo do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, ou de legislação anterior, de acordo com o princípio da abordagem combinada a que se refere o artigo 53.º da referida Lei da Água.

4 - A dimensão das zonas de mistura deve limitar-se à proximidade do ponto de descarga e ser proporcionada à rejeição, atendendo à concentração de poluentes no ponto de descarga, às normas de rejeição constantes das licenças de rejeição de águas residuais ou aos valores limite de emissão previstos na legislação em vigor para as rejeições não licenciadas.

5 - Compete ao Instituto da Água, I. P., fornecer as orientações técnicas para a identificação das zonas de mistura de acordo com os procedimentos que venham a ser aprovados pela Comissão Europeia.³

La curiosidad de este artículo reside en la propia definición de ZM, ya que, a diferencia del resto de países que se han analizado en el presente estudio, en la legislación portuguesa, se ha optado por definir como ZM, además de las zonas de proximidad a los vertidos en donde se incumplen las NCA de ciertas sustancias prioritarias, aquellas zonas en que no se ha producido la mezcla completa de la sustancia de estudio con el agua superficial. Este enfoque resulta novedoso porque añade una variable más que hasta el momento no había aparecido: la mezcla completa. Aunque en el resto de legislación analizada se presupone

³ 1 - La zona de mezcla constituye la zona adyacente a cualquier descarga de una o más sustancias indicadas en los anexos I y II del presente Decreto-ley donde:

a) aún no se ha producido la mezcla completa de la sustancia descargada con el agua superficial cuyas características de calidad se pretenden determinar; y

b) las concentraciones de una o varias sustancias indicadas en los anexos I y II del presente Decreto-ley pueden sobrepasar sus NCA siempre que no afecten a la conformidad de las demás masas de aguas superficiales en relación con dichas NCA.

2. El Instituto del Agua, I. P., podrá, a propuesta motivada de la ARH territorialmente competente, designar, en el área adyacente al punto de descarga, zonas de mezcla de sustancias indicadas en los anexos I y II del presente Decreto-ley.

3. Los PGBH deberán incluir, para cada zona de mezcla designada, una descripción de:

a) El enfoque y los métodos aplicados para determinar la zona de mezcla;

b) las medidas adoptadas para reducir el tamaño de la zona de mezcla, en particular las indicadas en la letra e) del apartado 3 del artículo 30 de la Ley del Agua, y las que se refieren a la reevaluación de las condiciones de las licencias de vertido de las aguas residuales emitidas en virtud del Decreto-Ley nº 226-A / 2007, de 31 de mayo, o de legislación anterior, de acuerdo con el principio del enfoque combinado a que se refiere el artículo 53 de la referida Ley del Agua.

4 - El tamaño de las zonas de mezcla debe limitarse a la proximidad del punto de descarga y ser proporcionada al rechazo, teniendo en cuenta la concentración de contaminantes en el punto de descarga, a las normas de vertido contenidas en las licencias de vertido de aguas residuales o en los valores límite de emisión previstos en la legislación vigente para los vertidos sin licencia.

5 - Corresponde al Instituto del Agua, I. P., proporcionar las orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla de acuerdo con los procedimientos que sean aprobados por la Comisión Europea.

este hecho, ya que una vez conseguida la mezcla completa entre efluente y medio receptor no tendría sentido buscar la ZM ya que a partir de ese punto o área la concentración se mantendría invariable, es interesante la inclusión de manera explícita en el articulado de la ley de referencia sobre las ZM.

1.4.1.3. Zonas de mezcla en la legislación de otros países europeos

En el resto de países europeos también se ha trabajado en el concepto y designación de las ZM de forma similar a los ya comentados.

En Dinamarca, se ha optado por una distancia fija partiendo de la zona de dilución inicial. Por ejemplo, para las aguas costeras, esta distancia es de 50-100 m desde el punto de vertido. En los Países Bajos se ha optado por un modelo más similar al ya comentado francés, ya que se define la longitud máxima admisible de la ZM de sustancias químicas para las masas de agua de tipo lineal con relación a la anchura de la masa de agua, $10 \cdot W$, con un máximo de 1.000 m. En el caso de las aguas costeras se define un volumen máximo que en aguas costeras profundas corresponde a una longitud de 150m. En Austria, la longitud se limita 1.000 m para las masas de agua de hasta 100 m de anchura y $10 \cdot W$ si esta es superior.

Por último y, aunque no pertenezca a la Unión Europea, es interesante citar el caso de los Estados Unidos, en la donde la primera definición oficial del concepto de zona de mezcla, relativa a vertidos contaminantes, aparece en el año 1991 en una guía técnica de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA), 17 años antes que en Europa se empezase a regular el tema.

2. Caso práctico. Estudio de la zona de mezcla de un vertido mediante emisario submarino.

2.1. Introducción

Para el estudio de la ZM de cualquier vertido es necesario conocer el máximo número de parámetros tanto del vertido como del medio receptor, así como del sistema de descarga del vertido. En algunos casos es complicado obtener todos los datos requeridos de forma empírica, por lo que en ocasiones se debe recurrir a datos estadísticos o a realizar hipótesis con bases lo más ajustadas a la realidad que sea posible.

Para definir el caso a estudio, se ha decidido que este sea hipotético, pero siempre basándonos en escenarios y datos reales. Concretamente, y como se podrá consultar en los siguientes apartados con más detalle, los datos del medio receptor se han basado en datos del mar Mediterráneo, el emisario modelo ha sido el de Gandía y los valores de las sustancias prioritarias se han basado en valores reales de contaminantes medidos en efluentes de distintas depuradoras de la Comunitat Valenciana.

Este caso práctico, se estudiará la ZM del caso de estudio definido, analizando si esta es admisible o si, por el contrario, el vertido, tal y como está definido, no admite la delimitación de una ZM, en cuyo caso habrá que buscar actuaciones para mejorar las condiciones del medio receptor.

Este trabajo se realizará con la ayuda de dos herramientas informáticas, de acceso libre, Discharge Test y Visual Plumes. En apartados posteriores se explicará en qué consisten dichos softwares y para qué se utilizarán.

2.2. Cálculo de la zona de mezcla

El cálculo de la ZM se realizará siguiendo las directrices marcadas por la Comisión Europea en su documento *Orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla en aplicación de lo dispuesto en artículo 4, apartado 4 de la Directiva 2008/105/CE*. El objetivo de dichas orientaciones es:

(...), en primer lugar, en ayudar a las autoridades competentes a determinar en qué casos se requiere una zona de mezcla y, en segundo lugar, a definir el tamaño y la admisibilidad de ésta, utilizando para ello una “estrategia escalonada” que permita aplicar el nivel adecuado de detalle y control.

La “estrategia escalonada” a la que se hace referencia en el apartado anterior tiene la ventaja de que proporciona soluciones específicas dependiendo del caso, recomendando el

grado de precisión necesario. Está dividida en 5 niveles y en cada escalón o nivel, el objetivo consiste en identificar los vertidos que no presentan ningún riesgo y los que requieren alguna medida dirigida a reducir la extensión de la ZM. Los objetivos de los diferentes niveles son los siguientes:

Nivel 0 – Determinación de la presencia de contaminantes de riesgo: Este nivel está diseñado para identificar la presencia de vertidos capaces de provocar el incumplimiento de las NCA en cuanto a las concentraciones de CoC.

Nivel 1 – Análisis preliminar: Este escalón determina si los vertidos identificados en el nivel 0 deben de ser objeto de nuevas consideraciones, aplicando para ello unas pruebas sencillas que permiten excluir a los vertidos inocuos de otros estudios más avanzados.

Nivel 2 – Estudio simple de la ZM: La finalidad del estudio de este nivel es la eliminación de aquellos vertidos que pertenezcan claramente a las categorías de admisibles o de inadmisibles.

Nivel 3 – Evaluación detallada de la ZM: El objetivo del nivel 3 es la evaluación al detalle de los casos más complejos.

Nivel 4 – Estudio científico: Este escalón permite alejar dudas que puedan persistir después de los análisis efectuados en los niveles anteriores. En ese caso sería aconsejable llevar a cabo un estudio científico capaz de validar los resultados, refinar los métodos aplicados o describir en detalle los impactos derivados de las NCA.

Existen varias herramientas informáticas basadas en modelos que pueden ayudar a aplicar la estrategia propuesta en el documento de orientaciones técnicas. En el presente trabajo se utilizarán dos de ellos, con fines complementarios: Discharge Test y Visual Plumes.

2.2.1. Discharge Test

El Discharge Test es una aplicación informática del Ministerio de Medio Ambiente de Holanda directamente disponible a través de la web, de acceso libre y desarrollada por el Instituto Deltares.

Esta aplicación se basa en el documento de *orientaciones técnicas* de la Comisión Europea, evaluando los tres primeros niveles, 0, 1 y 2, permitiendo determinar si un vertido es claramente admisible, es decir, que cualquier otro análisis más preciso o detallado no modificará dicha conclusión, o si, por contra es inadmisibles. En el caso de que las todas las zonas propuestas sean claramente admisibles, se podrá proceder a la designación de la ZM sin necesidad de realizar más estudios.

Más específicamente, el Discharge Test determina la concentración en la proximidad del punto de descarga y evalúa si la concentración (CL) en el borde de la zona de mezcla, una zona limitada en las proximidades del punto de descarga cumple con la norma EQS y el aumento de la concentración (ΔCL) no conduce a un deterioro significativo de la calidad del agua.

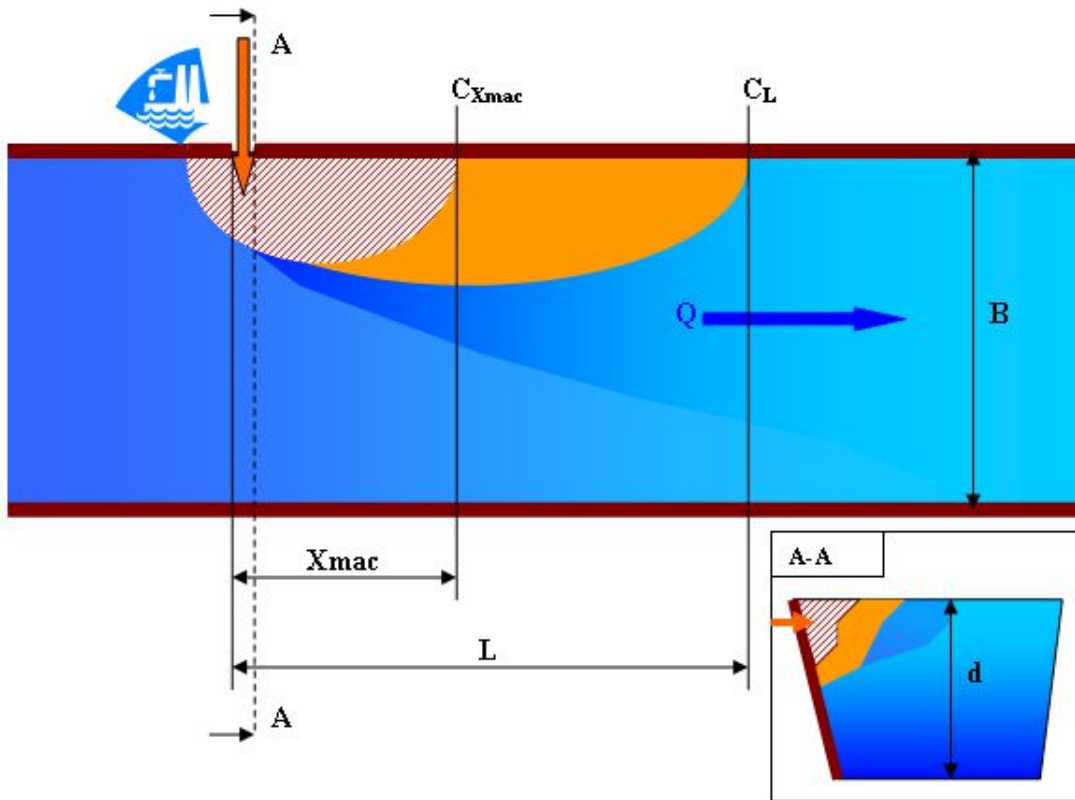


Figura 1 - Esquema de la nomenclatura en Discharge Test

En el presente trabajo se realizará un primer análisis del escenario propuesto mediante la herramienta Discharge Test, con el objetivo de realizar una primera valoración de los efectos del vertido sobre el medio receptor.

2.2.2. Visual Plumes

El software Visual Plumes es una aplicación de informática desarrollada por la EPA (United States Environmental Protection Agency) basada en Windows. Está diseñada para simular el comportamiento de los vertidos, su movimiento y las concentraciones de las sustancias prioritarias presentes en dicho vertido. Es un programa útil en los análisis de las ZM, cargas máximas totales y otras aplicaciones de calidad de agua.

El paquete Visual Plumes está integrado por varios modelos de simulación que en algunos casos pueden servir para un mismo caso de estudio, pudiendo así comparar los resultados obtenidos mediante distintos modelos.

Los modelos de simulación implementados en el Visual Plumes son:

HERRAMIENTAS, SUBMÓDULOS DEL PROGRAMA VISUAL PLUMES			
Campo cercano	Modelos basados en análisis dimensional	NRFIELD (RSB) (3)	- Vertido sumergido mediante tramo difusor de chorros múltiples. Dos boquillas por elevador, chorros bilaterales, formando 180° entre sí - Efluentes de flotabilidad positiva - Modelo 3D basado en análisis dimensional. Parámetros experimentales derivados de los ensayos de laboratorio de Roberts, 1989 (4)
	Modelos de ecuaciones integradas	DKHW (5)	- Vertido sumergido mediante chorro individual o tramo multidifusor. - Efluentes de de flotabilidad positiva. - Modelo euleriano tridimensional - Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal
		UM3 (2)	- Vertido mediante chorro individual o con tramo multidifusor - Efluentes de flotabilidad positiva y negativa. - Modelo lagrangiano tridimensional - Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
		PSDW (6)	- Vertidos directos superficiales desde canales, en un medio receptor en movimiento. - Efluentes de flotabilidad positiva - Modelo euleriano tridimensional
Campo lejano	Ecuación de Brooks	FRFIELD	Estimación de la dilución en campo lejano mediante la ecuación de Brooks Efluentes de flotabilidad positiva
Adicionales	DOS PLUMES		Permite aprovechar los casos y resultados obtenidos con la versión anterior del programa: PLUMES.

Figura 2 - Tabla resumen de los principales modelos del paquete Visual Plumes. Extraído de la "ficha 4. Descripción de los modelos del software Visual Plumes" [25]

Por otra parte, en la figura que sigue, se muestra cuál es el esquema del vertido simulado por Visual Plumes, tanto en alzado como en planta. Es muy interesante tener presente estos esquemas para poder, en primer lugar, implementar los datos disponibles con la mayor rigurosidad posible de forma que no haya confusiones que lleven a falsear los resultados, y por otra, dichos esquemas ayudarán a una correcta interpretación de los resultados

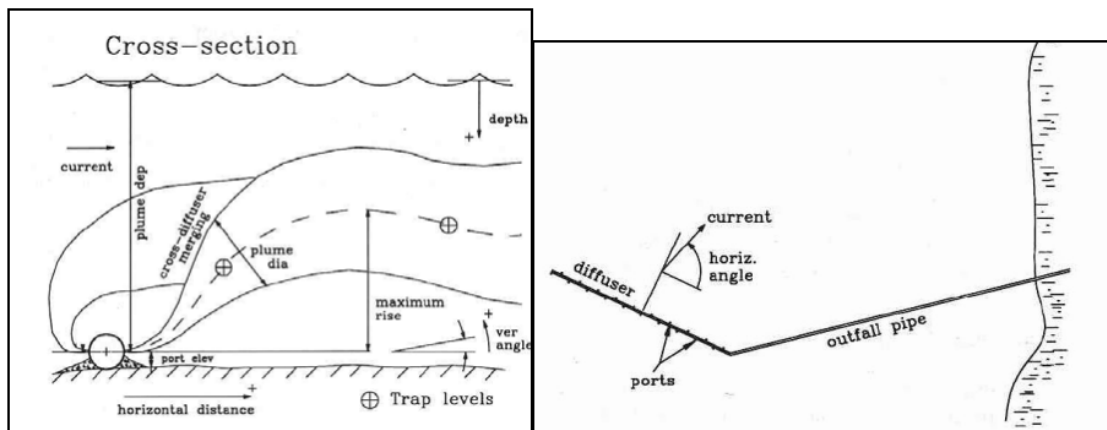


Figura 3 - Esquema del vertido simulado por Visual Plumes. Esquema en alzado (izquierda) y planta (derecha).

En el presente documento, el paquete Visual Plumes se utilizará para, analizar con más detalle los efectos del vertido del caso de estudio sobre el medio receptor y comportamiento de la pluma contaminante. De esta forma se podrá llegar a entender dicho comportamiento, con el fin de analizar cuáles son las variables que más influyen en la definición de las ZM, su extensión, alcance, concentraciones, etc.

2.3. Definición del caso hipotético de estudio

En el presente apartado se explicará, en una primera parte, cuáles son los datos que han servido de base para la elección de los datos finales que definirán el caso de estudio, que se presentará en un segundo subapartado.

2.3.1. Datos de base para la definición del caso de estudio

2.3.1.1. Medio receptor

El mar Mediterráneo es un mar intercontinental que abarca un área de, aproximadamente, 2,5 millones de km² y tiene una longitud máxima de unos 3.900 kilómetros. Su anchura máxima es de 1.600 kilómetros entre las partes más alejadas, y divide Europa y África por tan solo 14 kilómetros. La profundidad media del mar es de 1.500 metros.

El Mediterráneo está conectado con el océano Atlántico, su fuente de renovación y reposición de agua, únicamente por el estrecho de Gibraltar, por lo que su cuenca es casi completamente cerrada, no en vano tiene un periodo de renovación de las aguas de 90 años. Sus aguas poseen una salinidad elevada, bastante superior a la del Atlántico. Esto se debe a dos fenómenos principalmente, el poco movimiento de mareas que registra y su alta evaporación. La salinidad media del mar Mediterráneo a 5 metros es de 3,8%.

Para la determinación de las ZM, según el documento de *orientaciones técnicas* es necesario conocer una serie de datos cercanos al punto de vertido y a diferentes profundidades: cerca de la superficie y cerca del lecho. Estos datos son bastante concretos y no son datos de interés público como lo puedan ser los datos medios, por lo que estimarlos, aunque se trate de un caso hipotético no es sencillo y resulta demasiado arriesgado sin disponer de referencias reales. Es por eso por lo que, para la elección de dichos datos, se ha decidido basarse en datos empíricos extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P. *Estudio del estado de contaminación marina en la zona costera de Gandía (Valencia) bajo la influencia de los vertidos del emisario submarino de Gandía*. Para la realización de este proyecto, se realizaron varias medidas in situ y a diferentes profundidades de ciertos parámetros importantes para el presente caso de estudio del agua del mar Mediterráneo en las proximidades del punto de descarga del emisario submarino de Gandía.

Los valores de los parámetros que se basarán en dicho proyecto son: la temperatura, salinidad y velocidad y dirección de la corriente. El objetivo de conocer la diferencia de

salinidad y temperatura entre la superficie y el lecho en el punto de vertido es comprobar la flotabilidad del efluente, comprobación que forma parte de la evaluación del nivel 1 pautado en las orientaciones técnicas. Es una comprobación que revierte cierta importancia ya que, si no es el caso, y el vertido no puede flotar se habrá de pasar al nivel 2, ya que el vertido podría afectar significativamente al lecho marino.

Los valores de velocidad de la corriente son necesarios para poder aplicar la ecuación de Fischer, que nos da una estimación simple del volumen global de la ZM.

(a) Temperatura

La temperatura del mar Mediterráneo es bastante cambiante dependiendo de la época del año en que se mida. Así, podemos estar barajando temperaturas en superficie cerca de la costa de Gandía desde los 14-15°C hasta los 28-29°C que puede alcanzar en los meses de más calor.

Los datos de temperatura a utilizar en el caso práctico se estimarán, tal y como se ha comentado en el apartado anterior, a partir de los datos medidos cerca de la superficie y cerca del lecho, en los diferentes muestreos del proyecto final de carrera indicado. Los datos extraídos de dicho proyecto son:

Tabla 1 - Datos de temperatura extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P.

Muestreo	Fecha	Temperatura sup. (°C)	Temperatura lecho (°C)
I	26/04/2005	16,0	14,6
II	28/07/2005	28,0	24,0
III	29/11/2005	17,0	17,2
IV	1/04/2006	15,5	14,6
V	2/04/2006	-	-
VI	1/05/2006	-	-
VII	2/05/2006	19,0	17,8

(b) Salinidad

La salinidad es una propiedad del agua de mar que resulta de la combinación de las diferentes sales que se encuentran disueltas en el agua oceánica, siendo las principales los cloruros, carbonatos y sulfatos. De estas sales, el cloruro de sodio, conocido como sal común, destaca por su cantidad, ya que constituye por sí sola el 80 por ciento de las sales. El restante 20 por ciento corresponde a los otros componentes.

Existen diversas unidades para expresar la salinidad. Es posible definir la salinidad en partes por mil (‰), PSU (Unidades Prácticas de Salinidad) o bien en gramos de sal por kg de solución, que serán las unidades que utilizaremos en el presente trabajo.

Los datos de salinidad, al igual que los de temperatura se estimarán a partir de los datos empíricos del proyecto de Olmos Giménez. Los resultados obtenidos en las diferentes campañas fueron los siguientes:

Tabla 2 - Datos de salinidad extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P

Muestreo	Fecha	Salinidad sup. (g/kg)	Salinidad lecho (g/kg)
I	26/04/2005	37,00	-
II	28/07/2005	36,80	38,00
III	29/11/2005	36,50	37,50
IV	1/04/2006	37,70	38,40
V	2/04/2006	37,40	-
VI	1/05/2006	37,60	-
VII	2/05/2006	37,00	38,00

(c) Velocidad de la corriente

Los datos recopilados en el proyecto de referencia sobre velocidad de la corriente y sobre los que se basará el caso práctico hipotético son los siguientes:

Tabla 3 - Datos de velocidad de la corriente extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P

Muestreo	Fecha	Velocidad corriente sup (cm/s)	Velocidad corriente lecho (cm/s)
I	26/04/2005	-	-
II	28/07/2005	-	-
III	29/11/2005	-	-
IV	1/04/2006	-	-
V	2/04/2006	55,96	5,44
VI	1/05/2006	-	-
VII	2/05/2006	52,56	7,91

(d) Dirección de la corriente

Por último, nos resultará útil el dato de dirección de la corriente, calculado también en el proyecto del que se han extraído el resto de los datos.

La dirección está representada en ejes ortogonales con el N-E en sentido positivo.

Tabla 4 - Datos de dirección de la corriente extraídos del proyecto final de carrera de Olmos Jiménez, P

Muestreo	Fecha	Dirección promedio sup (°)	Dirección promedio lecho (°)
I	26/04/2005	-	
II	28/07/2005	-	
III	29/11/2005	-	
IV	1/04/2006	-	
V	2/04/2006	208,95	182,63
VI	1/05/2006	-	
VII	2/05/2006	208,14	172,23

2.3.1.2. Emisario submarino

El método de descarga escogido para el caso de estudio hipotético ha sido el emisario submarino con descarga a mar abierto.

Un emisario submarino es una conducción mediante el cual se bombea el agua residual, de origen urbano o industrial después de un tratamiento primario, para conducirla a una cierta distancia de la costa. Al final de la tubería se instala un tramo de tubo perforado (difusor), que facilita la difusión y dilución del agua servida.

El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar garantizando una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos.

Este tipo de dispositivo se utiliza también en ríos y lagos, aunque con mucha menor eficiencia en vista de la calidad del agua.

En este caso, debido a la proximidad y disponibilidad de datos, se ha escogido, como infraestructura de referencia el emisario submarino de Gandía. Dicho emisario se encuentra a 2 km de la costa de Gandía frente al puerto y descarga a una profundidad de 17 metros. Este emisario sirve las aguas residuales de los municipios de la comarca de la Safor-sur, es decir, el efluente de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Gandía - La Safor.

Las características principales vienen definidas en la ficha identificativa - emisario submarino de Gandía:

FICHA IDENTIFICATIVA - EMISARIO SUBMARINO DE GANDÍA

1) DATOS GENERALES

Municipios servidos: Comarca Safor Sur: municipios de Gandía, Daimuz, Miramar, Palmera.....	
Año construcción: 1.984	Señalización: No.
Actuaciones: AÑO 2006. Reparación de tres fugas existentes a menos de 50 m de costa por medio de tres carretes doble abrazadera en acero galvanizado.	

2) TUBERIA

Material: Fibrocemento de presión Clase C Junta RKT.	Longitud: 2115 m. Diámetros: 700 mm. (Exterior).	Profundidad máxima: 16,9 m	Rumbo: 239° mar-tierra.
2.1. ANCLAJES.			
Tipos: Hormigón monolítico en forma de dados.		Espesor de arena sobre tubería: Mayor de 1 m. en el tramo enterrado.	
2.2. NATURALEZA DEL FONDO.			
Tipo de fondo: Gravas y arenas fangosas.		Vegetación marina: Inexistente en las proximidades.	

3) DIFUSORES

Tipo: Prolongación recta.	Longitudes: 77 m.	Profundidades: 17,0 metros.
Material: Fibrocemento de presión Clase C Junta RKT.	Diámetros: 700 mm. (Exterior).	
Diámetro de salidas: 120 mm. Orificios laterales. Separación 2,5 metros.		
2.1. ANCLAJES.		
Tipos: Dados de hormigón.		Espesor de arena sobre tubería: Nulo. Tubería apoyada sobre fondo.
2.2. NATURALEZA DEL FONDO.		
Tipo de fondo: Arena - fango.		Vegetación marina: Inexistente en las proximidades.

4) PLANO ESQUEMATICO

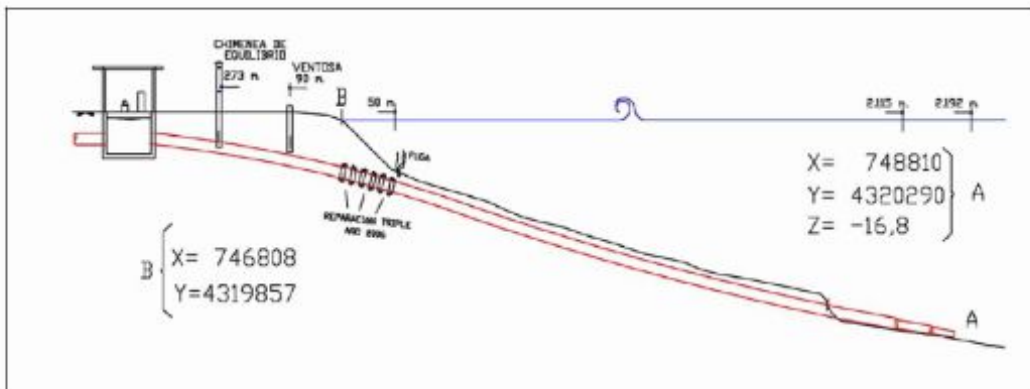


Figura 4 - Ficha identificativa de la EPSAR del emisario submarino de Gandía

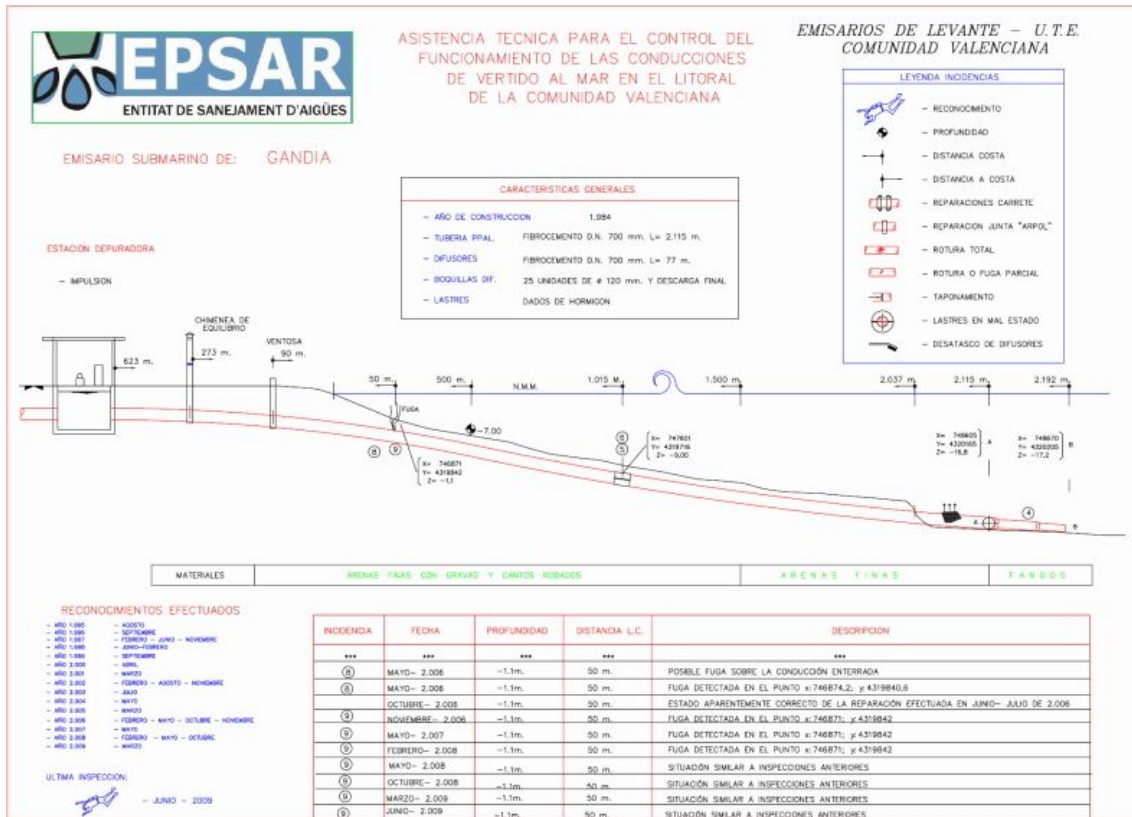


Figura 5 - Ficha de información sobre el emisario submarino de Gandia

2.3.1.3. Vertido

Según la Directiva 2008/105/CE, para que, en un vertido, se pueda definir una ZM, la o las sustancias prioritarias que incumplan la normativa han de estar en el anexo I de dicha directiva. En el anexo I se definen tanto las sustancias como las normas de calidad ambiental a cumplir para cada una de ellas distinguiendo entre aguas superficiales continentales y otras aguas superficiales. Además, se definen tanto datos medios como de concentraciones máximas admisibles.

Para la elección de la sustancia prioritaria y de sus concentraciones, se han consultado datos reales de depuradoras de la Comunitat Valenciana proporcionados por la profesora Inmaculada Romero Gil. Es interesante tener datos reales de referencia para evitar infra o sobredimensionamientos que alejen el caso de la realidad.

Para la definición del caudal de salida del efluente, se tomarán como referencia los datos de la depuradora Gandía - La Safor proporcionados por la *Entitat de Sanejament d'Aigües* (EPSAR).

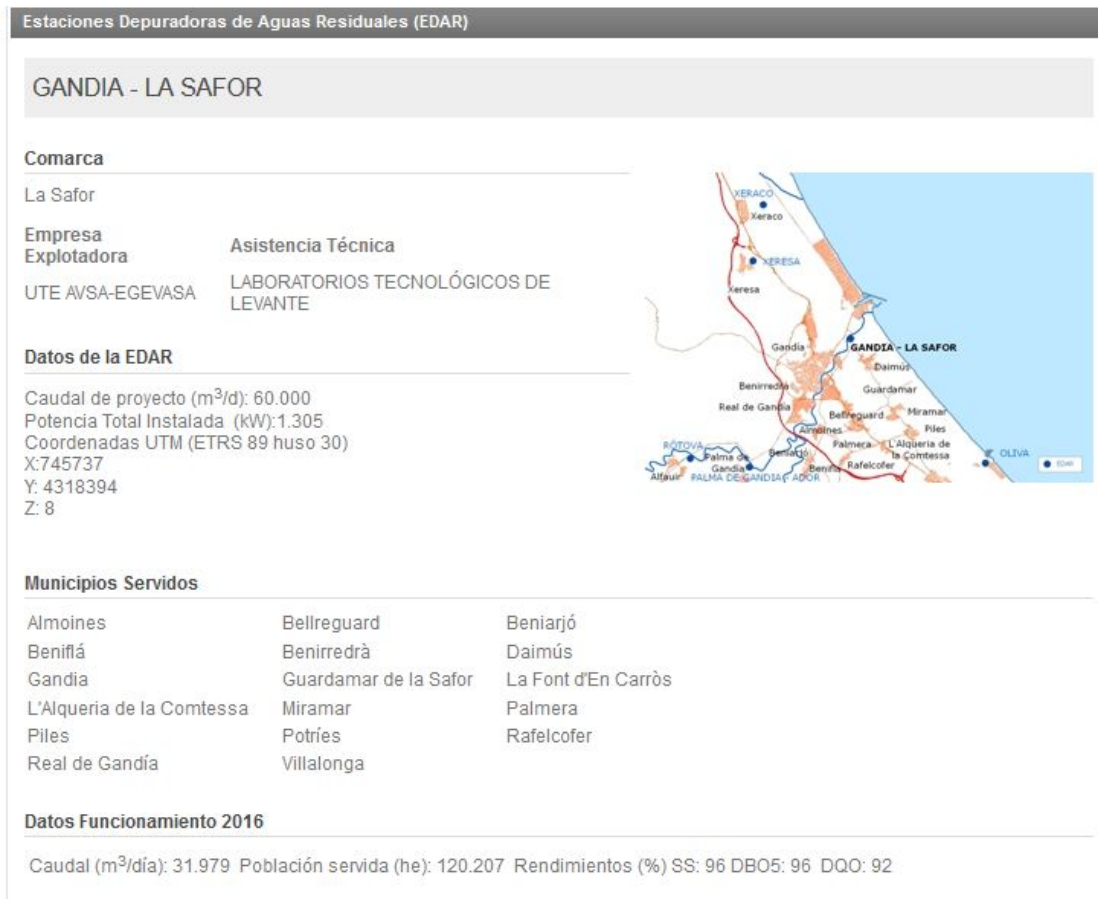


Figura 6 - Ficha de la depuradora de Gandía - La Safor de la EPSAR

2.4. Definición del caso hipotético de estudio

A partir de todo lo expuesto en los anteriores apartados, se caracterizará el caso de estudio para la determinación de la ZM con el máximo grado de detalle posible.

2.4.1. Medio receptor

A partir de los datos enunciados en los apartados anteriores, el medio receptor vendrá caracterizado por los siguientes:

Tabla 5 - Datos para la caracterización del emisario submarino para el caso de estudio

Temperatura superficie (°C)	19,0
Temperatura lecho (°C)	17,5
Salinidad superficie (g/kg)	37,00
Salinidad lecho (g/kg)	38,00
Velocidad corriente superficie (cm/s)	52,00
Velocidad corriente lecho (cm/s)	8,00
Dirección promedio sup (°)	208
Dirección promedio lecho (°)	175
Densidad (kg/m ³)	1026

Los datos han sido escogidos teniendo en cuenta que, en los datos empíricos presentados anteriormente, el único registro que presenta datos de todas las variables necesarias para el cálculo de la ZM es el número VII, del 2 de mayo, de esta forma nos aseguramos de que los datos son coherentes entre sí. Además, se trata de una época del año en la que las condiciones ambientales no son extremas, por lo que resulta una buena fecha para elegir como base del estudio.

Se supondrá, que la concentración en mercurio de fondo del medio receptor es nula.

2.4.2. Emisario submarino

Los datos relativos al sistema de descarga necesarios para el cálculo de la ZM son los siguientes, basados, como ya se ha comentado, en el emisario submarino de Gandia:

Tabla 6 - Datos para la caracterización del emisario submarino para el caso de estudio

Coordenadas del punto de descarga	
UTMx (m)	748805
UTMy (m)	4320285
Profundidad de descarga (m)	17
Descarga	25 difusores de ϕ 120mm distanciados 2,5 m
Orientación vertical (α)	0,461 descendiente
Orientación horizontal (β)	239° mar-tierra- 90° norte

2.4.3. Vertido

Como sustancia prioritaria para el caso de estudio se ha escogido el mercurio debido a que es una sustancia altamente contaminante cuyas normas de calidad ambiental son bastante

restrictivas y de la cual se han encontrado concentraciones muy elevadas en algunos análisis de los efluentes de las depuradoras en el documento antes mencionado.

En el anexo I de la Directiva 2008/105/CE se indican los valores de las Normas de Calidad ambiental para las distintas sustancias prioritarias de interés y sobre las cuales es posible definir una ZM, entre ellas el mercurio y sus compuestos. Estos valores son:

Tabla 7 - Datos de NCA del mercurio del Anexo I de la Directiva 2008/105/CE

Nº	Nombre de la sustancia	Nº CAS	NCA – MA Aguas superficiales continentales	NCA – MA Otras aguas superficiales	NCA – CMA Aguas superficiales continentales	NCA – CMA Otras aguas superficiales
(21)	Mercurio y sus compuestos	7439-97-6	0,05	0,05	0,07	0,07

El mercurio es un metal que existe en varias formas: inorgánico (elemental) u orgánico (como el metilmercurio). Estas formas de mercurio difieren por su grado de toxicidad y sus efectos sobre los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos.

El mercurio, presente de forma natural en la corteza terrestre, puede provenir de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o la actividad humana. Esta última es la principal causa de las emisiones de mercurio, procedentes sobre todo de la combustión de carbón en centrales eléctricas, calefacciones y cocinas, de procesos industriales, de la incineración de residuos y de la extracción minera de mercurio, oro y otros metales.

Una vez liberado el mercurio al medio, ciertas bacterias pueden transformarlo en metilmercurio. El metilmercurio puede pasar por varios procesos: bioacumulación, cuando se acumula en peces y mariscos en una concentración más elevada en su organismo que en su entorno y bioamplificación, cuando los grandes peces depredadores tienen más probabilidades de presentar niveles elevados de mercurio por haber devorado a muchos peces pequeños que a su vez lo habrán ingerido al alimentarse de plancton.

Las principales vías de exposición al metilmercurio para las personas son el consumo de pescado y marisco contaminado con metilmercurio y la inhalación, por ciertos trabajadores, de vapores de mercurio elemental desprendidos en procesos industriales. El hecho de cocinar los alimentos no elimina el mercurio presente en ellos.

En la siguiente tabla se indican los parámetros escogidos para modelar el caso de estudio. El caudal escogido ha sido el medio vertido por la depuradora de Gandía en el año 2016, según los datos consultados en la web de la EPSAR. Para la elección de la temperatura se ha consultado en la tabla de vertidos proporcionada por la profesora y se ha observado que 22°C es una temperatura muy probable en la fecha escogida y por tanto, coherente con los

datos del medio receptor. Por último, la concentración de mercurio escogida es la más desfavorable encontrada en las tablas de datos.

Tabla 8 - Parámetros del vertido para el caso de estudio

Caudal (m ³ /s)	0,37
Temperatura (°C)	22
Concentración Hg (µg/l)	8

2.5. Definición de la zona de mezcla

Como se ha comentado con anterioridad, para la definición de la ZM se utilizarán las aplicaciones informáticas Discharge Test y Visual Plumes.

El caso de estudio se puede resumir mediante el esquema y la tabla siguientes:

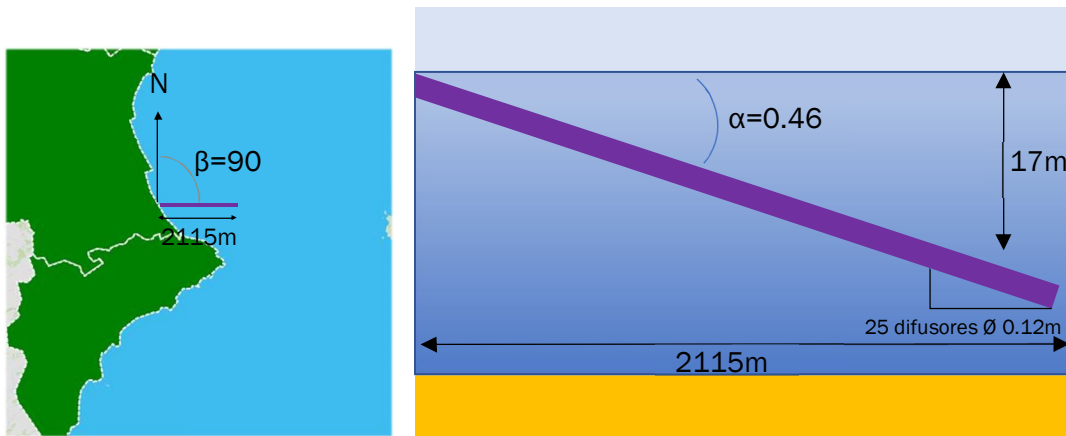


Figura 7 - Vista en planta y perfil del esquema representativo del caso de estudio

Tabla 9 - Caracterización completa del caso hipotético de estudio

Medio receptor: mar	Temperatura superficie (°C)	19,0
	Temperatura lecho (°C)	17,5
	Salinidad superficie (g/kg)	37,00
	Salinidad lecho (g/kg)	38,00
	Velocidad corriente superficie (cm/s)	52,00
	Velocidad corriente lecho (cm/s)	8,00
	Dirección promedio sup (°)	208
	Dirección promedio lecho (°)	175
	Densidad en la superficie(kg/m ³)	1026
Descarga: emisario submarino	Coordenadas del punto de descarga	
	UTMx (m)	748805
	UTMy (m)	4320285

	Profundidad de descarga (m)	17
	Descarga	25 difusores de $\phi 120\text{mm}$ distanciados 2,5 m
	Orientación vertical (α)	0,461 descendiente
	Orientación horizontal (β)	239° mar-tierra- 90° norte
Vertido: de depuradora	Caudal (m^3/s)	0,37
Con alto contenido en mercurio	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	22
	Concentración Hg ($\mu\text{g}/\text{l}$)	8

2.5.1. Simulación del caso mediante la herramienta Discharge Test

En primer lugar, se han introducido los datos en la web de Discharge Test para comprobar si, según esta aplicación, que está completamente basada en el documento de orientaciones técnicas de la Comisión Europea, el vertido entra en la categoría de admisible o completamente inadmisibles. Esta aplicación realiza, en un primer paso unos cálculos básicos, correspondientes a los niveles 0 y 1 descritos en las orientaciones técnicas de la Comisión Europea. De esta forma, mediante la introducción de unos pocos datos, el programa devuelve un mensaje de si las concentraciones en la ZM calculada son aceptables o si por el contrario se necesita un estudio más avanzado para poder determinar este aspecto. A continuación, se presentan distintas capturas de pantalla de la aplicación:

The screenshot shows the 'Discharge test' application interface. At the top, there is a logo for 'Rijksoverheid' and a navigation bar with 'Home', 'Dutch waters', 'Other EU country waters', and 'Information'. Below this, there are tabs for 'Elucidation', 'Basic', 'Advanced', and 'Result', and a language dropdown set to 'English'. The main content area is titled 'Discharge' and contains several input fields:

- Substance in discharge:** A dropdown menu showing 'Mercury and its compounds'.
- Unit used for concentration of this substance:** A dropdown menu showing 'ug/l'.
- AA-EQS for inland surface waters [ug/l]:** An input field with the value '0.07'.
- AA-EQS for other surface waters [ug/l]:** An input field with the value '0.07'.
- Discharge [m^3/s]:** An input field with the value '0.37'.
- Concentration [ug/l]:** An input field with the value '8'.

At the bottom of the form, there are three buttons: 'Back', 'Reset', and 'Next'. To the right of the input fields, there is a diagram titled 'Open sea discharge' showing a cross-section of the water column. The diagram illustrates the discharge of a substance from a diffuser at depth. Key parameters shown include the discharge rate Q_d , the concentration C_d , the distance from the diffuser to the water surface D_w , and the maximum velocity V_{max} . A small inset diagram shows a horizontal cross-section of the discharge plume.

Figura 8 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 1 de 3

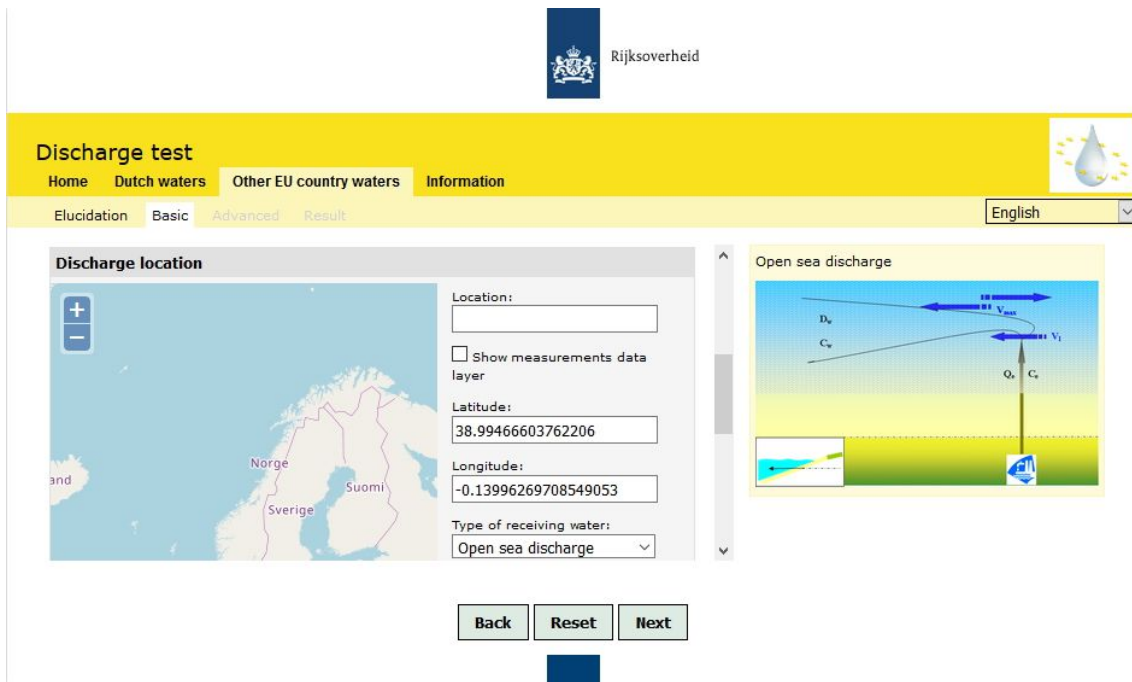


Figura 9 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 2 de 3



Figura 10 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 3 de 3

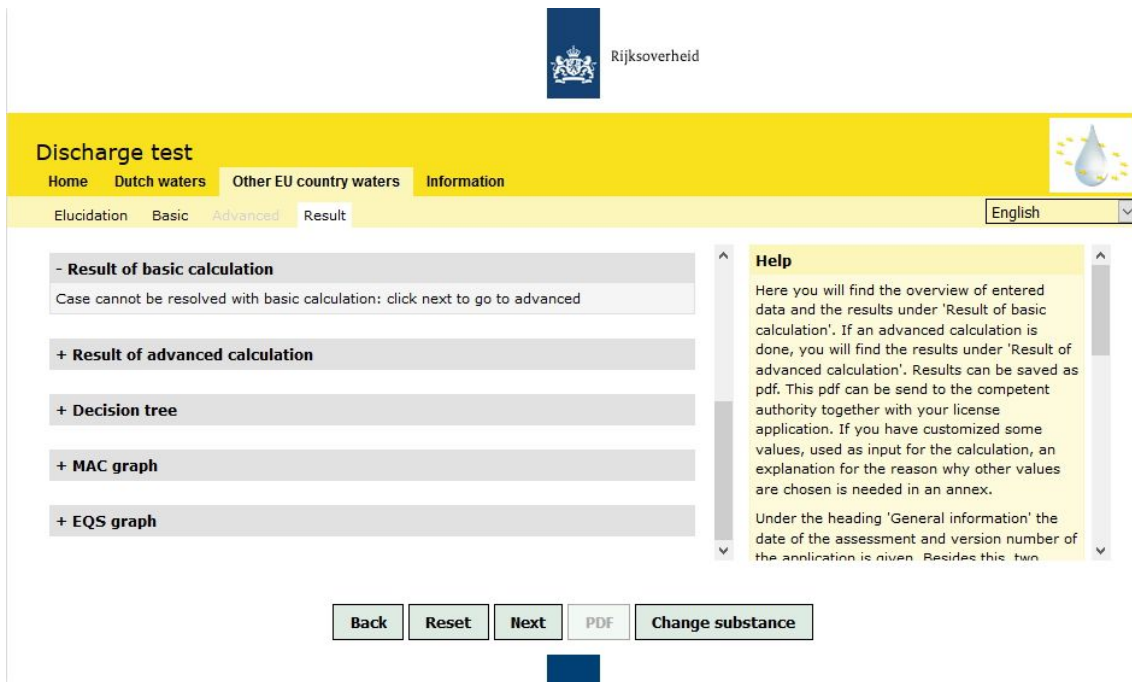


Figura 11 - Captura de pantalla del resultado del cálculo básico del Discharge Test

Como se puede observar en la figura anterior, el resultado del cálculo básico realizado por Discharge Test es que el caso no se puede calcular únicamente con el cálculo básico, por lo que remite a un estudio avanzado.

A continuación, las capturas de pantalla de la introducción de los datos y el resultado final.

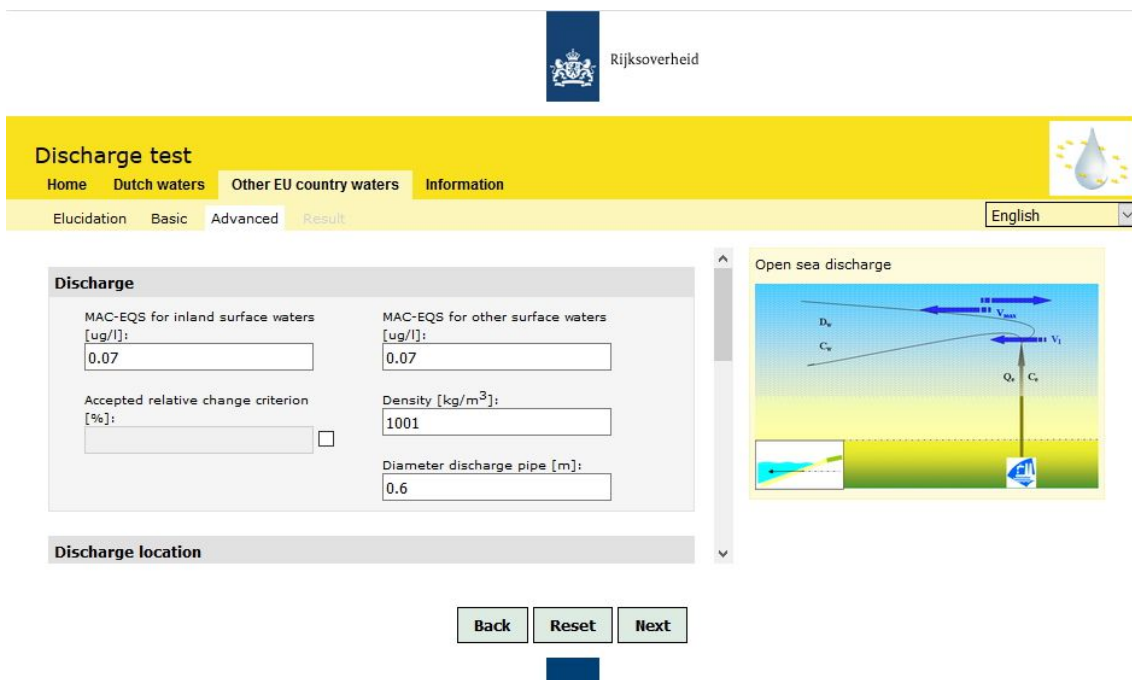


Figura 12 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 1 de 3

En este punto es importante hacer un apunte sobre una aproximación que realiza este programa y que puede influir notablemente en el resultado, y es que en la introducción de

resultados no es posible indicar que la descarga del emisario se realiza mediante difusores, sino que tiene en cuenta una única descarga. En la ayuda de mismo programa se indica que, en el caso de que la descarga se realice mediante un conjunto de difusores se ha de realizar la siguiente aproximación a partir de la superficie total de descarga (Opp) según la ecuación:

$$\Phi_{equiv.descarga} = 2x \sqrt{\frac{Opp}{\pi}}$$

En este caso, la superficie total de los difusores será:

$$S_{total dif} = 25x\pi x \left(\frac{0,12}{2}\right)^2$$

Y el resultado de la aproximación, tal y como se ha implementado en el modelo serán 0,6 metros.

Figura 13 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 2 de 3

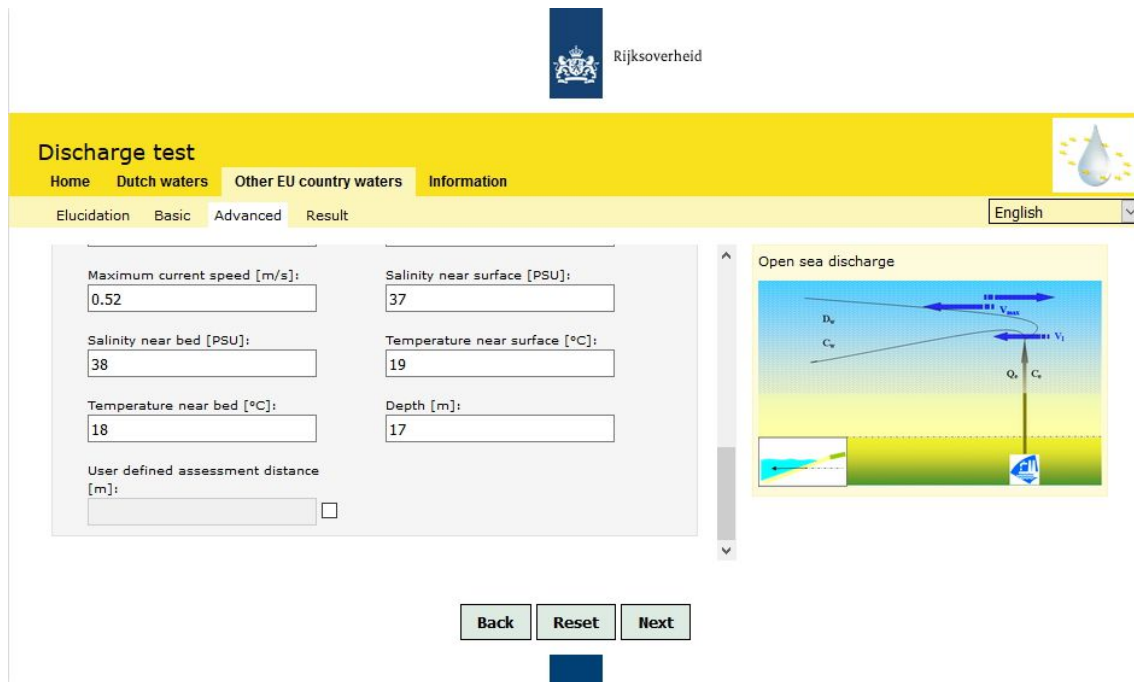


Figura 14 - Captura de pantalla de la introducción de datos en el Discharge Test. Cálculo básico. 3 de 3

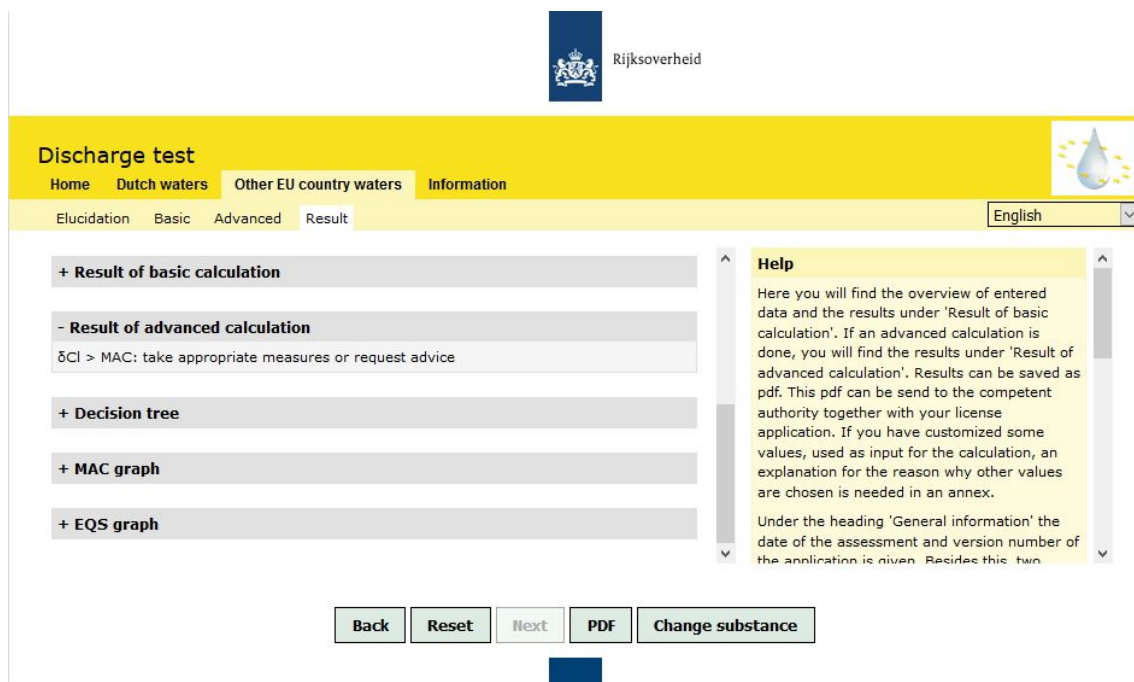


Figura 15 - Captura de pantalla del resultado del cálculo avanzado del Discharge Test

Tal y como se puede leer en la última captura de pantalla, el incremento de concentración de mercurio en la ZM es mayor que la concentración máxima admisible permitida en la norma de calidad ambiental, por lo que determina que la ZM no es aceptable y que se deberán de adoptar medidas apropiadas o pedir asesoramiento al respecto.

A pesar del resultado negativo es interesante consultar los dos gráficos proporcionados por el programa, ya que pueden darnos una idea del comportamiento del vertido y así poder

empezar a buscar soluciones. En el anexo I se adjuntan los informes proporcionados por el programa, en donde se incluyen también los diagramas de decisión seguidos por el mismo.

MAC graph

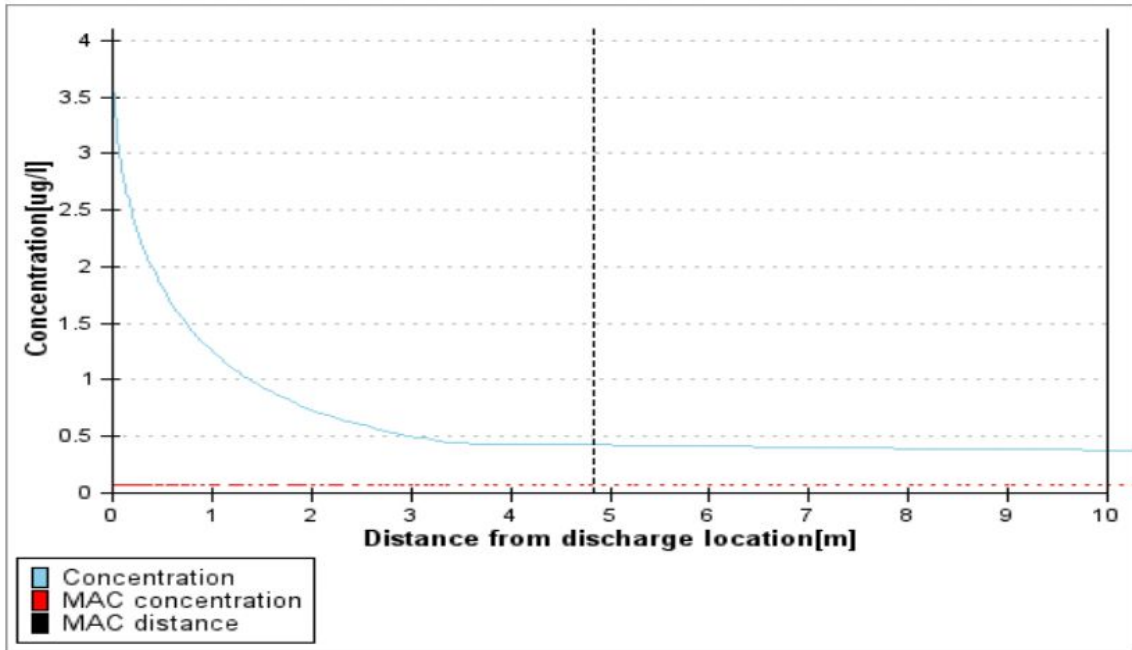


Figura 16 - Gráfico de la máxima concentración admisible resultado de la simulación con Discharge Test

EQS graph

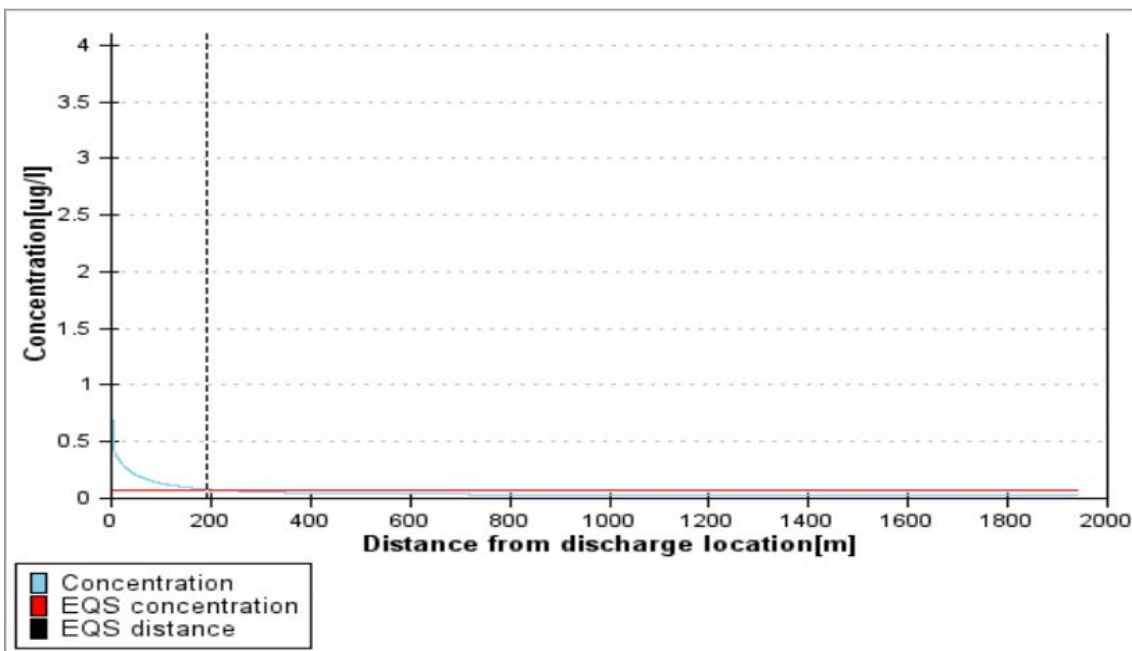


Figura 17 - Gráfico de las NCA resultado de la simulación con Discharge Test

El criterio que sigue esta herramienta para definir si es posible la delimitación de una ZM en un caso concreto es que las descargas deben cumplir los criterios de la ZM - MAC

(concentración máxima admisible) a 0,25 del ancho del cuerpo de agua (máximo 25 m) y los criterios de la ZM - NCA a 10 veces el ancho del cuerpo de agua (máximo 1000 m) del punto de vertido. En el caso de vertidos al mar, las longitudes, en vez de calcularse tomando como referencia el ancho de este, se calculan a partir de las características del medio receptor. Las longitudes máximas son las mismas.

En, este caso, vemos como la distancia desde el punto de descarga a la ZM - MAC es de 4,8 metros, distancia a la cual la concentración es de 0,45 µg/l, valor que sobrepasa los límites establecidos, así como la ZM - NCA, la distancia desde el punto de vertido es de 194 metros aproximadamente y la concentración es de 0,082µg/l, por lo que tampoco es aceptable. (Aunque siendo uno de los dos criterios inaceptables es suficiente para descartar la posibilidad de definición de ZM)

2.5.2. Cálculo mediante la herramienta Visual Plumes

En segundo lugar, se ha utilizado el software Visual Plumes para poder comparar los resultados. Para que la comparación pueda ser lo más válida posible, se utilizarán las distancias de máxima concentración permitida y de la ZM proporcionadas por el Discharge Test.

A continuación, se muestran las capturas de pantalla de la introducción de los datos:

The screenshot shows the Visual Plumes software interface. At the top, there are tabs for 'Diffuser: Gandia Hg8.vpp.vpp.db', 'Ambient: C:\Plumes\Gandia Hg8.vpp.001.db', 'Special Settings', 'Text Output', and 'Graphical Output'. The main window is divided into several sections:

- Project:** C:\Plumes\Gandia Hg8.vpp
- Ambient file list:** C:\Plumes\Gandia Hg8.vpp.001.db 1 1
- Model Configuration:** Includes options for Brooks far-field solution, Graph effective dilution, Average plume boundary, Amb. current vector averaging, Tidal pollution buildup, and Same-levels time-series input.
- Units Conversion:** Convert data (selected), Label only.
- Case selection:** Base or selected case (selected), Sequential, all ambient list, Sequential, parse ambient, All combinations.

At the bottom, there is a table titled 'Diffuser, Flow, Mixing Zone Inputs' with the following data:

Port diameter	n/r	Port elevation	Vertical angle	Hor angle	Num of ports	Port spacing	n/r	n/r	n/r	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
m		m	deg	N-deg		m	s	s	s	m	m	m	m ³ /s	psu	C	ppm
0,12		1	0,461	90	25	2,5				4,8	194	17	0,37	0	22	0,008

Figura 18 - Captura de pantalla de introducción de los datos del difusor, vertido y ZM en Visual Plumes

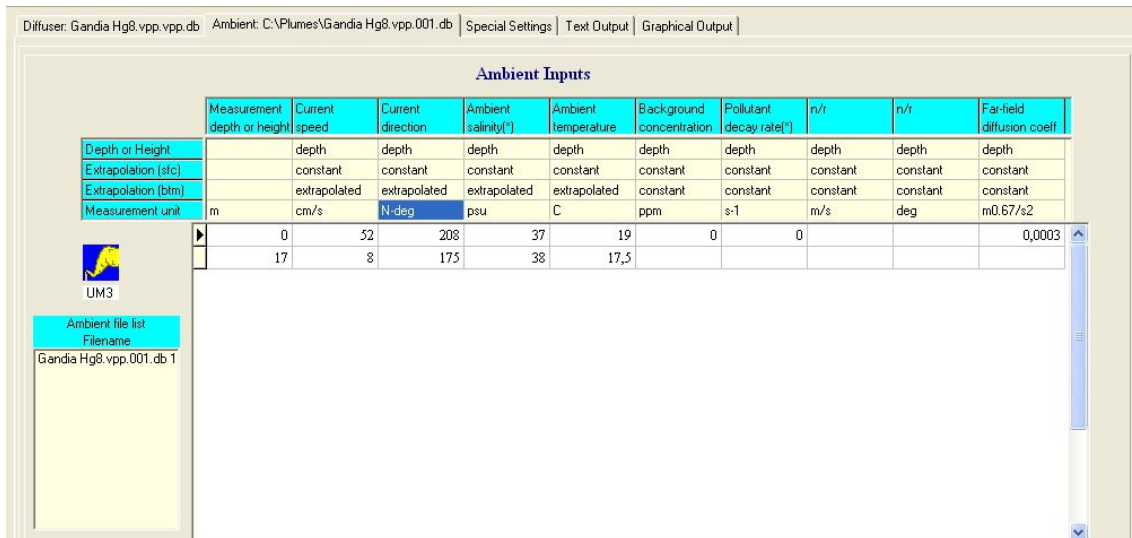


Figura 19 - Captura de pantalla de introducción de los datos del ambiente en Visual Plumes

Como se puede comprobar en las imágenes anteriores, en este programa se introduce mucho más detalle sobre el método de descarga. También se tiene en cuenta la temperatura del efluente y la dirección de las corrientes del medio receptor, parámetros que no se consideran en la herramienta Discharge Test. Sin embargo, en Visual Plumes no se especifica qué sustancia se intenta analizar.

Para la resolución del caso práctico que nos ocupa, se ha optado por utilizar el modelo UM3 porque es el que mejor se corresponde con las características del problema. Los resultados obtenidos en esta simulación se muestran en los siguientes gráficos, así como los resultados numéricos:

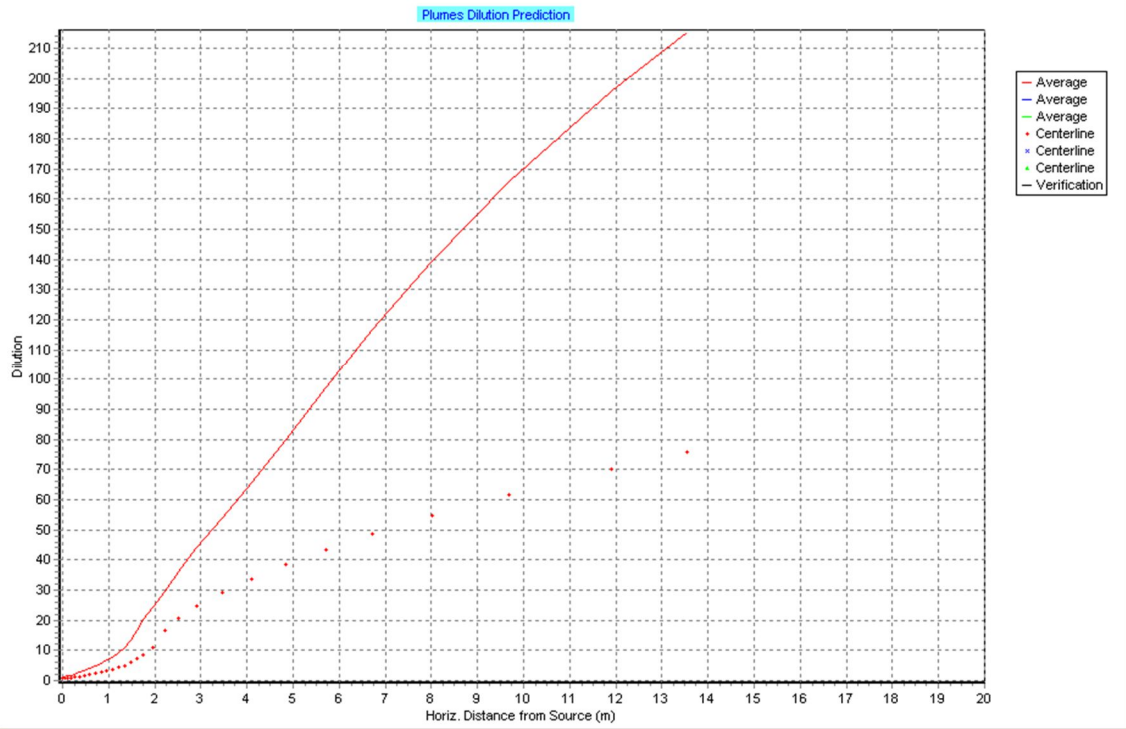


Figura 20 - Gráfico de la predicción de la dilución de la pluma resultado de la simulación con Visual Plumes

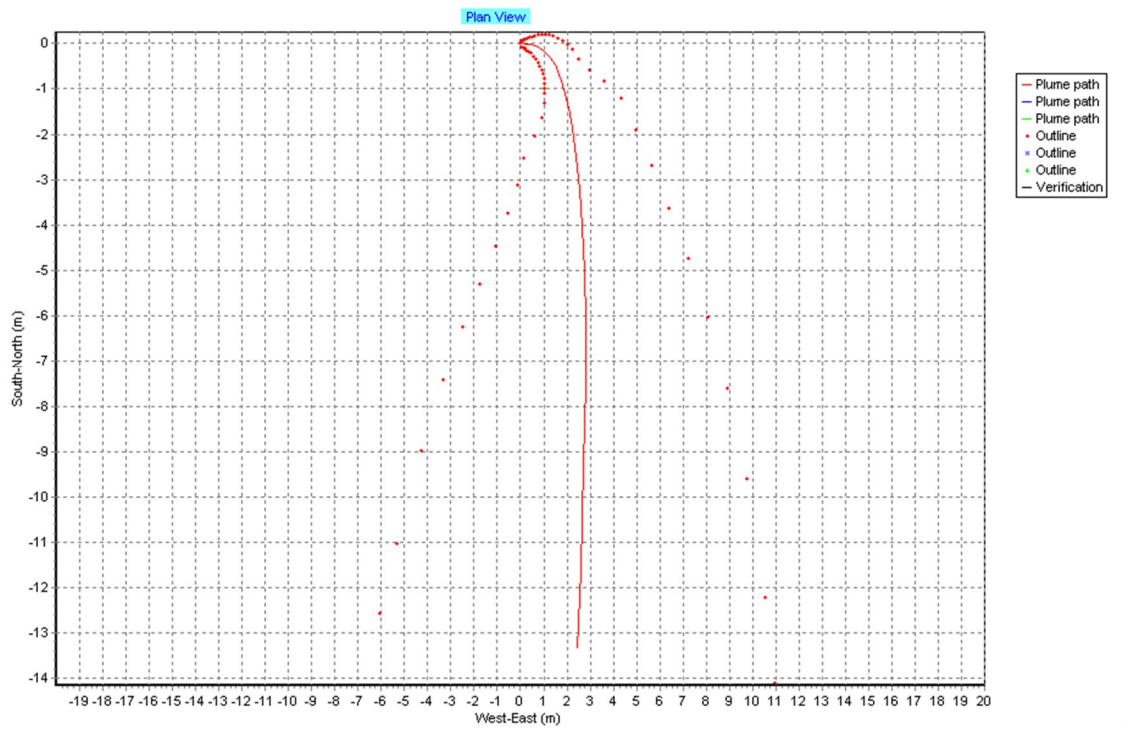


Figura 21 - Gráfico de vista de planta de la pluma resultado de la simulación con Visual Plumes

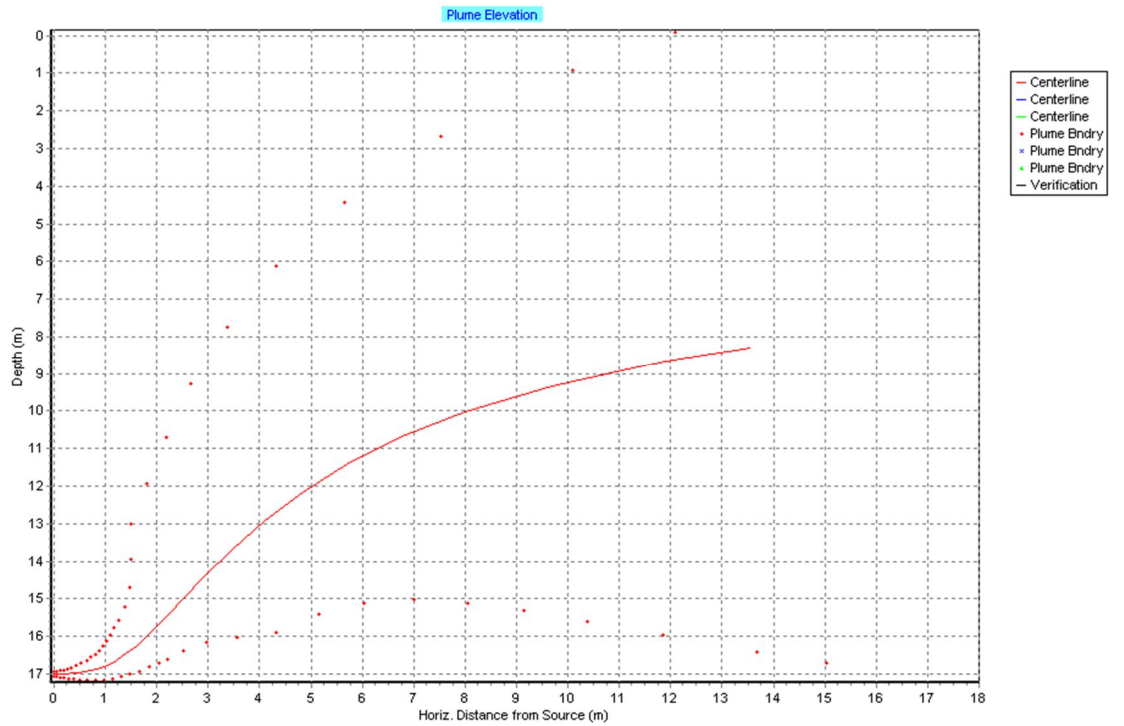


Figura 22 - Gráfico de la elevación de la pluma resultado de la simulación con Visual Plumes

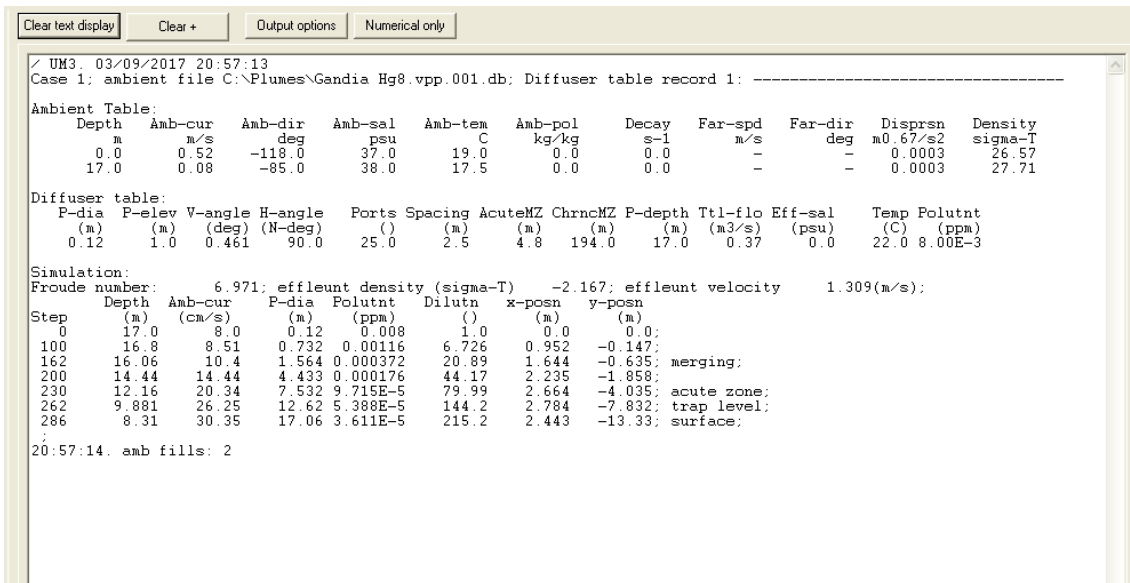


Figura 23 - Resultado numérico de la simulación con Visual Plumes

Como se puede observar en los resultados obtenidos, estos se refieren a la pluma del vertido, permitiendo observar cómo evoluciona dicha pluma con la distancia al punto de descarga, así como el grado de dilución de la sustancia prioritaria del vertido.

En este software los resultados presentados están referidos en todo momento a la pluma de contaminante y es curioso notar que los datos de la evolución de la concentración no son proporcionados como tales, si no que se representan los datos de dilución.

En este caso, partimos de una concentración de $8\mu\text{g/l}$ y, para cumplir las NCA la concentración ha de ser de $0,07\mu\text{g/l}$, por lo que la dilución mínima para que se cumplan dichas normas es de aproximadamente 114.

2.5.3. Análisis de los resultados

Según los cálculos del Discharge Test, la ZM no sería admisible y se habrían de tomar medidas sobre el vertido para reducir las concentraciones de contaminante en el medio. Sin embargo, observando los resultados del Visual Plumes, concretamente la gráfica de la predicción de la dilución de la pluma podemos concluir que la dilución de 114 aproximadamente, es la necesaria para alcanzar el valor marcado por el anexo I de la Directiva 2008/105/CE para la NCA que es de $0,07\mu\text{g/l}$. Como se observa haciendo un análisis bastantes superficial de los resultados de ambas simulaciones, los resultados difieren de manera sustancial entre ellos. Existen varias razones por las cuales pueden existir estas variaciones:

- 1) En primer lugar se ha de tener en cuenta que ambos programas utilizan bases de cálculo muy diferentes entre sí. El Discharge Test se basa en las ecuaciones y premisas presentadas en el documento de orientaciones técnicas mientras que el Visual Plumes nada tiene que ver con este documento, y realiza los cálculos basándose en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
- 2) Por otra parte, tal y como se ha comentado con anterioridad, el Visual Plumes permite introducir mucho más detalle sobre el problema, lo que permite que los resultados se acerquen más a la realidad. De todos los parámetros que se tienen en cuenta de más en el Visual Plumes, probablemente el más importante, de cara a la diferencia de resultados sea la posibilidad de que se tengan en cuenta la descarga del efluente mediante difusores. El comportamiento de la pluma, teniendo en cuenta una sola salida de un diámetro importante no tiene nada que ver con el comportamiento de la pluma si la descarga se realiza mediante difusores. Uno de los parámetros que más afectará en cómo se comporte la pluma y a como se mezcle con en el medio, será la velocidad de salida, que disminuye al aumentar la sección de salida.

Si simulamos en Visual Plumes el mismo escenario, pero esta vez con un diámetro de salida único de 0,6 metros, tal y como se ha considerado en el Discharge Test, obtenemos la siguiente gráfica de dilución de la pluma:

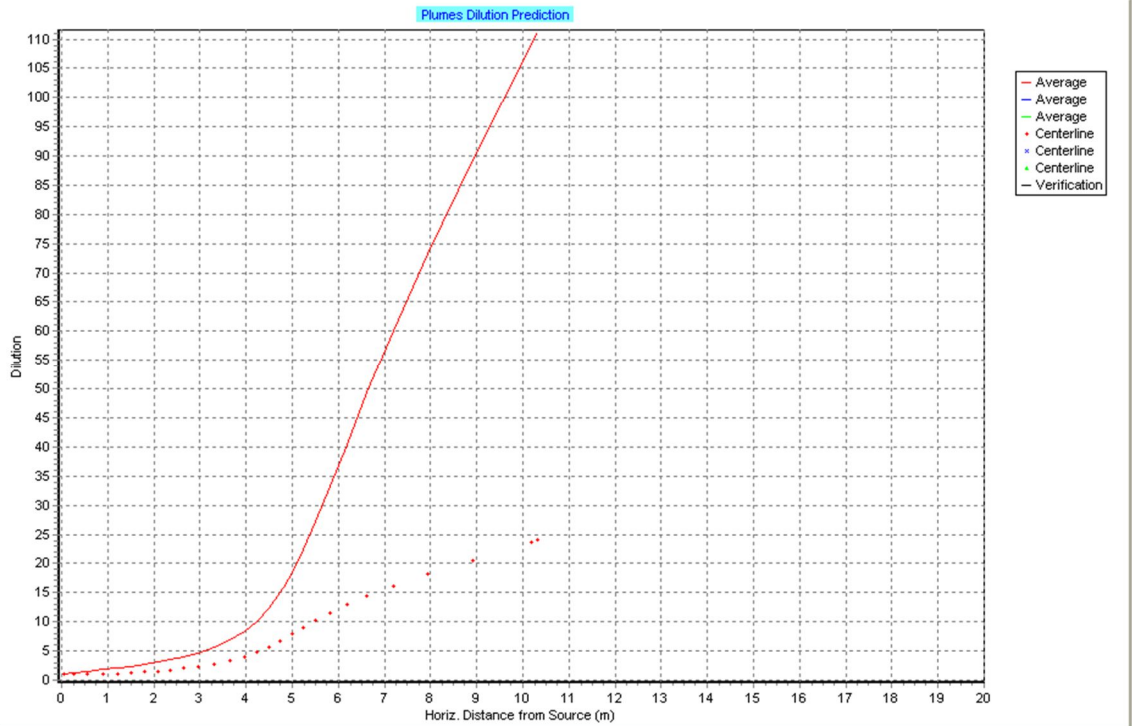


Figura 24 - Simulación del caso de estudio sustituyendo los difusores por una salida única de 0,6m

En este caso, se puede observar que la dilución es mucho más lenta que en el caso anterior y que en la simulación no llega a alcanzarse el valor de 114, el que asegura el cumplimiento de las NCA. Cabe notar que Visual Plumes no simula más allá de lo que se observa en la gráfica porque este finaliza la simulación una vez la pluma de contaminante alcanza la superficie, situación que aparece antes de alcanzarse la dilución necesaria. Con esta variación en la simulación, nos estaríamos acercando más en los resultados de ambos programas, aunque sigue habiendo diferencias importantes en los resultados.

Según los resultados del Discharge Test la delimitación de la ZM en las condiciones del vertido no es posible, siendo necesarias otro tipo de actuaciones u otros estudios. Es interesante anotar que la distancias de las ZM - MCA y ZM - NCA las define el programa según la masa de agua receptora del vertido, pudiendo, el usuario definir esta distancia. En el caso que nos ocupa, observando las gráficas, podríamos llegar a valorar el ampliar la ZM - NCA porque así sería posible cumplir con los criterios de la Directiva. En este punto es importante recordar que en la legislación española no existen valores límite, simplemente se aboga por el sentido común de quien define la ZM indicando que ha de tratarse de una zona adyacente. No obstante, por tener alguna referencia de orden de magnitud, nos podemos fijar en el Discharge Test, que, como se ha comentado con anterioridad, marca una ZM - NCA máxima de 1.000m. Pero analizando la gráfica de la ZM - MCA observamos como su comportamiento es prácticamente constante en la segunda parte del gráfico, con lo que

probablemente no se alcance el valor óptimo y se siga sin poder delimitar una ZM. Se ha realizado la simulación para la distancia máxima de 1.000 m y los resultados obtenidos han sido los siguientes:

MAC graph

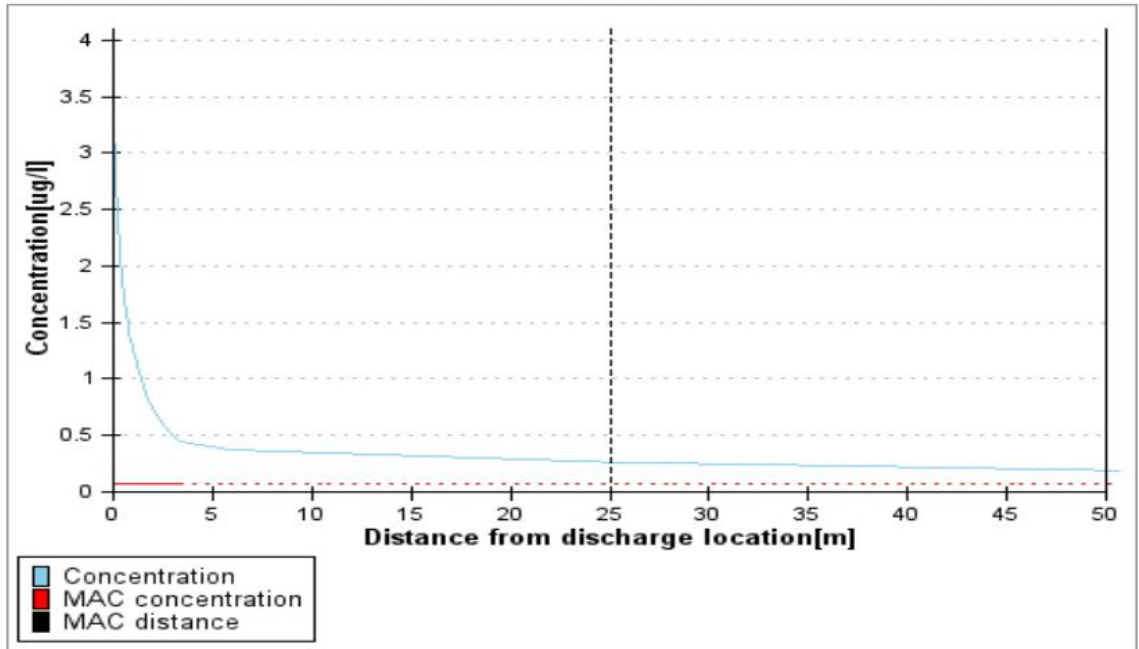


Figura 25 - Resultado de la simulación del caso de estudio con ZM - MAC de 1.000m mediante Discharge Test

EQS graph

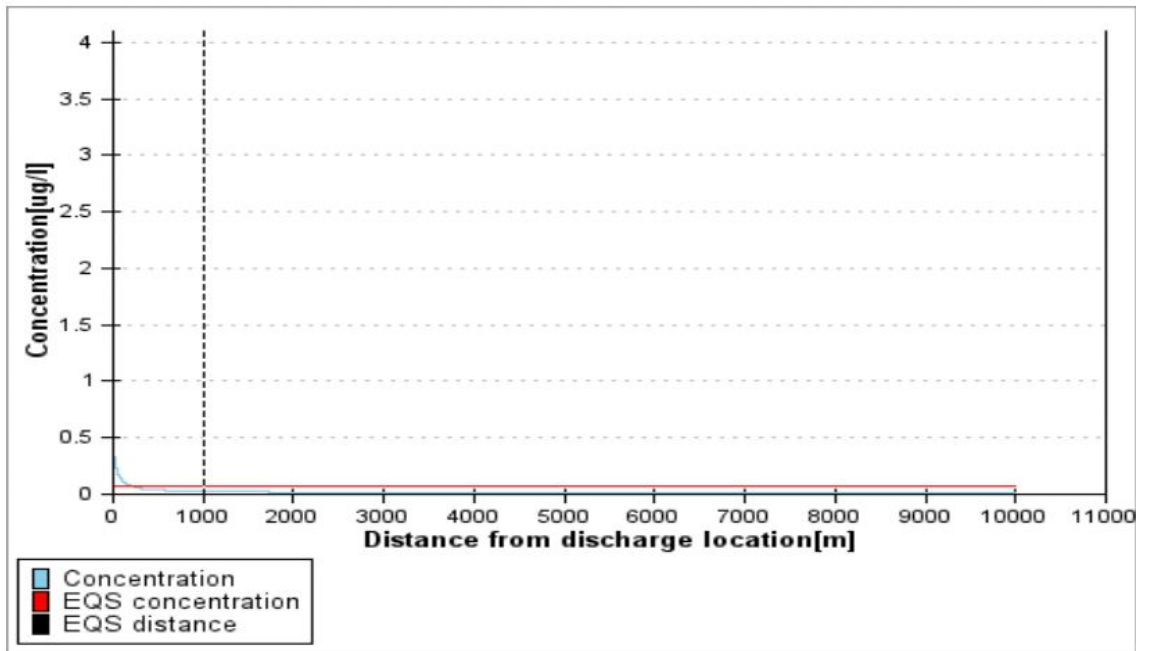


Figura 26 - Resultado de la simulación del caso de estudio con ZM - NCA de 1.000m mediante Discharge Test

Como se puede observar y era de esperar, el criterio de NCA en la ZM – NCA se cumple, pero no así en la ZM – MAC, por lo que la delimitación de la ZM seguiría siendo no válida.

2.5.3.1. Delimitación de la zona de mezcla del caso de estudio

A partir del análisis de los resultados podemos concluir que, en este caso concreto de estudio, el software más adecuado para la definición de la ZM es el Visual Plumes. Si observamos los resultados obtenidos podríamos definir la ZM a partir del gráfico de predicción de dilución de la pluma, siendo esta una región que abarcaría desde el punto de vertido hasta una distancia horizontal de 6,5 metros. Utilizando el gráfico de la elevación de la pluma, podemos observar que la ZM abarca desde la profundidad de emisión del efluente, 17 metros, hasta los 3,5 metros aproximadamente.

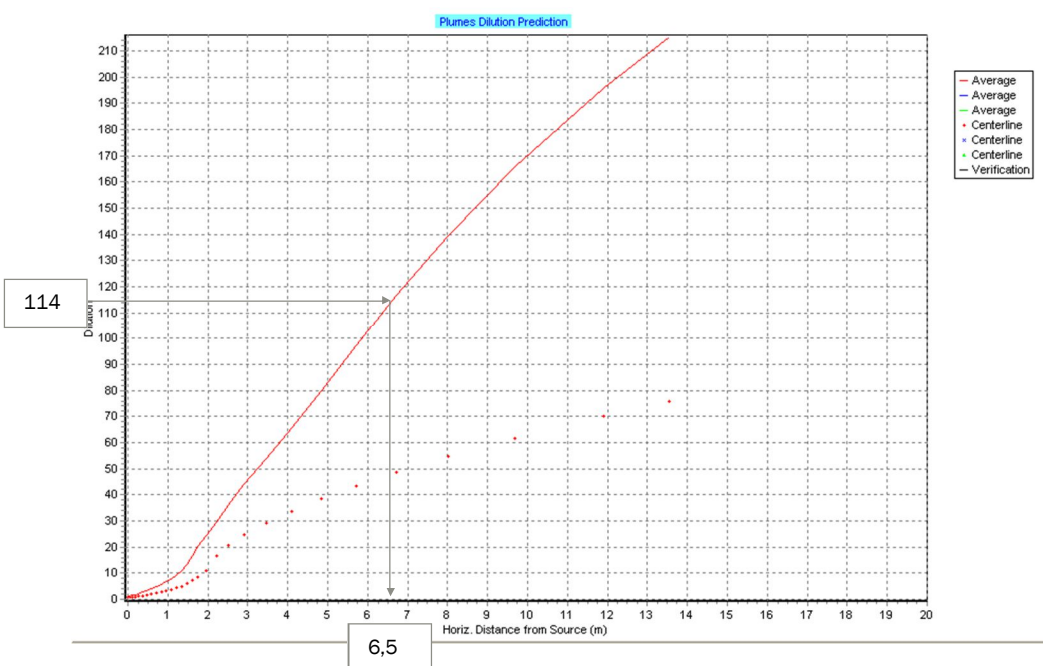


Figura 27 - Obtención de la longitud de la zona de mezcla del caso de estudio

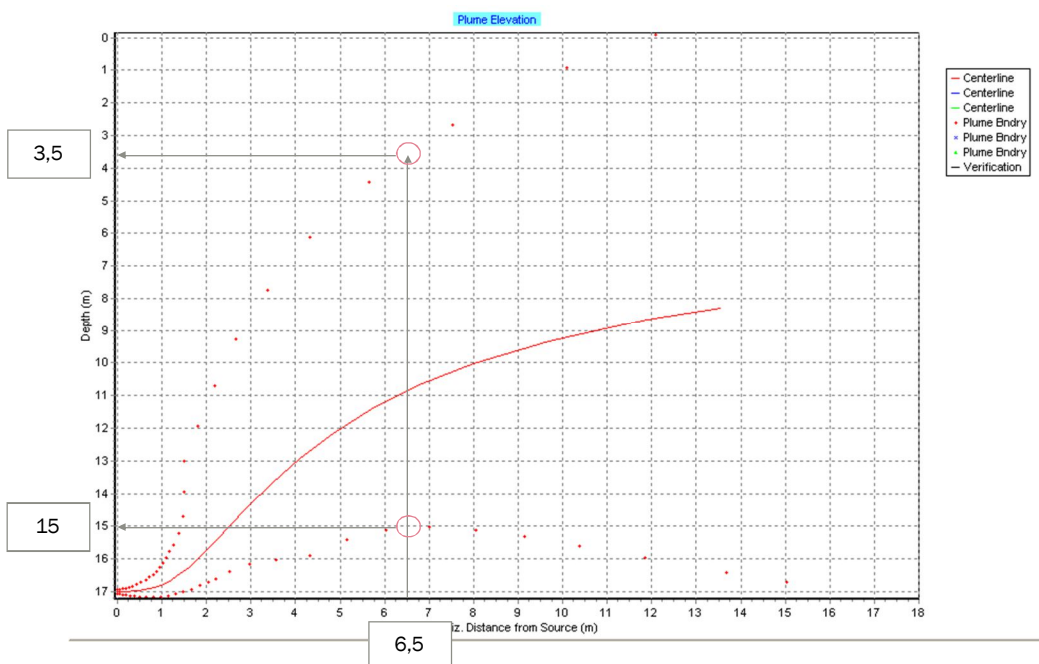


Figura 28 - Definición del área de la zona de mezcla del caso de estudio

Una vez definida la ZM, siguiendo las indicaciones del documento de orientaciones técnicas de la Comisión Europea, se habrá de evaluar la admisibilidad de la ZM. En el apartado 5 de dichas orientaciones se enuncian 5 cuestiones claves a tener en cuenta por la autoridad competente para considerar admisible o no la ZM. Estas cuestiones son:

1. **Proximidad** - ¿La extensión de la zona de concentración excesiva, está limitada a las proximidades del punto de vertido (concepto aplicable a cada uno de estos puntos), en el sentido de la Directiva 2008/105/CE?

En el caso de estudio, el medio receptor es el mar y la ZM se extiende 6,5 metros del punto de vertido. Teniendo en cuenta las dimensiones del mar, se puede concluir que 6,5 metros es una distancia prácticamente despreciable y, por tanto completamente aceptable como ZM.

2. **Proporcionalidad** - ¿Es proporcionada la extensión de la zona de concentración excesiva, teniendo en cuenta los valores registrados en el punto de vertido y las condiciones de las emisiones según normativas anteriores? (MTD, etc.) (concepto aplicable a cada uno de los puntos de vertido).

El valor de emisión de Hg considerado en el caso de estudio es de 8 µg/l. Si comparamos este valor con el valor límite de emisión para vertidos de aguas residuales procedentes de la depuración de gases de escape marcado por el *Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación*, que son

0,03 mg/l, es decir, 30 µg/l, podemos concluir que el valor del caso de estudio es proporcionado. También podemos comparar dicho valor con el valor límite de emisión impuesto en la *Decisión De Ejecución De La Comisión de 9 de diciembre de 2013 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores tecnologías disponibles (MTD) para la producción de cloro-álcali conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las emisiones industriales* en la MTD 2: desmantelamiento o conversión de las plantas de celdas de mercurio, en donde las emisiones de mercurio al agua, a la salida de la unidad de tratamiento de mercurio durante el desmantelamiento o conversión es de 3 – 15 µg/l. Teniendo en cuenta este valor de emisión, el valor que barajamos en nuestro caso de estudio resulta también proporcionado.

Viendo los valores de emisión normativos de textos de diferente naturaleza legal y la extensión de la ZM, podemos considerar que este es proporcionado.

3. Buen estado químico - ¿Afecta la extensión de la zona de concentración excesiva al buen estado químico de la masa de agua considerada, de acuerdo con la Directiva 2000/60/CE (en particular, su artículo 4) y con la Directiva 2008/105/CE, (en particular, su anexo I, parte B)?

Teniendo en cuenta que la extensión de la ZM es prácticamente insignificante con relación a la inmensidad del mar, a priori, esta no afectará al buen estado químico del resto de la masa de agua.

4. Buen estado ecológico - ¿Afecta la extensión de la zona de concentración excesiva al buen estado ecológico de la masa de agua considerada, de acuerdo con la Directiva 2000/60/CE (en particular, su artículo 4)?

Este punto es algo más delicado debido a la alta toxicidad del mercurio y a la sensibilidad de la población marina a su ingestión, tal y como se ha explicado en párrafos precedentes. En un principio, debido a que la superficie de la ZM está bastante acotada y puede considerarse de tamaño reducido no debería suponer un problema para las especies submarinas a no ser que existiera alguna colonia o especie que habitase permanentemente en la zona de concentración excesiva, en cuyo caso habría que realizar un estudio mucho más detallado para evaluar las consecuencias sobre el estado ecológico del mar.

5. Coherencia - ¿Es coherente la extensión de la zona de concentración excesiva con los requisitos impuestos a otras fuentes puntuales por las restantes normas comunitarias (p. ej., la Directiva 2008/1/CE), además de las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE?

La Directiva 2008/1/CE está derogada y ha sido sustituida por la *Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones*

industriales (prevención y control integrados de la contaminación) y es esta Directiva la que ha servido de base para la redacción del RD 215/2013, referenciado en la pregunta número 2. Ni en esta Directiva ni en la 2000/60/CE ni en la 2008/105/CE se ha encontrado ningún requisito que sea incompatible con la ZM delimitada.

Una vez contestadas estas cuestiones clave, podemos afirmar que, la ZM calculada mediante el software Visual Plumes es admisible.

3. Conclusiones

- A pesar de que la definición de ZM puede ser una buena herramienta para el cumplimiento de las NCA, tanto España como sus países vecinos todavía no han explotado este recurso. La legislación, en general no se ha adaptado con detalle y no se ha definido prácticamente ninguna ZM en vertidos reales (existen diversas tesis sobre el cálculo de ZM en diversos escenarios pero no dejan de ser trabajos académicos que no tienen aplicación en la realidad).
- Para la definición de la ZM en este caso concreto, el modelo UM3 de Visual Plumes parece más adecuado que el Discharge Test debido principalmente a que en el Visual Plumes es posible implementar la descarga mediante difusores, lo que no es posible con la aplicación Discharge Test. Probablemente para otro tipo de vertidos en los que el mismo se realice a través de una tubería, el Discharge Test sea más apropiado para el cálculo de las ZM o, al menos, para una primera aproximación debido a que éste ha sido específicamente diseñado para ello, aplicando las orientaciones técnicas marcadas por la Comisión Europea.
- Comparar resultados de un mismo caso práctico entre dos softwares tan distintos como son el Discharge Test y el Visual Plumes aunque el objetivo sea el mismo es bastante complicado y, en algunos casos carece de coherencia. En el presente caso de estudio hemos podido observar una discrepancia importante entre los resultados de ambas simulaciones. Tanto es así que no es posible llegar a una conclusión que tenga en cuenta ambas herramientas, sino que se ha de escoger una de las dos para trabajar con ella y obtener resultados finales.
- Considerando los resultados de la simulación mediante Visual Plumes la más adaptada a nuestro caso de estudio, se ha podido delimitar la ZM, abarcando una distancia horizontal desde la descarga de 6,5 metros y elevándose desde los 17 metros de profundidad hasta 3,5 metros.

4. Referencias

- 1) Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
<https://www.boe.es/doue/2008/348/L00084-00097.pdf>
- 2) Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).
<https://www.boe.es/doue/2010/334/L00017-00119.pdf>
- 3) Real Decreto 60/2011 de 21 de enero sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas
<https://www.boe.es/boe/dias/2011/01/22/pdfs/BOE-A-2011-1139.pdf>
- 4) Real Decreto 817/2015 de 11 de septiembre por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>
- 5) Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación
<https://www.boe.es/boe/dias/2013/10/19/pdfs/BOE-A-2013-10949.pdf>
- 6) Hispagua. Sistema Español de Información sobre el Agua. Distribución de competencias
<http://hispagua.cedex.es/instituciones/distribucion>
- 7) Plan hidrológico del ciclo 2015-2021 de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Capítulo 7. Valorización del estado de las masas de agua.
- 8) http://www.chms.es/images/planificacion/proyecto-ph-2015-2021-rd/01.%20Memoria%20y%20Anexos/07_CAP%C3%8DTULO_VII.pdf
- 9) Compilation of EPA Mixing Zone documents
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1004SMI.PDF?Dockkey=P1004SMI.PDF>
- 10) EPA Guidance on application of State Mixing Zone Policies in EPA Issued NPDES Permits
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-01/documents/guidance-npdes-memo-1996.pdf>
- 11) Anexo VII Plan Hidrológico de la DH del GUADALQUIVIR
http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/normativaphguadalquiviranexoviird1_2016_tcm7-409221.pdf
- 12) Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña 2016-2021

- http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/es/legislacio/projectes/PDG_2016_2021/PGestio/04_PG_districte_conca_fluvial_catalunya_es.pdf
- 13) Plan hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Miño-Sil, 2016-2021.
<http://www.chms.es/es/chms/planificacionhidrologica/plan-hidrologico-2015-2021-vigente-rd-1-2016/80-chms/1359-plan-hidrologico-2015-2021-rd-1-2016>
- 14) Plan hidrológico del ciclo 2015-2021 de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil. Capítulo 7. Valorización del estado de las masas de agua.
http://www.chms.es/images/planificacion/proyecto-ph-2015-2021-rd/01.%20Memoria%20y%20Anexos/07_CAP%C3%8DTULO_VII.pdf
- 15) Guide technique relatif aux modalités de prise en compte des objectifs de la DCE en police d'eaux.
http://www.ineris.fr/aida/sites/default/files/gesdoc/87464/guide_DCE_version_2.pdf
- 16) Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021865356>
- 17) Codice dell'ambiente - Parte III - Difesa del suolo e tutela delle acque. Decreto legislativo, 03/04/2006 n° 152, G.U. 14/04/2006
<http://www.altalex.com/documents/leggi/2013/09/12/codice-dell-ambiente-parte-iii-difesa-del-suolo-e-tutela-delle-acque#parte3>
- 18) Decreto legislativo, 10/12/2010 n° 219, G.U. 20/12/2010
<http://www.altalex.com/documents/leggi/2010/12/21/decreto-legislativo-10-12-2010-n-219>
- 19) Orientaciones técnicas para la identificación de las zonas de mezcla en aplicación de lo dispuesto en artículo 4, apartado 4 de la Directiva 2008/105/CE.
https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/wfd/Library/framework_directive/guidance_documents/guidelines_mixing
- 20) Rodríguez Benítez, A. J.(2016) Metodología para el análisis de zonas de mezcla de vertidos puntuales en medios fluviales. Universidad de Cantabria, España.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/8413/Tesis%20AJR B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- 21) Troya Pérez, L.M. (2012) Determinación de la zona de mezcla de los vertidos hídricos en el estuario del Guadiana. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, España.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20281/>
- 22) Ceka, Arnola. (2011) Water Framework Directive and Mixing Zone Guidelines Applied on a Smelter and Mine Scenario at two Boliden Sites. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia
<https://stud.epsilon.slu.se/3639/>
- 23) Olmos Jiménez, P. (2010) Estudio del estado de contaminación marina en la zona costera de Gandía (Valencia) bajo la influencia de los vertidos del emisario submarino de Gandía. E:T:S. de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- 24) <http://www.geoenciclopedia.com>
- 25) http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html
- 26) <https://es.wikipedia.org/wiki/Salinidad>
- 27) Discharge Test
<http://www.dischargetest.com/#version=eu-en>
- 28) Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Proyecto de I+D+i: MEDVSA. “Desarrollo e implementación de una metodología para la reducción del impacto ambiental de los vertidos de salmuera procedentes de las plantas desaladoras” Ficha 4. Descripción general de los modelos del software Visual Plumes.
<http://www.medvsa.es/PDF/VISUAL%20PLUMES.pdf>
- 29) Instituto Universitario Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo
<http://www.ceam.es/ceamet/sst/sst.html>
- 30) EPSAR (Entitat de Sanejament d’Aigües)
<http://www.epsar.gva.es/>
- 31) EPA (United States Environmental Protection Agency) – Web para la descarga de Visual Plumes
<https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/visual-plumes>
- 32) (United States Environmental Protection Agency. Dilution Models for Effluent Discharges. 4th edition. (Visual Plumes)
<https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/VP-Manual.pdf>
- 33) OMS (Organización Mundial de la Salud) – Centro de prensa. El mercurio y la salud
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- 34) Ferrerira de Lima Freire, A. A. (2016) Metodología para el establecimiento de zonas de mezcla de vertidos de emisarios submarinos en aguas costeras.
<https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi2zb2mwYrWAhVBKVAKHewEADQQFggmMAA&url=https%3A%2F%2Frepositorio.unican.es%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F10902%2F8364%2FTesis%2520AAFLF.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AFQjCNGfMHZVKlpqR-GMT9Zvrf70Ab4wRQ>
- 35) <http://varinia.es/blog/2009/02/07/%C2%BFpara-que-sirven-los-emisarios-submarinos/>
- 36) https://es.wikipedia.org/wiki/Emisario_submarino
- 37) Technical Background Document on Identification of Mixing Zones. CIS – WFD. Diciembre de 2010.
http://www.fwr.org/WQreg/Appendices/Technical_Background_Document_on_the_Identification_of_Mixing_Zones.pdf
- 38) *Decisión De Ejecución De La Comisión de 9 de diciembre de 2013 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores tecnologías disponibles (MTD) para la producción de cloro-álcali conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las emisiones industriales*
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0732&from=ES>
- 39) <http://www.ceam.es/ceamet/sst/sst.html>

5. Anexo 1. Informes de las simulaciones del Discharge Test


Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - Mercury and its compounds

General information

Date: 03-09-2017
Version: 4.4.0
Company: Esther Hervàs
Discharge point: Gandia - Hg8

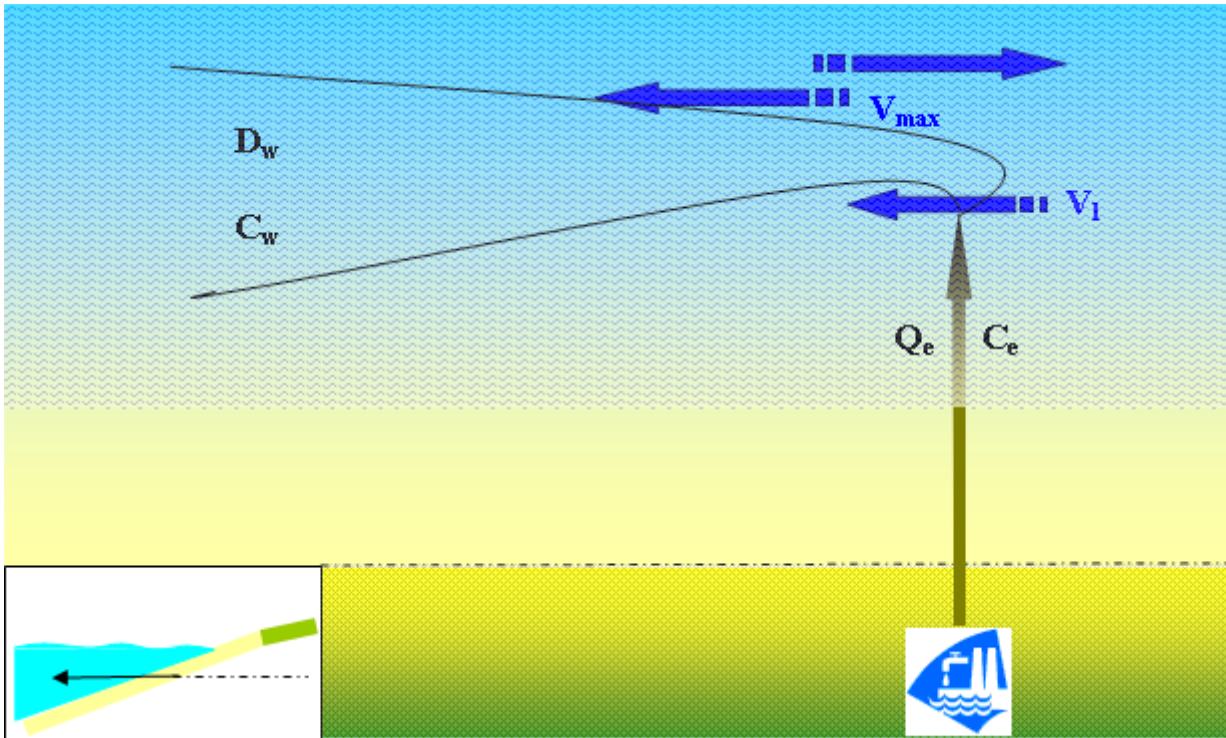
Location

 **Latitude:** 38.99466603762206 °N
 **Longitude:** -0.13996269708549053 °E
 **Location:** Gandia

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - Mercury and its compounds

Receiving water



Type of receiving water:	Open sea discharge
EQS mixing zone distance:	193.51543066116 m
MAC mixing zone distance:	4.8378857665291 m
Accepted relative change criterion:	0 %
Depth density jump:	0 m
Mean local current speed:	0.08 m/s
Maximum current speed:	0.52 m/s
Salinity near surface:	37 PSU
Salinity near bed:	38 PSU
Temperature near surface:	19 °C
Temperature near bed:	18 °C
Depth:	17 m
Density near bed:	1027.5736501613 kg/m ³
Density near surface:	1026.5526396032 kg/m ³
Measurement point:	Manual
Background concentration:	Unknown







Information provided

Discharge

Substance:	Mercury and its compounds
Unit used for concentration of this substance:	ug/l
AA-EQS for other surface waters:	0.07 ug/l
MAC-EQS for other surface waters:	0.07 ug/l

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - Mercury and its compounds

 Horizontal discharge position:	In the middle
 Vertical discharge position:	Near bed
 Discharge:	0.37 m ³ /s
 Concentration:	8 ug/l
 Density:	1001 kg/m ³
 Diameter discharge pipe:	0.6 m

Result of basic calculation

Case cannot be resolved with basic calculation: click next to go to advanced

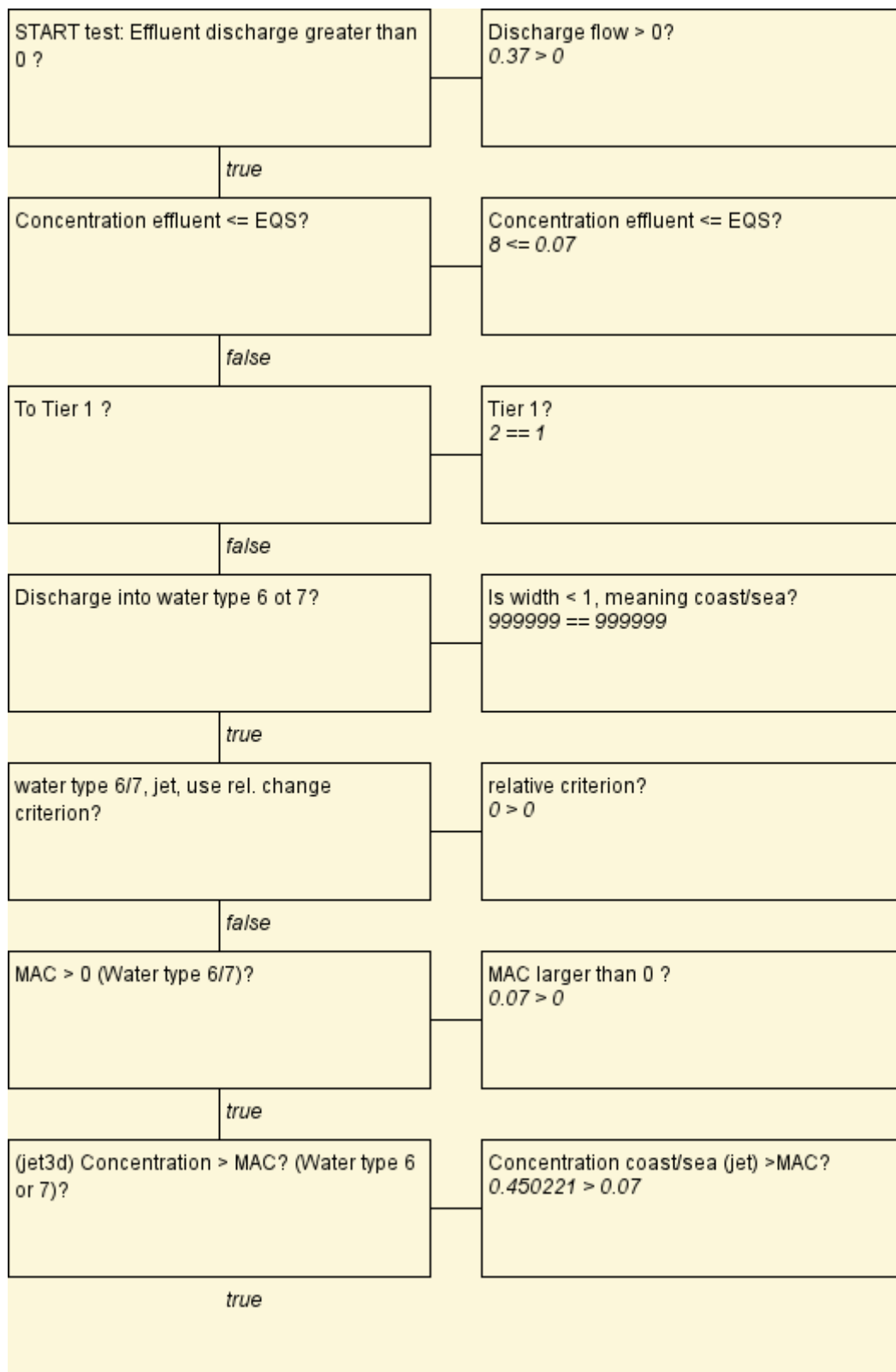
Result of advanced calculation

?CI > MAC: take appropriate measures or request advice

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - Mercury and its compounds

Decisiontree



Concentration at EQS assessment distance:

0.082073190539786 ug/l

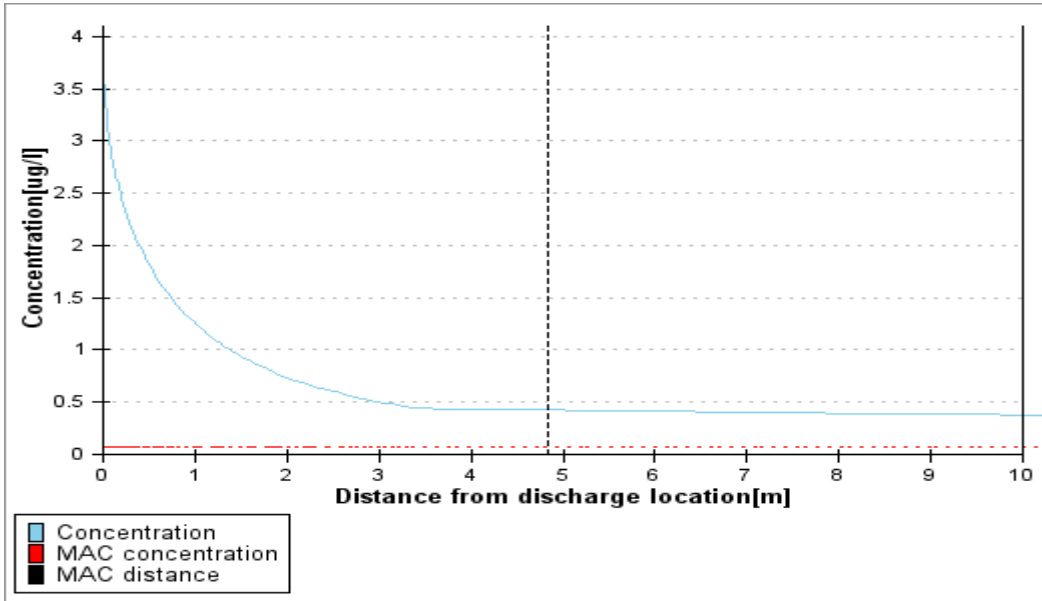
Concentration at MAC assessment distance:

0.45022074374119 ug/l

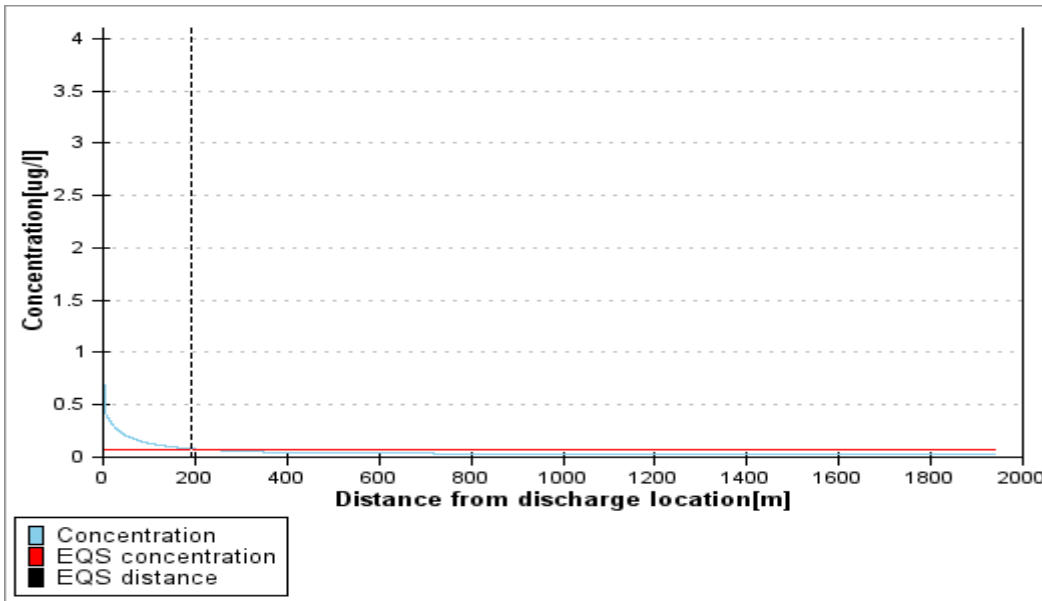
Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - Mercury and its compounds




MAC graph



EQS graph



Legend

-  database / calculated
-  overwritten
-  manual

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - 1000 - Mercury and its compounds

General information

Date: 04-09-2017
Version: 4.4.0
Company: Esther Hervàs
Discharge point: Gandia - Hg8 - 1000

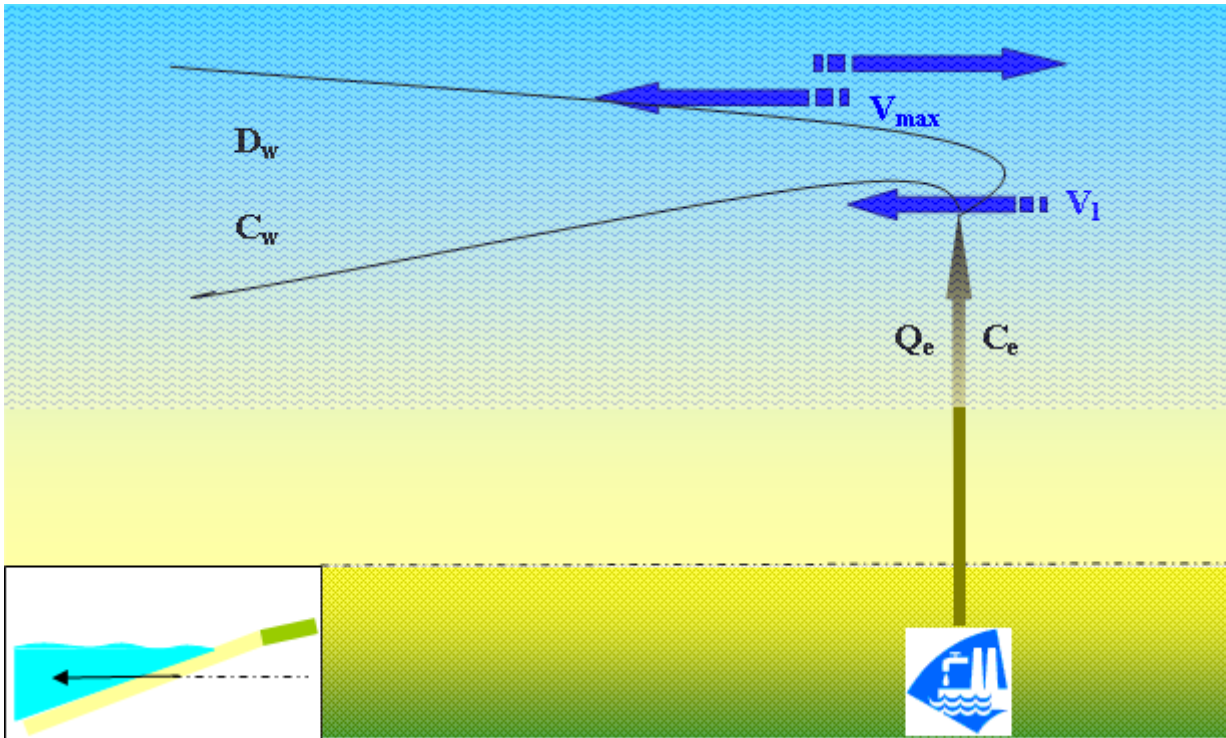
Location

 **Latitude:** 38.99466603762206 °N
 **Longitude:** -0.13996269708549053 °E
 **Location:** Gandia

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - 1000 - Mercury and its compounds

Receiving water



	Type of receiving water:	Open sea discharge
	EQS mixing zone distance:	1000 m
	MAC mixing zone distance:	25 m
	Accepted relative change criterion:	0 %
	Depth density jump:	0 m
	Mean local current speed:	0.08 m/s
	Maximum current speed:	0.52 m/s
	Salinity near surface:	37 PSU
	Salinity near bed:	38 PSU
	Temperature near surface:	19 °C
	Temperature near bed:	18 °C
	Depth:	17 m
	Density near bed:	1027.5736501613 kg/m ³
	Density near surface:	1026.5526396032 kg/m ³
	Measurement point:	Manual
	Background concentration:	Unknown







Information provided

Discharge

	Substance:	Mercury and its compounds
	Unit used for concentration of this substance:	ug/l
	AA-EQS for other surface waters:	0.07 ug/l
	MAC-EQS for other surface waters:	0.07 ug/l

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - 1000 - Mercury and its compounds

 Horizontal discharge position:	In the middle
 Vertical discharge position:	Near bed
 Discharge:	0.37 m ³ /s
 Concentration:	8 ug/l
 Density:	1001 kg/m ³
 Diameter discharge pipe:	0.6 m

Result of basic calculation

Case cannot be resolved with basic calculation: click next to go to advanced

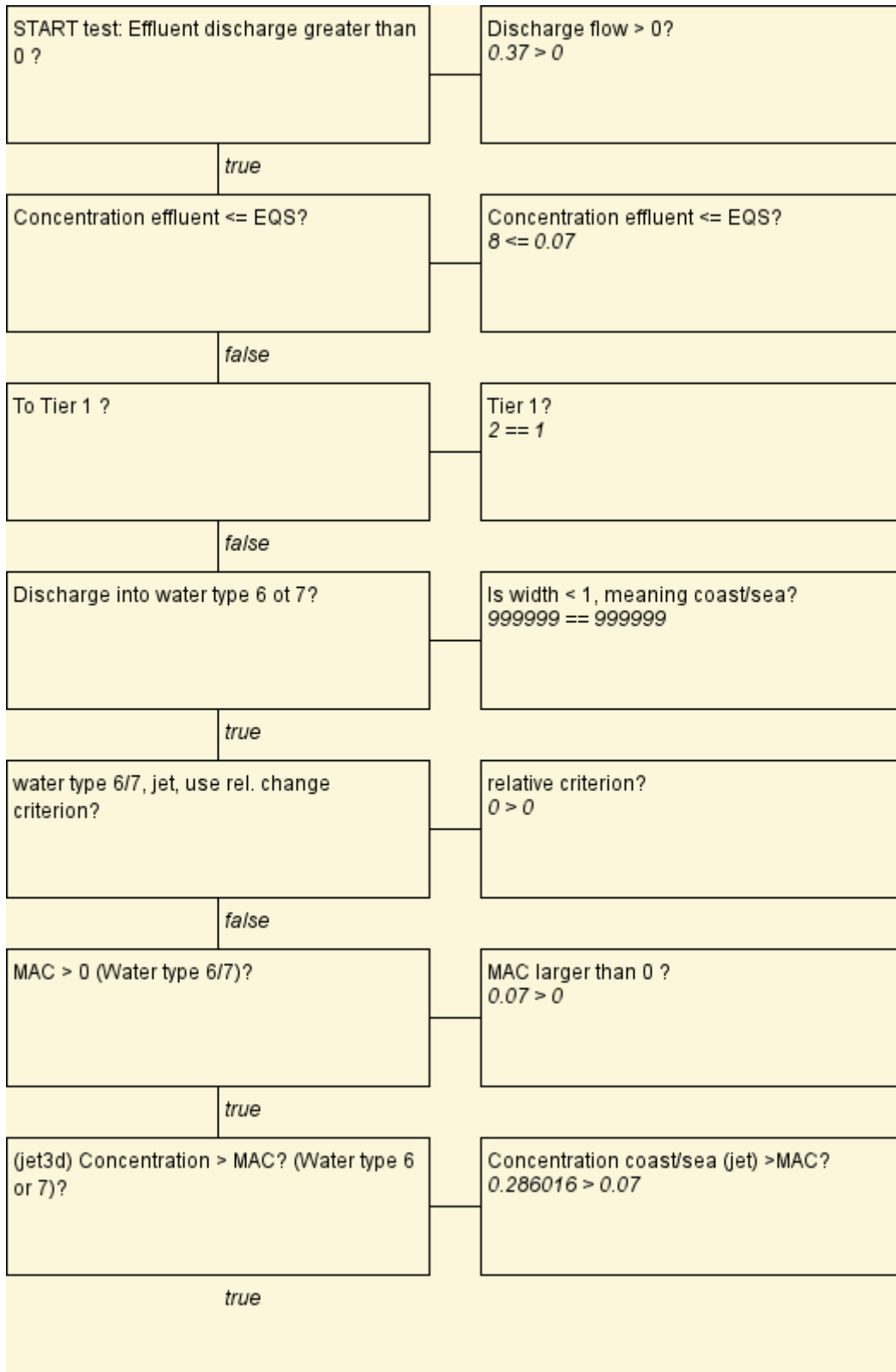
Result of advanced calculation

?CI > MAC: take appropriate measures or request advice

Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - 1000 - Mercury and its compounds

Decisiontree



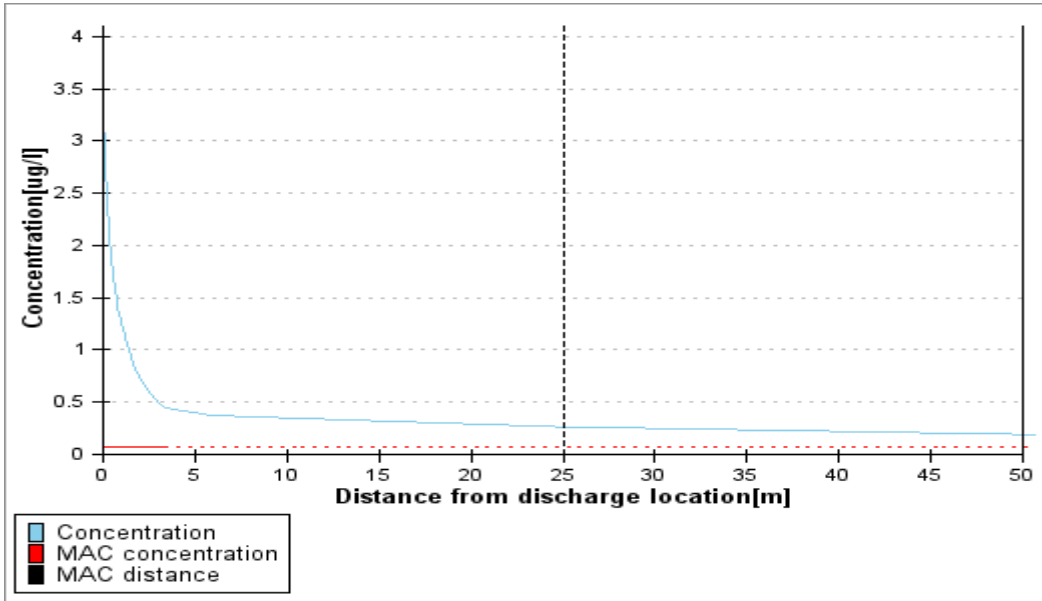
Concentration at EQS assessment distance: 0.027890246139642 ug/l

Concentration at MAC assessment distance: 0.28601550172458 ug/l

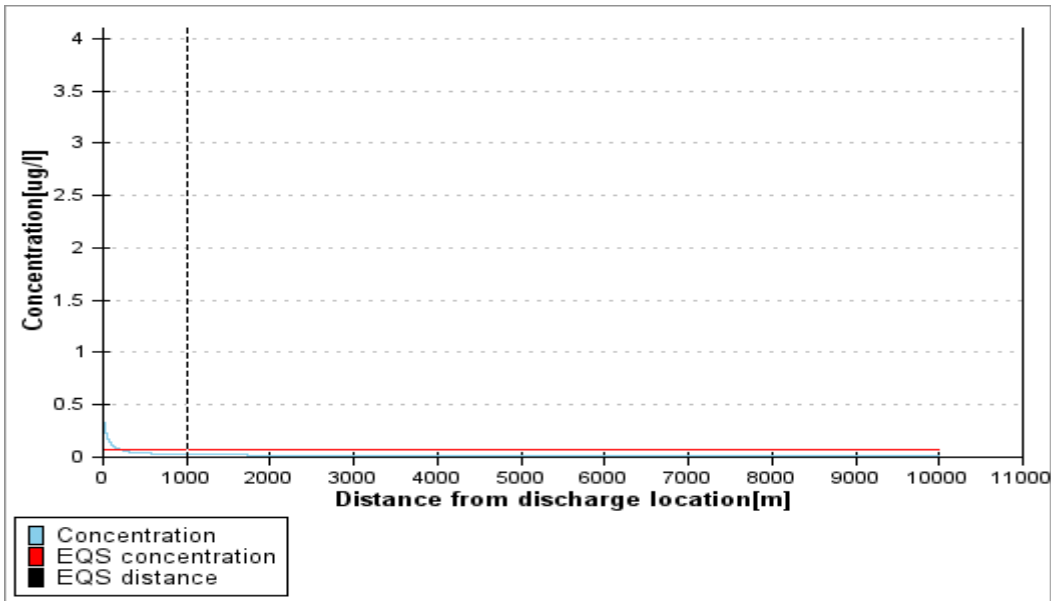
Discharge test

Esther Hervàs - Gandia - Hg8 - 1000 - Mercury and its compounds




MAC graph



EQS graph



Legend

-  database / calculated
-  overwritten
-  manual