



ANEXO 7

MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

V. 1.1

Este documento se ha obtenido como resultado del 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”
045/RN08/03.3

MEDVSA es un proyecto de I+D+i (2008-2010) financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Los trabajos han sido coordinados por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la UC y desarrollados en colaboración con el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX).

La documentación generada en el proyecto MEDVSA incluye:

- *GUÍA METODOLÓGICA*
- *Anexo 1. Fichas descriptivas de los modelos comerciales*
- *Anexo 2. Modelos de simulación brIHne (MEDVSA).*
- *Anexo 3. Formulación basada en los resultados experimentales*
- *Anexo 4. Caracterización de clima marino*
- *Anexo 5. Reglas básicas para la implementación de modelos CFDs en la simulación de campo cercano*
- *Anexo 6. Reglas básicas para la implementación de modelos hidrodinámicos en la simulación de campo lejano*
- *Anexo 7. Medidas preventivas y Programa de Vigilancia Ambiental*

El presente documento constituye el **Anexo 7: Medidas preventivas y Programa de Vigilancia Ambiental**

Autor:

CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS (CEDEX):

Personas de contacto:

Antonio Ruiz Mateo (Antonio.Ruiz@cedex.es)

Manuel Antequera Ramos (Manuel.Antequera@cedex.es)

ANEXO 7

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MEDIDAS PREVENTIVAS	2
2.1. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA EXPLOTACIÓN	2
2.2. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EMISARIOS	11
3. PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL	
3.1. TAREAS ANTERIORES A LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL VERTIDO	12
3.2. TAREAS POSTERIORES A LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL VERTIDO	13
4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	19

El presente Anexo ha sido elaborado por el **Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del CEDEX.**

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos físicos a escala reducida no pueden reproducir fielmente todos los fenómenos que se producen en el prototipo debido fundamentalmente a las limitaciones en los materiales que pueden utilizarse y en las condiciones de contorno que pueden simularse. Por esta razón siempre hay que hacer una selección de aquellos fenómenos que se consideran más relevantes para la investigación y diseñar el modelo para que estos sean reproducidos de la mejor manera posible. Como consecuencia, hay algunos fenómenos que se reproducirán mal y que pueden influir en los resultados obtenidos, al menos en determinadas partes del modelo o sobre ciertas variables. Al conjunto de estas desviaciones respecto al comportamiento del prototipo se le denominan efectos de escala.

Un análisis previo del diseño de cada modelo físico puede dar pistas sobre los aspectos en los que son de esperar los efectos de escala, pero la única forma de medirlos para hacer las correcciones necesarias consiste en realizar algunas campañas de medida en el prototipo. En nuestro caso se trataría de medir los campos de salinidades y de velocidades en la zona de influencia de algunos vertidos de plantas desaladoras en funcionamiento.

Las campañas de medida en prototipo tienen dos inconvenientes importantes:

- a) Resultan muy caras por los desplazamientos, los equipos de medida, la necesidad de utilizar embarcaciones, la incertidumbre sobre el estado del mar, etc.
- b) No se pueden controlar las variables ambientales (densidad, corriente, oleaje) ni las condiciones de vertido (caudal, salinidad, geometría). Cuando se hace una campaña, el conjunto de datos que se obtienen corresponde a un valor determinado de dichas variables, que a veces ni siquiera coincide con los rangos de valores para los que se espera que los efectos de escala sean importantes.

No obstante, el estudio de cualquier tipología de vertido quedaría incompleto si no se realizara alguna campaña de medida en una planta en funcionamiento.

La base de datos resultante de las campañas experimentales en laboratorio y en el campo constituye una referencia fundamental para cumplir cuatro objetivos fundamentales:

- 1) Mejorar nuestro entendimiento sobre los procesos y variables más relevantes que intervienen en el vertido y su comportamiento
- 2) Servir para calibrar y validar los modelos numéricos comerciales existentes para todas las tipologías de vertido consideradas y
- 3) Servir para desarrollar, calibrar y validar los nuevos modelos desarrollados en el marco del proyecto MEDVSA.
- 4) Validar los resultados de los modelos físicos y de las formulaciones basadas en análisis dimensional.

Los datos de campo y laboratorio serán sometidos a un exhaustivo control de calidad que garantice su validez para los objetivos propuestos. A partir de la base de datos se podrán hacer estudios paramétricos, ajuste de formulaciones semi-empíricas, análisis de posibles efectos de escala y calibración y validación de los modelos.

2. MEDIDAS PREVENTIVAS.

Las principales medidas preventivas para evitar los efectos perjudiciales durante la explotación de la planta desaladora consisten en el establecimiento de varias líneas o barreras de seguridad, de forma que si falla una, existan otras que permitan evitar los efectos negativos del vertido y en la inclusión de un margen de seguridad razonable en cada una de estas barreras para tener en cuenta las incertidumbres sobre los datos y las herramientas de diseño.

Las barreras de seguridad son las siguientes:

- a) Establecimiento de límites de emisión y de normas de calidad apropiados para vertidos de desaladoras
- b) Empleo de herramientas adecuadas para el diseño ambiental del dispositivo de vertido.
- c) En caso de vertido mediante emisario submarino, diseño que minimice los riesgos de fuga o rotura.
- d) Ejecución de un PVA apropiado para vertidos de desaladoras y, más específicamente, para el sistema de vertido elegido para la desaladora en cuestión
- e) Disponibilidad de una reserva de dilución para corregir un eventual incumplimiento de los límites establecidos detectado por el programa de vigilancia y existencia de un protocolo de actuación que establezca cuándo y cómo debe hacerse uso de dicha reserva.

También deben adoptarse medidas preventivas para evitar o reducir los impactos negativos sobre el medio marino durante la construcción de un emisario submarino, teniendo en cuenta que con el fin de evitar riesgos de rotura durante la explotación es necesario protegerlo, lo que incrementa el área de la superficie afectada.

Todas estas medidas preventivas se desarrollan a continuación.

2.1. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA EXPLOTACIÓN.

- **Establecimiento de límites de emisión y de normas de calidad.**

La Administración dispone de tres instrumentos para el establecimiento de límites de emisión y de normas de calidad: la normativa aplicable, la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y la Autorización de Vertido.

La normativa aplicable ha sido analizada en detalle en un informe del CEDEX¹. Las principales conclusiones son:

- No existe ninguna normativa que regule específicamente los vertidos de las desaladoras.
- No se han establecido límites de emisión para el contaminante más significativo de un vertido de este tipo, esto es, el exceso de salinidad respecto a la del agua de mar, y
- El parámetro salinidad sólo se menciona como objetivo de calidad en una norma estatal (el Real Decreto 345/1993, que en su anejo IV establece como condiciones imperativas que la variación de salinidad provocada por un vertido en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido no deberá ser superior a un 10 por 100 de la salinidad medida en las aguas no afectadas y que el valor máximo deberá ser inferior a 40‰ y como condición guía, que la salinidad máxima debe ser inferior a 38‰) y en tres normas autonómicas (en Andalucía, la Orden del 14 de febrero de 1997; en Cantabria, el Decreto 47/2009, de 4 de junio, y en Galicia, la Ley 8/2001, de 2 de agosto), que coinciden en establecer como máxima variación admisible un 10% del valor medido en aguas no afectadas por el vertido, aunque con ligeras diferencias en la forma de expresarlo.

Sobre la aplicabilidad a los vertidos de salmuera de la vigente **“Instrucción para el proyecto de conducciones de vertido desde tierra al mar”** aprobada por Orden Ministerial de 13 de Julio de 1993 (Corrección de errores en BOE de

¹ *Normativa aplicable a los vertidos al mar de las plantas desaladoras.* Informe Técnico del CEDEX para ACUAMED. Enero de 2011.

13 de agosto de 1993), debe decirse en primer lugar que cuando se redactó esta Instrucción², aunque se trató de que fuera una norma aplicable al proyecto de conducciones de todo tipo de vertido, la preocupación fundamental era la regulación de los vertidos de aguas residuales urbanas, por lo que aparecen numerosas disposiciones que son aplicables solamente a este tipo de vertidos. Como puede comprobarse en el texto de dicha Instrucción, todos los demás tipos de vertidos, a pesar de su gran diversidad y de las fuertes diferencias de características, se engloban genéricamente en el término *Aguas residuales industriales*, definido en el artículo 3, sin que en ningún caso se haga diferenciación entre sus distintos tipos.

Este término sólo se menciona 4 veces en todo el texto de la Instrucción:

En el artículo 4.3, donde se dice: "Igualmente, todo vertido al mar de aguas residuales industriales deberá someterse a tratamientos específicos, para respetar los valores límite y los objetivos de calidad establecidos en las normas vigentes"

En el artículo 5.3.1: "Para poblaciones de más de 10.000 habitantes-equivalente y para vertidos industriales, deberán evaluarse las características del agua residual, los caudales vertidos y su variabilidad, a partir de una campaña de medidas, cuyos resultados formarán parte integrante del proyecto"

En el artículo 5.4.3: "...se asegurará una dilución inicial mínima que, para vertidos de aguas residuales urbanas, deberá ser mayor de 80:1, durante más del 95 por ciento del tiempo, y mayor que 100:1, en los casos en que, por no existir estratificación o por ser ésta poco acusada, la mezcla alcance la superficie. Para vertidos industriales, estos valores sólo tendrán carácter orientativo, debiéndose justificar adecuadamente la adopción de otros valores de dilución inicial mínima de proyecto, cuando sean inferiores"

En el artículo 7.3.2.1 sobre control de las aguas receptoras para vertidos a través de emisarios submarinos: "B) Aguas residuales industriales: En cada caso, el solicitante propondrá unas relaciones de parámetros adecuadas al proceso industrial de que se trate, tanto para el análisis simplificado como para el análisis completo. La frecuencia mínima de muestreo será de ocho al año (cuatro de ellos completos), y se realizarán coincidiendo con períodos de máxima descarga"

Por otra parte, el término "desalación" solo se menciona una vez (artículo 5.3.2) y se hace para indicar que se trata de un uso que podría verse afectado por el vertido que se está proyectando, es decir, se refiere a la toma de la desaladora y no al vertido.

De una detenida lectura del texto de la Instrucción y teniendo en cuenta las diferencias entre el comportamiento del efluente de una desaladora, que ha sido descrito en el texto principal de esta Guía Metodológica, y el de un agua residual urbana, que por su menor densidad se dirige hacia arriba y se esparce en la superficie, se pueden extraer las siguientes conclusiones sobre la aplicabilidad de la Instrucción a los vertidos de las desaladoras:

Todo lo que no se refiere específicamente a ninguno de los dos tipos de aguas residuales considerados (urbanas o industriales) es perfectamente aplicable al proyecto de la conducción de vertido del efluente de una desaladora. Esto representa la gran mayoría de las disposiciones de la Instrucción.

No le son aplicables las disposiciones que se refieren específicamente a aguas residuales urbanas. Esto significa que no le son aplicables parte o la totalidad de los artículos siguientes:

² La versión de ponencia de esta Instrucción fue redactada por el CEDEX por encargo de la entonces Dirección General de Costa.

Artículo 4.2.-No le son aplicables las referencias a la depuración previa al vertido.

Artículo 4.3.- Es inaplicable el artículo completo.

Artículo 5.3.1.- Es inaplicable el artículo completo, pero permanece la obligación de caracterizar el efluente, sólo que se hace por otros métodos.

Artículo 5.3.4.- Como la sal es una sustancia conservativa, no es necesario determinar el coeficiente de auto depuración. Por el contrario, la batimetría de la zona ocupada por el campo lejano influye tanto en la trayectoria de la corriente hipersalina, que sería conveniente medirla con una gran precisión.

Artículo 5.4.3.- No es aplicable la exigencia de que “se asegurará una dilución inicial mínima que, para vertidos de aguas residuales urbanas, deberá ser mayor de 80:1 durante más del 95% del tiempo, y mayor que 100:1 en los casos en que, por no existir estratificación o por ser ésta poco acusada, la mezcla alcance la superficie” (tercer párrafo)³. Sin embargo, sí es aplicable el resto del párrafo: “Para vertidos industriales, estos valores sólo tendrán carácter orientativo, debiéndose justificar adecuadamente la adopción de otros valores de dilución inicial mínima de proyecto, cuando sean inferiores”. En este sentido hay que decir que para las desaladoras de ósmosis inversa actuales (índices de conversión del orden del 45%), una dilución de 30:1 es suficiente para cumplir, incluso en el punto de impacto del chorro con el fondo, el objetivo de calidad más estricto que hasta ahora se ha exigido, que precisamente es el de no sobrepasar el umbral de tolerancia para las praderas de la fanerógama marina *Posidonia oceánica* más de un 25% del tiempo. Para otra fanerógama marina también muy abundante (*Cymodocea nodosa*) es suficiente con una dilución inicial de 15:1. Sin embargo, no es necesario que la dilución inicial alcance estos valores si se puede demostrar que se alcanzan tras la dilución adicional que se produce en el campo lejano durante el recorrido de la capa hiperdensa hasta la zona que hay que proteger.

Tampoco debería imponerse una distancia mínima a la costa (quinto párrafo) porque las razones que menciona la Instrucción para ello (introducción de nutrientes en una zona donde quizás sean necesarios en vez de hacerlo donde suelen ser más abundantes y podrían aumentar el riesgo de eutrofización; dar tiempo para que actúen los fenómenos de eliminación de microorganismos patógenos; alcanzar grandes profundidades donde se consiguen mayores diluciones iniciales y mayores probabilidades de que la mezcla no alcance la superficie) se refieren a aguas residuales urbanas y no son aplicables a los vertidos de las desaladoras. Al contrario, como los efluentes hiperdensos, una vez alcanzan el fondo, tienen tendencia a desplazarse cuesta abajo, el vertido puede estar situado muy cerca de la línea de costa sin que exista un riesgo significativo de que ésta resulte alcanzada.

Artículo 7.3.1.- Solo son aplicables los primeros tres párrafos. El resto se refiere exclusivamente a aguas residuales urbanas.

Artículo 7.3.2.1.- Solo son aplicables el primer párrafo y el apartado B), relativo a aguas residuales industriales. No obstante, dado que el efluente de una desaladora de agua de mar es siempre hiperdenso, la mezcla forma una corriente de densidad que circula pegada al fondo cuesta abajo, con tendencia a seguir la línea de máxima pendiente excepto por el efecto de las corrientes del medio receptor. Esto hace que la colocación de los puntos de muestreo establecida en el primer párrafo de este artículo, que fue pensada para los efluentes hipodensos que se esparcen por la superficie y que se mueven muy influenciados por el viento, no sea de utilidad para los vertidos de las desaladoras. Se debería pues

³ Estos valores se impusieron porque un vertido de aguas residuales urbanas que consiga estas diluciones no produce ninguna anomalía visible al alcanzar la superficie. Los vertidos de las desaladoras, al ser hiperdensos, solo alcanzarían la superficie si se vierten mediante chorros ascendentes con gran velocidad. Esto impone una condición de diseño relativa a la trayectoria, pero no a la dilución.

exigir al promotor que en la solicitud de autorización de vertido, o en su caso, en el programa de vigilancia ambiental incluya una propuesta de red y frecuencia de muestreo acordes con el comportamiento de estos vertidos. Por otra parte, la AV, o si el proyecto se somete al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, la correspondiente DIA, deberían aprobar o modificar las características de este muestreo.

Artículo 7.3.3.- No es necesario controlar los sedimentos, pero sí los organismos.

Apéndice A.- Es completamente aplicable excepto el apartado A.4 (Coeficientes de autodepuración) porque la sal es una sustancia que no desaparece con el tiempo. Por otra parte, el coeficiente de dispersión vertical, que determina la velocidad con la que la capa de mezcla se va engrosando debido a la dispersión, es mucho menor que el que se propone en este Apéndice debido a que la diferencia de densidades entre dicha capa de mezcla y el agua del medio receptor produce un efecto estabilizador que obstaculiza la dispersión.

Apéndice B.- No son aplicables las fórmulas de los apartados B.2 (Cálculo de la dilución inicial) ni B.3. (Comprobación de los objetivos de calidad) porque se han obtenido haciendo simplificaciones basadas en el comportamiento de los vertidos de aguas residuales urbanas (efluente hipodenso y diseño orientado a conseguir una dilución inicial superior a 100) que no son apropiadas para el de los vertidos de las plantas desaladoras (efluentes hiperdensos con diluciones iniciales menores). Deben sustituirse por las herramientas de diseño descritas en la presente Guía Metodológica.

Le son aplicables las disposiciones existentes relativas a aguas residuales industriales, con la interpretación que corresponda para efluentes de desaladoras. Sin embargo, estas son tan pocas y tan poco concretas que se hace necesario completar la regulación con requerimientos adicionales. Mientras no se apruebe una actualización de esta Instrucción que contemple los vertidos de las desaladoras resulta especialmente importante que las Autoridades responsables de emitir la AV y, en su caso, la DIA, incorporen en dichos documentos los requerimientos necesarios para asegurar la protección del medio marino contra los potenciales impactos negativos de este tipo de vertidos.

En resumen, la mayor parte de la Instrucción es aplicable a los proyectos de salmueroductos. Sin embargo, las disposiciones relativas a aguas residuales industriales son muy escasas y no diferencian entre tipos de industrias, por lo que queda escasamente definido el control que debe realizarse de los vertidos de las plantas desaladoras. De ahí la importancia que tiene incorporar los requerimientos necesarios en la AV y, en su caso, en la DIA.

La **DIA** es un instrumento de regulación de una gran utilidad y que presenta importantes ventajas. Una de ellas es su versatilidad, porque tanto la estructura de sus contenidos como los requerimientos impuestos pueden matizarse en función de las circunstancias de cada caso, que pueden ser tan particulares que raramente podrán ser tenidas en cuenta en una norma de carácter general. Otra ventaja consiste en que en aquellos aspectos que sean comunes a muchas desaladoras concretas (por ejemplo, el tipo de sistema de vertido o las biocenosis que pueden resultar afectadas), el mantenimiento de criterios coherentes en los requerimientos exigidos sirve para orientar a futuros promotores, por lo que adquieren el carácter de directrices supletorias de la falta de normativa específica.

Un ejemplo muy claro de esto lo tenemos en el establecimiento de objetivos de calidad para el parámetro salinidad en el caso de existencia de praderas de *Posidonia oceanica* o de *Cymodocea nodosa* en las proximidades de la zona de vertido. En efecto, las DIA que se han aprobado en los últimos años establecen de forma reiterada que no podrán sobrepasarse la concentración s25, lim en más de un 25% de las observaciones ni la concentración s5, lim en más de un 5% de las observaciones, donde s25, lim y s5, lim tienen los valores de la tabla siguiente:

Habitat	$S_{25, lim}$	$S_{5, lim}$
Praderas de <i>Posidonia oceanica</i>	38,5	40,0
Praderas de <i>Cymodocea nodosa</i>	39,5	41,0

No se han establecido hasta el momento umbrales de tolerancia para otras comunidades bentónicas, aunque existen estudios al respecto, como se expone en la Guía. En estos casos, si la magnitud del proyecto lo permite, el promotor debería financiar un estudio de determinación del umbral de tolerancia para la comunidad crítica del proyecto en cuestión, al menos mediante experimentos de mesocosmos (en acuarios en laboratorio), tal como se ha hecho en casos anteriores⁴.

Mientras tanto y con el fin de cubrir el vacío legal, las Autoridades Ambientales deberían fijar valores provisionales de dichos límites, al menos, para las dos situaciones siguientes:

- Uno de carácter general que deba cumplirse en cualquier punto situado fuera de la zona de mezcla⁵
- Otro algo menos general que deba cumplirse en hábitats bentónicos de interés comercial y en aquellos que estén presentes en una zona con alguna figura de protección ambiental en cuya declaración hayan influido.

Actualmente el CEDEX está redactando un informe en el que, a partir de una revisión exhaustiva de la bibliografía existente sobre rangos de salinidad tolerables por diferentes especies marinas se proponen valores provisionales para estos límites

La Autorización de Vertido, al referirse exclusivamente al vertido, permite profundizar más en este aspecto, por lo que generalmente regulará un mayor número de contaminantes y especificará con mayor detalle las condiciones en las que puede realizarse el vertido y la forma en la que deben hacerse los muestreos.

El punto 1 del artículo 58 de la Ley 22/1988, de Costas, dice que entre las condiciones a incluir en las autorizaciones de vertido al Dominio Público Marítimo-Terrestre deberán figurar las relativas a:

- Volumen anual de vertido.
- Límites cualitativos del vertido y plazos si proceden, para la progresiva adecuación de las características del efluente a los límites impuestos.
- Evaluación de los efectos sobre el medio receptor, objetivos de calidad de las aguas en la zona receptiva y previsiones que, en caso necesario, se hayan de adoptar para reducir la contaminación.

Sin embargo, el artículo 251 del Decreto 849/1986 (Reglamento del Dominio Público Hidráulico), en la redacción dada por el Decreto 606/2003 dice que las autorizaciones de vertido al Dominio Público Hidráulico deben incluir entre otros extremos:

- El caudal y los valores límite de emisión del efluente, determinados con arreglo a las siguientes reglas generales:

1º) Las características de emisión del vertido serán tales que resulten adecuadas para el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del medio receptor. Se podrá establecer una aplicación gradual de aquéllas hasta su completa consecución.

⁴ Los estudios para la determinación del umbral de tolerancia para las praderas de *Posidonia oceánica* fueron financiados por Aguas de la Cuenca del Segura y los de las praderas de *Cymodocea nodosa* por ACUAMED.

⁵ La zona de mezcla está definida cualitativamente en el artículo 4 de la Directiva 2008/105 y en los puntos 5.1.2.1 y 5.1.2.2 de la Orden ARM/2656/2008. En espera de una norma que la defina cuantitativamente se puede interpretar que coincide con el campo cercano del vertido.

2º) Se exigirán valores límite de emisión para los parámetros característicos de la actividad causante del vertido.

3º) Los valores límite de emisión no podrán alcanzarse mediante técnicas de dilución⁶.

Es decir, para los vertidos al mar y a los estuarios, la autorización de vertido debe contener límites de emisión cualitativos y objetivos de calidad. Por lo tanto, es responsabilidad del titular del vertido que se cumplan los objetivos de calidad, por lo que un incumplimiento de estos podría ser motivo de sanción. Sin embargo, para los vertidos a ríos, lagos y embalses sólo se imponen límites de emisión, pero cuantitativos calculados de forma que se cumplan las normas de calidad del medio receptor. En este caso, si se detecta un incumplimiento de las normas de calidad es dudoso que se pueda sancionar al titular del vertido si éste está cumpliendo con los límites de emisión. Lo que procede entonces es modificar los términos de la autorización de vertido.

Esta diferencia de matiz tiene trascendencia también sobre quién debe correr con los gastos de las campañas de medidas para comprobar el cumplimiento de los objetivos de calidad (que suelen ser bastante elevados) y sobre quién tiene la responsabilidad de acertar en el juicio sobre la idoneidad de las herramientas de simulación utilizadas para pasar de las normas de calidad a los límites de emisión.

Empleo de herramientas adecuadas para el diseño ambiental del dispositivo de vertido.

El diseño ambiental del dispositivo de vertido consiste en la elección del sistema de vertido y de los parámetros geométricos e hidráulicos del dispositivo de vertido de forma que se asegure el cumplimiento de los criterios de calidad y que se produzca el mínimo impacto ambiental posible.

Las principales herramientas para el diseño ambiental son aquellas que permiten predecir las concentraciones de los distintos contaminantes en función de los parámetros del dispositivo de vertido y de las características del medio receptor.

Sin embargo, como quedó patente en la introducción de esta Guía, el comportamiento de los efluentes líquidos vertidos al mar es muy complejo y sujeto a muchas variables que actúan simultáneamente: flujo completamente tridimensional, fuerte dependencia de las densidades, formación de interfases con altos gradientes de las variables, interacciones entre chorros, posibles recirculaciones, cambio de variables dominantes en distintas partes de la zona afectada, etc. Como consecuencia, en el momento actual no existe ninguna herramienta (salvo quizás un modelo físico específico para cada caso concreto) que permita estudiar dicho comportamiento con resolución y generalidad suficientes para todo el dominio afectado.

Lo que existen son herramientas que permiten simular con aproximación razonable, o bien tipos de flujos geométrica e hidrodinámicamente simples, o bien partes de flujos más complejos en donde predomina la influencia de un pequeño número de variables.

Estas herramientas se describen en el capítulo 3 de la presente Guía y en sus Anejos 1 a 6.

La principal medida preventiva en relación con esta barrera de seguridad consiste en considerar aceptable solamente el empleo de herramientas cuya fiabilidad de predicción haya sido suficientemente contrastada con resultados experimentales y sólo cuando se empleen para los tipos de flujos, en los tramos de trayectorias y para las condiciones de transición entre tramos para los que son fiables. Esto obliga al proyectista a limitar el abanico de dispositivos de vertido que puede considerar y a no contar con los incrementos de dilución que se producen en aquellos tramos de la

⁶ Este requerimiento, muy apropiado cuando se refiere al vertido de sustancias contaminantes muy persistentes (metales pesados, PCBs, PAHs, etc.), no debería aplicarse a los vertidos de las desaladoras puesto que en este caso lo que se vierte al mar se ha extraído de él y el único problema es que se devuelve con menos agua y por lo tanto, con concentraciones más elevadas, por lo que la dilución con agua de mar es una solución completamente admisible.

trayectoria para los que no existen herramientas de predicción fiables incluso aunque se tengan fundadas sospechas de que efectivamente se producen.

Así, los modelos para simular vertidos sumergidos basados en la integración numérica de las ecuaciones diferenciales ordinarias que se obtienen por integración en la sección transversal del chorro de las ecuaciones originales en derivadas parciales (por ejemplo, UM3 de la plataforma VISUAL PLUMES, JETLAG del sistema VISJET, CORJET del sistema CORMIX o IJETG del proyecto MEDVSA), a pesar de que sus hipótesis de partida no se cumplen muy bien en el caso de vertidos de salmuera, se consideran suficientemente contrastados⁷ para simular la geometría y la dilución de un chorro individual siempre que no interactúe con los contornos (superficie o fondo). Por esta razón se consideran aceptables las diluciones calculadas por estos modelos hasta un punto de la trayectoria próximo al fondo pero suficientemente lejos de éste como para estar seguro de que no llegará hasta allí el efecto de las turbulencias que se generan con el impacto. No se cuenta con el posible incremento de dilución que se produce como consecuencia de estas turbulencias a una cierta distancia del punto de impacto con el fondo. Para ello es necesario utilizar otra herramienta que haya sido calibrada con resultados experimentales de diluciones medidas en el fondo y que tengan en cuenta la interacción entre las zonas de impacto de los distintos chorros, como por ejemplo, la formulación propuesta en el Anejo 3 de la presente Guía en base a los resultados de los ensayos llevados a cabo en el CEDEX como parte del proyecto MEDVSA.

Cuando se trata de un emisario submarino resulta relativamente fácil diseñarlo de forma que se consigan en la frontera del campo cercano diluciones suficientes como para que el máximo exceso de salinidad sea ya inferior a los valores límite. Si esto se hace así, no será necesario ni realizar los cálculos para el campo lejano ni incluir éste en el dominio del PVA, ya que las salinidades serán inferiores a las existentes en dicha frontera. Esto puede ser aplicable también en casos de vertidos desde acantilados, si la altura del vertido y el calado en el pie del acantilado son suficientes.

En general, cuanto menos contrastada esté una herramienta (por ejemplo, por escasez de resultados experimentales), mayor margen de seguridad hay que tomar a la hora de elegir los parámetros y las condiciones de contorno del modelo (si éste lo permite) y mayor hincapié habrá que hacer en el programa de vigilancia para comprobar los resultados.

En determinados casos, si la magnitud del proyecto lo permite, puede ser aconsejable construir un modelo físico a escala reducida del dispositivo de vertido proyectado y ensayar sobre él diferentes hipótesis de funcionamiento. El incremento de coste que esto supone puede quedar compensado por la optimización del dispositivo de vertido y la reducción del esfuerzo de vigilancia posterior como consecuencia del mejor conocimiento que se obtiene sobre su funcionamiento.

Como tanto las condiciones ambientales (corrientes, oleaje, nivel de marea) como las de operación de la planta (número de bastidores en funcionamiento, caudal de pre-dilución, índice de conversión, número de bocas de descarga activas) son variables, los campos de exceso de salinidad que se producen también lo son. Mediante el empleo intensivo de las herramientas de diseño ambiental deben determinarse las combinaciones de rangos de las variables para las que el funcionamiento es seguro, es decir, para las que se cumplen los criterios de calidad ambiental. Más aun, se pueden determinar las combinaciones de rangos de las variables para las que se está tan lejos de los valores límite del exceso de salinidad que podría admitirse relajar la intensidad de las mediciones del programa de vigilancia en el medio marino a cambio de tener un registro continuo de los parámetros de funcionamiento, lo que resulta más fácil y económico. Los resultados de estos cálculos serán una gran ayuda para el responsable de la operación de la planta desaladora y para el diseño del programa de vigilancia ambiental.

En la determinación de los rangos de las variables para el funcionamiento seguro es importante tener presente (porque resulta paradójico) que en el caso de un emisario submarino, si no se modifica el número de bocas de descarga activas, la dilución obtenida en el campo cercano es menor cuanto menor es el caudal vertido.

Diseño del emisario que minimice los riesgos de fuga y rotura

Si el dispositivo de vertido es un emisario debe diseñarse de forma que se minimicen los riesgos de fuga y rotura. Para ello deben tenerse en cuenta las especificaciones de la vigente "Instrucción para el proyecto de conducciones de vertido desde tierra al mar", en particular su apartado 5.4.4 (Trazado y cálculo del emisario), donde se habla entre otras cosas

⁷ Con los valores de los parámetros que llevan incorporados.

de la estabilidad, resistencia y protección del emisario contra los posibles impactos de anclas que se deslizan o de artes de pesca de arrastre.

En zonas de materiales sueltos, el método de protección que se recomienda consiste en enterrar el emisario con un recubrimiento tal que siempre resulte suficiente para evitar el impacto, incluso teniendo en cuenta las variaciones debidas a los fenómenos de dinámica litoral. Si se usa material de los fondos contiguos como recubrimiento, puede servir de orientación un espesor de 2 m. en arenas y 7 m. en fangos. En caso necesario, se utilizarán préstamos de material más grueso, escollera e incluso placas de hormigón.

Como los taludes que se forman al excavar la zanja para enterrar el emisario son muy tendidos, la superficie del fondo afectada es mucho mayor que la que ocupa en planta el emisario. Si existen comunidades de cierto valor ecológico o económico puede resultar menos perjudicial para el medio hacer una zanja poco profunda y recubrir la parte superior del emisario con un pedraplén de taludes tendidos, de forma que aunque se encuentre por encima del nivel del fondo, cuando pase por un ancla o un arte de arrastre, éste no quede atascado sino que supere el pedraplén resbalando sobre él.

En fondos rocosos, podrá ir parcialmente empotrado o simplemente anclado, dependiendo del grado de protección que suponga la propia roca

Si el trazado del emisario tiene que pasar por zonas donde existen comunidades de elevado valor (por ejemplo, praderas de fanerógamas), se debe estudiar la posibilidad técnica de atravesar esta zona mediante perforación horizontal dirigida. Esta técnica puede ser útil también para atravesar la zona de rompientes e incluso construcciones o una hipotética playa evitando así muchos problemas.

Si no es posible realizar la perforación dirigida puede plantearse la colocación del emisario directamente sobre el fondo, pero entonces deben tomarse las medidas preventivas que se explican más adelante.

En todos los casos debe minimizarse el número de juntas en la tubería. Actualmente es posible construir emisarios sin juntas mediante soldadura de los diferentes tramos.

Ejecución de un PVA apropiado para vertidos de desaladoras y, más específicamente, para el sistema de vertido elegido para la desaladora en cuestión.

Los elementos de un PVA apropiado para vertidos de desaladoras se explican más adelante en este mismo Anejo.

Disponibilidad de una reserva de dilución para corregir un eventual incumplimiento de los límites establecidos detectado por el programa de vigilancia y existencia de un protocolo de actuación que establezca cuándo y cómo debe hacerse uso de dicha reserva

Esta barrera de protección consiste en que la planta desaladora se diseñe de forma que si durante el programa de vigilancia se detecta un incumplimiento de los límites de salinidad o de otros parámetros controlados, pueda activarse un protocolo de actuación que, entre otras cosas, permita disminuir la salinidad del efluente y/o verter en condiciones que aumenten la dilución tras el vertido hasta que se corrija el incumplimiento, considerando incluso la reducción de la producción de agua producto si resulta imprescindible. A este conjunto de medidas se le denomina reserva de dilución.

La reserva de dilución debe permitir que, en caso necesario, pueda reducirse el exceso de salinidad en las zonas a proteger en al menos un 20%. Como éstas suelen estar en el campo lejano y el exceso de salinidad en el campo lejano es aproximadamente proporcional al exceso de salinidad existente al final del campo cercano, donde es más sencillo calcular las diluciones, el promotor debe justificar mediante las herramientas de diseño ambiental que con el conjunto de medidas propuestas como reserva de dilución se puede conseguir una reducción del 20% del exceso de salinidad al final del campo cercano con respecto a las condiciones nominales de diseño.

La medida protectora en este caso es la propia disponibilidad de la reserva de dilución y la garantía de su correcta utilización por la existencia de un protocolo de actuación previamente establecido. El promotor debe proponer para su aprobación junto con el programa de vigilancia ambiental, el protocolo de actuación que pondrá en marcha en caso de que se detecte un incumplimiento.

Las condiciones precisas bajo las cuales se debe activar el protocolo de actuación se establecerán en el PVA.

Cuando se active el protocolo, en primer lugar se investigará con premura la causa de la anomalía. Si se deduce que se trata de un problema puntual (avería, falta de suministro eléctrico, maniobra equivocada, operación de mantenimiento, situación ambiental excepcionalmente desfavorable, etc.) que puede corregirse en un plazo de 15 días, se procederá a su corrección dentro de este plazo y no habrá necesidad de modificar los parámetros normales de funcionamiento de la planta. Una vez corregido el problema, se desactiva el protocolo de actuación.

Si el problema requiere un plazo mayor para su corrección o si se debe a un cambio programado de las condiciones de funcionamiento⁸ o si no se encuentra la causa, se modificarán las condiciones de funcionamiento para reducir el exceso de salinidad en la zona causante de la activación del protocolo y se mantendrán estas condiciones hasta que el problema esté identificado y quede corregido, después de lo cual se desactivará el protocolo de actuación.

En estas situaciones resultaría de gran utilidad que durante la redacción del proyecto, como parte del estudio de impacto ambiental, se hubieran estudiado no solo las combinaciones de condiciones de funcionamiento que dan lugar a excesos relativos de salinidad iguales a los valores límite $r_{25,lim}$ y $r_{5,lim}$ sino también las que producirían excesos relativos del 90%, del 80% y del 70% de estos valores.

Si estos cálculos están hechos, se ajustarán los parámetros de funcionamiento de forma que, de acuerdo con los cálculos, se produzcan excesos de salinidad inferiores a los esperables con las condiciones de funcionamiento actuales en el mismo porcentaje que aquel en el que las mediciones del PVA han comprobado que se sobrepasan los valores límite. Por ejemplo, si con las condiciones de funcionamiento actuales los cálculos predicen que el exceso de salinidad debe ser del 90% de los valores límite y sin embargo, las mediciones han encontrado excesos del 15% sobre los valores límite, hay que modificar los parámetros de operación de la planta (caudal y salinidad del efluente, número de bocas de descarga activas en un emisario submarino) para que, de acuerdo con los cálculos, el exceso esperable sea de un

$$0,9 * (1 - 0,15) * 100 = 76,5\% \text{ de los valores límite.}$$

Si los cálculos no están hechos pero se decide hacerlos en un plazo inferior a 15 días, se realizarán y, a partir de sus resultados, se procederá como se indica en el párrafo anterior.

Si se prevé que no se dispondrá de estos resultados en un plazo inferior a 15 días, a la mayor brevedad posible se tomarán las medidas necesarias para que, manteniendo el mismo caudal, se reduzca el exceso de salinidad del efluente en un porcentaje igual o superior a aquel en el que las mediciones del PVA han comprobado que se sobrepasan los valores límite. Esto puede conseguirse disminuyendo la producción, por ejemplo, parando un bastidor, y desviando parte del caudal que alimentaba ese bastidor para mezclarlo con el efluente.

⁸ Por ejemplo, un incremento en la producción (y por lo tanto, en el caudal vertido) que haga que los chorros de un vertido sumergido impacten con la superficie, o una reducción de la misma que haga que la velocidad de salida de los chorros sea tan baja que no se alcancen las diluciones necesarias.

2.2. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EMISARIOS.

También deben adoptarse medidas preventivas para evitar o reducir los impactos negativos sobre el medio marino durante la construcción de un emisario submarino. No obstante, con respecto a esto debe tenerse en cuenta que algunas medidas preventivas para reducir riesgos de impacto durante la explotación, como por ejemplo, las protecciones contra el riesgo de rotura (enterramiento, cubrición con escollera) o las emisarios excesivamente largos, pueden tener un impacto negativo cierto durante la construcción (remoción o enterramiento de comunidades bentónicas, turbidez transitoria, mayor superficie afectada por las obras). Por lo tanto, en determinados casos puede ser preferible adoptar alternativas que reduzcan el impacto durante la construcción aunque ello suponga reducir el margen de seguridad del riesgo de impacto durante la explotación.

Por tanto, la primera medida preventiva para evitar o reducir los impactos negativos durante la construcción consiste en revisar aquellos márgenes de seguridad establecidos como medidas preventivas para reducir los riesgos de impacto durante la explotación que se traduzcan en un incremento significativo de la superficie afectada por las obras o en la necesidad de que éste tenga que atravesar zonas protegidas, con el fin de sopesar ventajas e inconvenientes y determinar la alternativa que en su conjunto produzca menor impacto.

Otra medida preventiva para evitar o reducir los impactos negativos sobre el medio marino durante la construcción de un emisario submarino consiste en adoptar el siguiente orden de prioridad a la hora de elegir la alternativa de proyecto:

- Situar el tramo difusor y realizar el trazado del emisario de forma que se evite el paso por zonas sensibles (con presencia de comunidades bentónicas de elevado valor ecológico o económico). El emisario debe diseñarse con las medidas de protección contra artes de pesca de arrastre o anclas previstas en la vigente Instrucción para el proyecto de conducciones de vertido desde tierra al mar (enterramiento en zanja, cubrición con escollera o una mezcla de ambos procedimientos).
- Si no es posible evitar el trazado por zonas sensibles, construir el tramo correspondiente mediante la técnica de perforación horizontal dirigida cuando ésta sea posible por la naturaleza de los terrenos a atravesar, la proximidad a la costa y la anchura de la zona que hay que salvar.
- Si no es posible utilizar dicha técnica pero existen para la zona sensible en cuestión medidas de protección contra el uso de artes de pesca de arrastre (prohibición expresa o genérica, arrecifes artificiales, etc.), se puede plantear la colocación del emisario sobre la superficie sin protección siempre que: a) se justifique satisfactoriamente que la tubería no se moverá bajo la acción de oleaje y corrientes, b) se dispone de un procedimiento suficientemente sensible de detección inmediata de una hipotética rotura de la tubería, por ejemplo, basado en la carga hidráulica en el arranque del emisario, c) se realizan reconocimientos para detección de fugas a lo largo del emisario con frecuencia bimensual o superior y d) se realizan reconocimientos del estado de las comunidades bentónicas a lo largo de la traza del emisario con frecuencia anual o superior.
- Si no existen medidas de protección contra el uso de artes de pesca de arrastre en esa zona, debe protegerse el emisario, lo que hace inevitable que se produzcan ciertos impactos negativos por extracción o enterramiento⁹. En estos casos resultará más difícil obtener la autorización de vertido, pero las probabilidades aumentarán si se proponen medidas preventivas o correctoras que minimicen dichos impactos. Una de ellas puede ser la de cortar en bloques la superficie colonizada afectada (en el caso de fanerógamas marinas, junto con sus rizomas) previamente a la ejecución de la zanja para colocarlos sobre ésta una vez colocada la tubería y rellenada la misma. No obstante, este procedimiento se encuentra en fase experimental y de aceptarse debería someterse a un riguroso control de su eficacia como parte del PVA.

⁹ Los efectos negativos de una turbidez transitoria (en el supuesto de que no lleva aparejada una tasa de sedimentación que produzca daños por enterramiento y que no se trata de material contaminado) no han sido descritos en la literatura con base experimental suficiente como para poder establecer límites cuantitativos.

3. PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL.

Se exponen a continuación algunas directrices que deben tenerse en cuenta para la definición del PVA en relación con la explotación del dispositivo de vertido de una desaladora, tanto en la versión que se redacta como parte del estudio de impacto ambiental como en la versión que se redacta después de emitirse la DIA y antes del inicio de las obras.

3.1. TAREAS ANTERIORES A LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL VERTIDO.

Deben identificarse las comunidades bentónicas críticas, es decir, aquellas que por su fragilidad y proximidad al vertido han determinado su diseño y las diluciones a conseguir; deben establecerse unas zonas de vigilancia situadas en el borde de las áreas colonizadas que se encuentren más próximas al vertido (entre 2 y 10 dependiendo del número y distribución de comunidades críticas) y deben marcarse sobre el terreno en cada una de las zonas de vigilancia al menos 3 parcelas que servirán como réplicas para caracterizar el estado de la comunidad en la situación preoperacional y en las sucesivas campañas de seguimiento que deban realizarse. Y finalmente, debe llevarse a cabo dicha caracterización del estado preoperacional mediante dos campañas, una en invierno y otra en verano. En cada campaña y en cada zona de vigilancia debe tomarse un perfil de conductividad y temperatura con CTDs (Conductivity, Temperature, Depth) bien calibrados y de precisión de 0,05 psu o mejor.

En el caso de que las comunidades críticas sean praderas de fanerógamas marinas, las campañas se realizarán en época vegetativa (febrero) y en época de floración (junio) y se estudiarán al menos los siguientes descriptores: densidad de haces, cobertura, biomasa y superficie foliar y número medio de hojas por haz. Además se tomarán fotografías o vídeos submarinos de estas parcelas con suficiente calidad para poder apreciar su estado.

En la versión del PVA que se redacte tras la publicación de la DIA, se comprobará que todo lo anterior está hecho, y si no lo estuviere, se incluirá como parte del PVA la realización de las partes que falten. También se comprobará que las estimaciones de impacto se han hecho utilizando herramientas de cálculo apropiadas, que se han aplicado a los valores más actualizados de los parámetros de vertido y que se ha determinado correctamente la salinidad del medio receptor, debiendo corregirse como parte del PVA cualquier defecto o incoherencia detectados.

La salinidad del medio receptor influye mucho en el valor de la dilución necesaria para no sobrepasar la salinidad límite, y más cuanto más se aproximen estas dos salinidades como puede verse en la tabla siguiente.

DILUCIÓN NECESARIA PARA UN VERTIDO QUE TOMA AGUA DE MAR Y OPERA CON UN ÍNDICE DE CONVERSIÓN DEL 45%						
<i>S_{lim}</i> (psu)	<i>s_a</i> (psu)					
	36,0	36,5	37,0	37,5	37,8	38,0
38,0	14,7	19,9	30,3	61,4	154,6	Infinita
38,5	11,8	14,9	20,2	30,7	44,2	62,2
39,0	9,8	11,9	15,1	20,5	25,8	31,1
39,5	8,4	10,0	12,1	15,3	18,2	20,7
40,0	7,4	8,5	10,1	12,3	14,1	15,5
40,5	6,5	7,5	8,6	10,2	11,5	12,4

Por lo tanto, un pequeño error en la determinación de la salinidad del medio, sobre todo en el Mediterráneo, puede llevar a un gran error en la dilución necesaria, variable que a su vez influye mucho en el diseño y en el coste del vertido. De ahí que deban extremarse las precauciones para medir bien esta variable. Se tomará como salinidad del medio receptor el promedio de todas las salinidades *c* calculadas por las fórmulas de la Escala de Salinidad Práctica de la UNESCO¹⁰ a partir de los datos de conductividad y temperatura obtenidos para todas las cotas en los perfiles de verano y de invierno de todas las zonas de vigilancia con los CTDs bien calibrados.

¹⁰ UNESCO (1981) "Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards". UNESCO technical papers in marine science, 36.

3.2. TAREAS POSTERIORES A LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL VERTIDO.

Las DIAS publicadas durante los últimos años han ido consolidando unos determinados criterios para las tareas del PVA posteriores a la puesta en funcionamiento del vertido. Sin embargo, el avance del conocimiento que se ha producido en la última década sobre el comportamiento de los diferentes tipos de vertidos gracias a la experimentación en laboratorio y la experiencia adquirida en las campañas de medidas en el mar para la caracterización de vertidos de plantas en funcionamiento, ambos debidos en buena parte a los trabajos realizados en el marco del proyecto MEDVSA, aconsejan modificar algunos aspectos.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que los caudales vertidos suelen presentar variaciones importantes, tanto a lo largo de un mismo año (por variaciones de la demanda, que hará que se funcione con más o menos bastidores) como a lo largo de la vida de la planta (porque suelen producirse ampliaciones de capacidad con la instalación de nuevos bastidores).

Por todo ello se plantean a continuación nuevos criterios.

3.2.1. Mediciones en el interior de la planta desaladora.

Caudales.

Se medirán a intervalos no superiores a 3 horas el caudal de entrada a la planta, el caudal destinado a la predilución y el caudal de rechazo. Como el caudal de vertido es la suma de los dos últimos, se puede sustituir la medida del caudal de rechazo por la medida del caudal vertido al mar. Si el caudal de la toma es la suma de los dos primeros, también se puede sustituir la medida del caudal de entrada a la planta por la medida del caudal de toma.

La incertidumbre de las mediciones debe ser inferior al 5%.

Salinidades.

Se medirán a intervalos no superiores a 3 horas, preferiblemente coincidiendo con los momentos de medida del caudal correspondiente, la salinidad del agua de entrada a la planta, la del rechazo y la del vertido tras la predilución.

La incertidumbre de las mediciones debe ser inferior al 2%. Por lo tanto, pueden utilizarse conductímetros de laboratorio o sondas multiparamétricas, pero debe ponerse especial cuidado en que la medición de la salinidad del vertido tenga en cuenta la habitual falta de homogeneidad del efluente tras la mezcla con el caudal de predilución.

En general estos equipos pueden proporcionar como lectura directa el valor de la salinidad. Si solo proporcionan conductividad y temperatura, debe calcularse la salinidad mediante aplicación de las ecuaciones de la escala práctica de salinidad. En este caso es muy importante asegurarse de que la conductividad que presenta el equipo y que se usa para calcular la salinidad no está corregida por temperatura.

Para salinidades superiores a 42 psu las ecuaciones de la escala práctica de salinidad pierden su precisión y por ello a veces los equipos no muestran el valor de la salinidad. En estos casos se recomienda hacer una dilución en peso con agua desionizada (resistividad superior a 10 miliohmios•cm) hasta que entre dentro del rango y hacer la corrección correspondiente. No obstante, puede obtenerse un valor aproximado aplicando las ecuaciones de la salinidad práctica a la conductividad y temperatura medidas aunque estén fuera del rango para el que se establecieron dichas ecuaciones.

Otros parámetros del efluente.

Al menos una vez a la semana y siempre que se produzca alguna variación significativa respecto al funcionamiento normal de la planta (por ejemplo, durante las operaciones de limpieza de filtros) se medirán al menos los siguientes parámetros: pH, oxígeno disuelto, turbidez y nitratos. Los valores medidos deberán cumplir los niveles de emisión que fijen, las normativas estatal o autonómica.

Si la concentración de oxígeno disuelto es nula, se determinará la demanda química de oxígeno (DQO) y se comprobará que en el estudio de impacto ambiental se han estimado los efectos de este vertido de DQO. Si no se ha tenido en cuenta se identificará el reactivo causante de esta DQO y se suspenderá su utilización hasta que se realice dicha estimación, la cual debe incluir las medidas a tomar para vigilar y controlar sus posibles efectos.

3.2.2. Mediciones en el mar.

Vigilancia estructural y funcional.

Para la vigilancia estructural de los emisarios submarinos se aplicará el apartado 7.2 de la "Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar", aprobada por Orden Ministerial de 13 de julio de 1993.

La vigilancia funcional de los emisarios consiste en investigar la posible existencia de fugas y en comprobar el número de bocas de descarga que están activas (es decir, por las que sale caudal) y que el caudal total se reparte entre ellas de acuerdo con lo previsto en el proyecto. Se recomienda que se realicen tomas de vídeo submarino para adjuntar al informe.

La vigilancia estructural y funcional de los vertidos emergidos situados en la línea de costa es más sencilla y puede hacerse con medios terrestres.

Estado de las comunidades bentónicas críticas.

Cada año se llevarán a cabo dos campañas de caracterización del estado de las comunidades bentónicas críticas, una en invierno y otra en verano, utilizando para ello las parcelas marcadas sobre el terreno durante la caracterización preoperacional en cada zona de vigilancia con el objeto de realizar la comparación y analizar su evolución. En cada campaña y en cada zona de vigilancia debe tomarse un perfil de conductividad y temperatura con CTDs bien calibrados y de precisión de 0,05 psu o mejor.

En el caso de que las comunidades críticas sean praderas de fanerógamas marinas, las campañas se realizarán en época vegetativa (febrero) y en época de floración (junio) y se estudiarán al menos los siguientes descriptores: densidad de haces, cobertura, biomasa y superficie foliar y número medio de hojas por haz. Además se tomarán fotografías o vídeos submarinos de estas parcelas con suficiente calidad para poder apreciar su estado.

Salinidades

Vertidos diseñados para que se cumplan los límites en las zonas de vigilancia de las comunidades críticas

En la zona de vigilancia fijada para cada comunidad crítica se medirán a intervalos no superiores a 10 minutos la conductividad y la temperatura con CTDs autónomos bien calibrados y de precisión de 0,05 psu o mejor. Cada 15 días se volcarán o recuperarán los datos almacenados para su proceso.

En todas las estaciones, los sensores se colocarán a menos de 20 cm del fondo. En caso de fondos con superficie irregular (dunas, rocas, etc.), deberán colocarse en los puntos de menor cota.

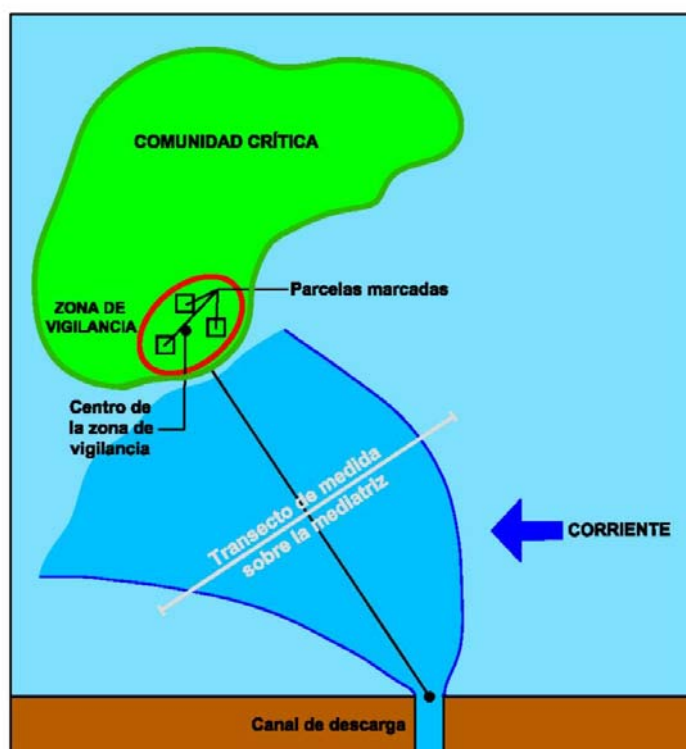
Quincenalmente, aprovechando el volcado de la información acumulada en la memoria interna del equipo, se sacarán, limpiarán y comprobarán los sensores, para garantizar su correcto funcionamiento. Para ello es suficiente llevar a bordo en un recipiente de tamaño adecuado una muestra de agua de mar cuya salinidad haya sido medida en laboratorio con un equipo de precisión (incertidumbre de 0,02 psu o inferior) y comprobar que la salinidad medida con la sonda en cuestión se diferencia de ésta en menos de 0,05 psu. Si la diferencia fuera mayor se debe sustituir por otro equipo similar calibrado adecuadamente.

En el plazo de 48 horas después de haber recuperado los datos quincenales almacenados en los equipos autónomos de medida, estos serán procesados. Se calcularán las salinidades y mediante tratamiento estadístico se determinarán los

percentiles del 25% (s25) y del 5% (s5), es decir, las salinidades que se han superado el 25% y el 5% del tiempo respectivamente.

Si alguno de estos percentiles resulta ser superior a los valores límite correspondientes, se activará el protocolo de actuación.

Estas mediciones de salinidad no serán necesarias para una zona de vigilancia si se ha comprobado mediante un transecto de medidas situado sobre la mediatriz del segmento que une el centro del vertido con el centroide de la zona de vigilancia (ver figura A7-1), que con los mismos parámetros de vertido (caudales, salinidades y número de bocas de descarga activas) y bajo condiciones desfavorables para dicha zona, en ningún punto del transecto se sobrepasan las



salinidades límite para las comunidad crítica de esa zona.

Figura A7-1. Situación del transecto de medida sobre la mediatriz del segmento que une el centro del vertido con el centroide de la zona de vigilancia

Se consideran condiciones medioambientales desfavorables para una zona de vigilancia ausencia de oleaje (altura de ola significativa inferior a 0,5 m), corriente fuerte (intensidad superior al percentil de no excedencia del 90% para la zona de influencia del vertido) y dirección de la corriente que favorezca una trayectoria de la corriente hipersalina en el campo lejano apuntando hacia la zona de vigilancia en cuestión.

Las salinidades se medirán con CTDs bien calibrados y de precisión de 0,05 psu o mejor. En cada punto de medida se mantendrán en el fondo durante un mínimo de 12 minutos tomando lecturas durante los últimos 10 minutos a intervalos no superiores a 15 segundos. Se calcularán las salinidades y mediante tratamiento estadístico se determinarán los percentiles del 25% (s25) y del 5% (s5) y se comprobarán si sobrepasan los correspondientes valores límite. Si no se sobrepasan en ningún punto, en adelante no será necesario hacer las mediciones de salinidad en la correspondiente zona de vigilancia siempre que el vertido se realice con los mismos caudal y número de bocas, y con salinidades no superiores a las existentes durante la campaña de control.

La longitud del transecto a lo largo de la mediatriz será la necesaria para que en ambos extremos sea inapreciable el efecto del vertido. Los puntos de medida serán equidistantes y su número será al menos igual a 12.

Vertidos diseñados para que se cumplan los límites al final del campo cercano

Como los vertidos que se realizan a través de un emisario submarino pueden conseguir diluciones muy fuertes dentro del campo cercano, puede resultar ventajoso diseñarlo de forma que las salinidades de la capa hiperdensa antes de salir del campo cercano estén ya por debajo de los valores límite establecidos para la comunidad más crítica ¹¹ de las presentes en ese emplazamiento. De esta forma no es necesario para el proyecto calcular las salinidades en las zonas de vigilancia porque las salinidades en cualquier punto del campo lejano son siempre inferiores a las del campo cercano. Con ello se evitan las incertidumbres asociadas: a) a la variabilidad de las direcciones de las corrientes en el medio; b) a su influencia sobre la trayectoria, la extensión y las diluciones en la capa hiperdensa del campo lejano y, sobre todo c) al desconocimiento de la microbatimetría del fondo (ondulaciones inferiores a 1 m de altura) que influyen decisivamente sobre la trayectoria encauzando la corriente hiperdensa parcial o totalmente.

Otras ventajas consisten en que los parámetros más influyentes en las diluciones que se alcanzan en el campo cercano (caudal y salinidad del efluente, número y diámetro de las bocas de descarga, separación entre éstas, calado disponible en el punto de vertido, elevación de las bocas respecto al fondo, orientación de los chorros, etc.) están en manos del proyectista y en que las herramientas para calcular dichas diluciones están muy contrastadas con resultados experimentales en laboratorio y en campo.

En base a todo ello, no será necesario realizar las medidas en las zonas de vigilancia si el vertido se diseña para que se cumplan los límites al final del campo cercano cuando se esté operando con parámetros de vertido (caudales, salinidades y número de bocas de descarga activas) para los cuales se haya comprobado mediante una campaña de medidas de salinidades en el fondo en los límites del campo cercano bajo condiciones medioambientales poco favorables para la dilución que en ningún punto se sobrepasan las salinidades límite para las comunidades críticas. Por ejemplo, si se prevé que durante un período largo de tiempo la planta funcionará con las mismas bocas de descarga y el mismo factor de conversión pero con un número variable de bastidores entre 1 y 3, realizando campañas que comprueben que con 1, con 2 y con 3 bastidores se cumplen los límites en las respectivas fronteras de sus campos cercanos, no sería necesario medir las salinidades en las zonas de vigilancia en ese período de tiempo.

Se consideran condiciones medioambientales poco favorables para la dilución en el campo cercano que las corrientes sean débiles (inferiores al percentil de no excedencia del 10% para la zona de influencia del vertido) y que no haya oleaje (altura de ola significativa inferior a 0,5 m).

Las salinidades se medirán con CTDs bien calibrados y de precisión de 0,05 psu o mejor. En cada punto de medida se mantendrán en el fondo durante un mínimo de 12 minutos tomando lecturas durante los últimos 10 minutos a intervalos no superiores a 15 segundos. Se calcularán las salinidades y mediante tratamiento estadístico se determinarán los percentiles del 25% (s25) y del 5% (s5) y se comprobarán si sobrepasan los correspondientes valores límite para las comunidades críticas. Si no se sobrepasan en ningún punto, en adelante no será necesario hacer las mediciones de salinidad en la correspondiente zona de vigilancia siempre que el vertido se realice con los mismos caudal y número de bocas, y con salinidades no superiores a las existentes durante la campaña de control.

Tampoco será necesario hacer dichas mediciones si con el mismo número de bocas y con salinidades no superiores, el caudal es superior al existente durante la campaña de control (ya que las diluciones conseguidas serán mayores) siempre que las zonas de vigilancia se encuentren fuera del límite del campo cercano para dicho caudal superior. Así, si mediante una campaña de este tipo se ha comprobado que funcionando con 1 bastidor no se superan los límites en la frontera de su campo cercano, no será necesario realizar campañas de comprobación para el funcionamiento con 2 o más bastidores si se mantienen el mismo número de bocas y el mismo factor de conversión. Bastaría con comprobar mediante cálculos que las zonas de vigilancia se encuentran fuera de la frontera del campo cercano para estos caudales superiores.

A estos efectos se considerará como frontera del campo cercano una recta situada:

- a) Paralela al tramo difusor y a una distancia x_{tr} cuando éste esté situado sobre una curva isobata (ver figura A7-2). Dicha distancia, expresada en metros, se calculará mediante la expresión:

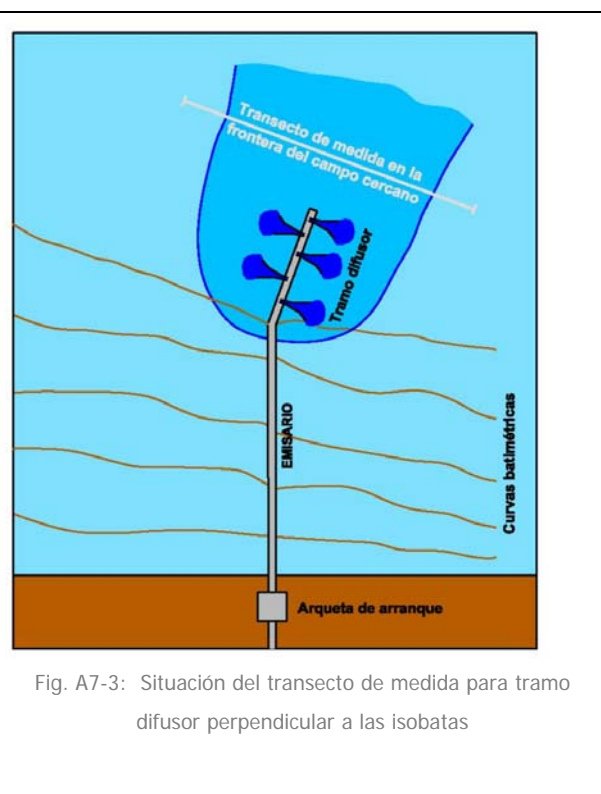
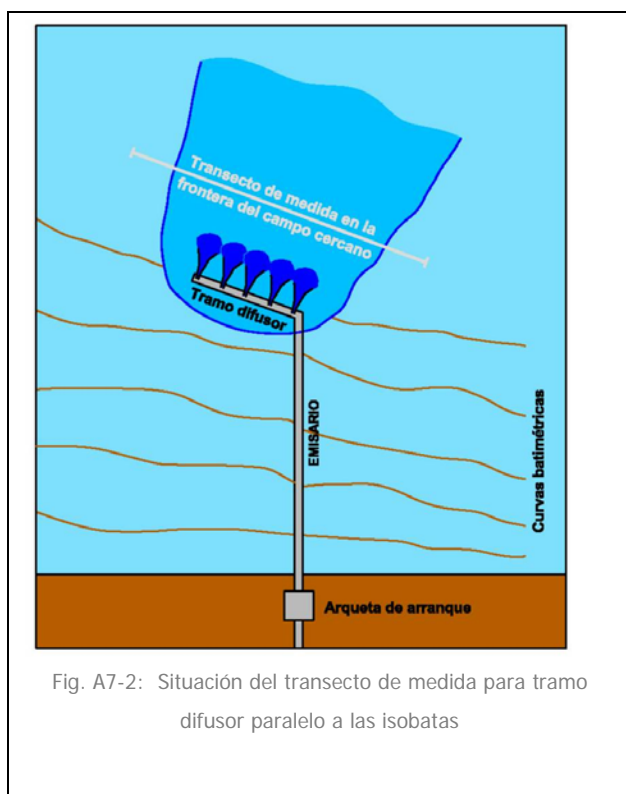
¹¹ Se supone que, como es habitual, las zonas de vigilancia se encuentran fuera del campo cercano.

$$x_{tr} = 240 \frac{Q_T/n}{\sqrt{(s_0 - s_a) d_0^3}}$$

siendo: Q_T el caudal total vertido por el emisario (m³/s); n el número de bocas activas; s_0 la salinidad del efluente (psu); s_a la salinidad del medio receptor (psu) y d_0 el diámetro de las bocas de descarga (m).

- b) perpendicular al tramo difusor y a una distancia de la boca activa situada a menor cota igual a la mitad de la longitud del tramo difusor activo cuando éste esté situado perpendicularmente a las curvas batimétricas (ver figura A7-3).

La longitud del transecto a lo largo de la recta frontera del campo cercano será la necesaria para que en ambos extremos sea inapreciable el efecto del vertido. Los puntos de medida serán equidistantes y su número será como mínimo 12 y al menos igual al número de bocas de descarga activas.



3.2.3. Preparación de informes

Semestralmente se redactará un informe que contenga al menos:

- a) Las activaciones del protocolo de actuación que se hayan producido indicando las salinidades medidas en los controles de las zonas de vigilancia que determinaron la activación del protocolo y los valores de las variables medidas en el interior de la planta durante los 7 días anteriores, el motivo de la anomalía y las medidas adoptadas para subsanarla de acuerdo con el protocolo de corrección del exceso de salinidad, así como cualquier otra información que resulte relevante para el conocimiento de las condiciones de funcionamiento de la planta y, en su caso, de la afección al medio.
- b) Los valores de s_{25} y s_5 obtenidos para cada punto de medida cada quincena. El titular de la planta deberá conservar los datos brutos para eventuales comprobaciones.
- c) Los resultados de todas las mediciones contempladas en el PVA que se hayan realizado durante los seis meses anteriores.
- d) Los resultados de las eventuales campañas de comprobación realizadas con el objeto de dejar de medir en las zonas de vigilancia.

4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Se proponen las siguientes líneas de investigación:

1. Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre umbrales de tolerancia al incremento de salinidad con el fin de aumentar el número de comunidades biológicas para las que se establezcan normas de calidad. Actualmente solo se han fijado para las praderas de *Posidonia oceánica* y de *Cymodocea nodosa*. Sería muy conveniente establecer al menos dos límites más: uno que podría aplicarse a las comunidades de interés comercial y otro aplicable al medio marino en general, es decir, a cualquier comunidad que no tenga definido un límite más estricto.
2. Realizar estudios experimentales en microcosmos y en mesocosmos para determinar los umbrales de tolerancia de otras comunidades bentónicas, priorizando aquellas que, además de tener interés comercial o ecológico, se hayan encontrado más frecuentemente en las proximidades de las desaladoras en operación, en construcción o en proyecto.
3. Realizar campañas de medidas para caracterizar la zona influenciada por los vertidos como consecuencia de las sucesivas posiciones que adopta la capa hiperdensa del campo lejano debido a la variabilidad de las corrientes con vistas a extraer consecuencias sobre cómo debe diseñarse el plan de vigilancia para zonas alejadas del punto de vertido.
4. Realizar campañas de medida para determinar la extensión de la zona de impacto con especial énfasis en la zona de retroceso (la situada a cotas superiores a la del punto de vertido o aguas arriba de la dirección de la corriente).

