

Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar

*ORDEN de 13 de julio de 1993 por la que se aprueba la instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar.
(BOE de 27 de julio de 1993)*

Por Orden del Ministerio de Obras Públicas de 29 de abril de 1977, se aprobó la «Instrucción para el vertido al mar, desde tierra, de aguas residuales a través de emisarios submarinos», en la que se regulaban determinadas materias relativas a la contaminación y calidad de las aguas del mar, características de los efluentes y sus tratamientos, proyecto e ingeniería de los emisarios submarinos y el régimen administrativo al que quedaba sujeta su construcción. La posterior adhesión de España a la Comunidad Europea y la incorporación a nuestro derecho interno de las normas comunitarias sobre la calidad de las aguas del mar, así como los avances científicos y técnicos producidos en los últimos años, exigen dictar una nueva Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar, lo que resulta todavía más necesario dados los compromisos internacionales asumidos por España en materia de lucha contra la contaminación marina.

A este fin, la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, en su artículo 110, i), atribuye a la Administración General del Estado la elaboración y aprobación de las disposiciones sobre vertidos; competencia que el apartado 3 del artículo 203 del Reglamento General para desarrollo y ejecución de la citada Ley, aprobado por el Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre encomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

En su virtud, en uso de la autorización concedida por la disposición final tercera del Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General para desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, dispongo:

Primero.-Se aprueba la «Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar», que se incluye en el anexo.

Segundo.-Queda derogada la Orden del Ministerio de Obras Públicas de 29 de abril de 1977, por la que se aprueba la «Instrucción para el vertido al mar, desde tierra, de aguas residuales a través de emisarios submarinos».

Tercero.-Esta Orden entrará en vigor a los treinta días de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

ANEXO

Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar

INDICE

Artículo 1.º Ambito de aplicación.

Artículo 2.º Objetivos.

Artículo 3.º Definiciones.

Artículo 4.º Condiciones generales para las conducciones de vertido.

4.1 Proyecto.

4.2 Alternativas.

4.3 Tratamiento del efluente.

Artículo 5.º Proyectos de vertidos a través de emisarios submarinos.

5.1 Elementos técnicos del proyecto.

5.2 Redacción del proyecto.

5.2.1 Memoria.

5.2.2 Estudios complementarios.

5.2.3 Planos.

5.2.4 Programa de vigilancia y control.

- 5.2.5 Pliego de prescripciones técnicas particulares.
- 5.2.6 Presupuesto.
- 5.3 Estudios complementarios.
 - 5.3.1 Características del efluente.
 - 5.3.2 Usos de la zona.
 - 5.3.3 Alternativas de vertido.
 - 5.3.4 Parámetros oceanográficos.
- 5.4 Disposición general y métodos de cálculo.
 - 5.4.1 Sistema de impulsión.
 - 5.4.2 Tramo terrestre del emisario.
 - 5.4.3 Posición y dimensiones del difusor.
 - 5.4.4 Trazado y cálculo del emisario.
- Artículo 6.º Proyecto de vertidos a través de conducciones de desagüe.
 - 6.1 Requisitos.
 - 6.2 Proyecto.
 - 6.2.1 Elementos técnicos del proyecto.
 - 6.2.2 Redacción del proyecto.
 - 6.2.3 Estudios complementarios.
 - 6.2.4 Disposición general y métodos de trabajo.
- Artículo 7.º Programa de vigilancia y control.
 - 7.1 Objetivos.
 - 7.2 Vigilancia estructural.
 - 7.3 Vigilancia ambiental.
 - 7.3.1 Control del efluente.
 - 7.3.2 Control de las aguas receptoras.
 - 7.3.2.1 Emisarios submarinos.
 - 7.3.2.2 Conducciones de desagüe.
 - 7.3.3 Control de sedimentos y organismos.
- Apéndice A. Medida de los parámetros oceanográficos.
 - A.1 Perfiles de temperatura y salinidad.
 - A.2 Corrientes.
 - A.3 Coeficientes de dispersión.
 - A.4 Coeficientes de autodepuración.
 - A.5 Biocenosis y contaminación.
 - A.6 Batimetría, geofísica y geotecnia.
 - A.7 Clima marítimo.
 - A.8 Dinámica litoral.
- Apéndice B. Método de cálculo de las diluciones.
 - B.1 Notación utilizada.
 - B.2 Cálculo de la dilución inicial.
 - B.2.1 Comprobación de la estabilidad de la capa de mezcla.
 - B.2.2 Medio receptor no estratificado.
 - B.2.3 Medio receptor estratificado.
 - B.2.4 Posición del punto de surgencia.
 - B.3 Comprobación de los objetivos de calidad.
 - B.4 Cálculo hidráulico del emisario.

Artículo 1. Ambito de aplicación.

Esta Instrucción es aplicable a todos los vertidos que se realicen desde tierra al mar mediante conducciones de vertido.

Artículo 2. Objetivos.

La presente Instrucción tiene los siguientes objetivos:

- a) Establecer las condiciones técnicas mínimas para el proyecto y cálculo de las conducciones y dispositivos de vertido de aguas residuales desde tierra al mar.
- b) Definir los requisitos que deben cumplir los proyectos de los aliviaderos.
- c) Determinar los procedimientos de vigilancia y control que aseguren, por una parte, el buen funcionamiento estructural de las instalaciones y, por otra, el mantenimiento de los objetivos de calidad establecidos en la normativa vigente.

Artículo 3. Definiciones.

Además de las definiciones de aguas interiores, límite de las aguas continentales, contaminación, valores límite y objetivos de calidad, así como del contenido de las normas de emisión, a que respectivamente se refieren los artículos 2.º y 3.º del Real Decreto 258/1989, de 10 de marzo, por el que se establece la normativa general sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar, en la aplicación de esta Instrucción se tendrán en cuenta los siguientes conceptos:

- a) Aguas residuales urbanas: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
- b) Aguas residuales domésticas: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- c) Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.
- d) Habitante-equivalente (h-e): Carga orgánica biodegradable, con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5) de 60 g de oxígeno por día.
- e) Eutrofización: Aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno o fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta.
- f) Sistema colector de tipo unitario: Una red de alcantarillado que, además de recoger las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial, recoja también las de origen pluvial, circulando ambas por los mismos colectores o por las mismas unidades en la instalación de tratamiento.
- g) Emisario submarino: Conducción cerrada que transporta las aguas residuales desde la estación de tratamiento hasta una zona de inyección en el mar, de forma que se cumplan las dos condiciones siguientes:
Que la distancia entre la línea de costa en bajamar máxima viva equinoccial y la boquilla de descarga más próxima a ésta, sea mayor de 500 m.
Que la dilución inicial calculada según los procedimientos que se indican más adelante para la hipótesis de máximo caudal previsto y ausencia de estratificación, sea mayor de 100:1.
- h) Conducción de desagüe: Conducción abierta o cerrada que transporta las aguas residuales desde la estación de tratamiento hasta el mar, vertiendo en superficie o mediante descarga submarina, sin que se cumplan las anteriores condiciones del emisario submarino.
- i) Conducción de vertido: Término que engloba tanto a los emisarios submarinos como a las conducciones de desagüe.
- j) Zona de inyección: Entorno del dispositivo de descarga (ya sea de boca única o un tramo difusor con múltiples boquillas) constituido por aquellos puntos en los que, como consecuencia del impulso inicial del efluente al salir por las bocas de descarga o de la fuerza ascensional debida a la diferencia de densidades, pueda darse una diferencia apreciable de velocidades entre la de la mezcla y la del medio receptor bajo alguna de las condiciones de flujo posibles.

Artículo 4. Condiciones generales para las conducciones de vertido.

4.1 Proyecto.-Las solicitudes de concesión de ocupación del dominio público marítimo-terrestre y de autorización de vertidos que de acuerdo con el artículo 57 de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, se requieren para la construcción de cualquier conducción de vertido, deberán ir acompañadas del correspondiente proyecto, redactado de acuerdo con lo determinado por la Ley y el Reglamento de Costas y lo dispuesto en esta Instrucción, y que deberá justificar:

- a) Que se cumplen los objetivos propios de todo proyecto, en cuanto a definición técnica y económica de las obras y justificación de la estabilidad y funcionalidad de sus distintos elementos.
- b) Que las características del efluente cumplen los requisitos impuestos por la normativa vigente sobre normas de emisión.
- c) Que, bajo las condiciones oceanográficas del emplazamiento y para las diferentes situaciones de vertido, se respetan los objetivos de calidad establecidos por las normas vigentes para las distintas zonas de usos que pudieran afectarse por el vertido.

A estos efectos, cuando las expresadas normas establezcan objetivos de calidad sin determinar la zona o ámbito a las que éstos se aplican, se entenderá que lo son a cualquier punto situado fuera de la zona de inyección del vertido.

4.2 Alternativas.-Conforme con lo establecido en el artículo 57 de la Ley de Costas, el proyecto ha de incluir un análisis de alternativas y la justificación, con criterios científicos, técnicos y

económicos, de la imposibilidad o dificultad de aplicar otra solución para la eliminación o tratamiento de los vertidos. Este análisis deberá considerar tanto la posibilidad de reutilización en tierra de las aguas residuales, como distintas combinaciones de reparto del proceso de depuración entre la estación de tratamiento y los fenómenos de dilución y autodepuración que tienen lugar en el medio receptor.

La evaluación de la reutilización en tierra del agua residual tendrá en cuenta preferentemente el riego de especies vegetales y la recarga de acuíferos. En esta evaluación deberán ser tratados, junto con aquellos otros aspectos que el proyectista o la Administración consideren necesarios, la presencia de sustancias tóxicas en el agua residual, los efectos sanitarios que puedan derivarse de la reutilización, la salinidad de las aguas, el tratamiento del agua residual, la regularización de caudales a emplear y los costes de explotación del sistema.

La evaluación del reparto del proceso de depuración entre la estación de tratamiento y el medio receptor se hará teniendo en cuenta tanto el impacto contaminante del vertido como el balance económico óptimo, que relacione la longitud de emisario necesaria con el grado de depuración obtenido, para un mismo nivel de calidad ambiental en el medio marino, siempre que se cumplan los requisitos de la normativa vigente.

4.3 Tratamiento del efluente.-Todo vertido líquido de aguas residuales desde tierra al mar deberá sufrir unos tratamientos mínimos antes de su evacuación a través de la conducción correspondiente.

Con carácter general, y sea cual fuere la naturaleza del efluente, éste deberá someterse a un pretratamiento que asegure el buen funcionamiento de la conducción. Dicho pretratamiento consistirá normalmente en un sistema de rejillas o desbastado y desarenador, siendo conveniente además la instalación de un sistema desengrasador, los cuales serán de obligada instalación cuando sean necesarios para alcanzar los objetivos de calidad indicados en la normativa vigente. En vertidos donde se espera una gran cantidad de sólidos, resulta aconsejable la creación de un pozo de gruesos para eliminarlos más eficazmente.

El tratamiento de las aguas residuales urbanas se realizará según lo que disponga la normativa vigente, en función del número de habitantes equivalentes servidos, así como de la sensibilidad de la zona receptora. 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.

Artículo 5. Proyectos de vertidos a través de emisarios submarinos.

5.1 Elementos técnicos del proyecto.-El proyecto de vertido a través de un emisario submarino, además del cumplimiento de las obligaciones administrativas que sean exigibles, definirá los siguientes elementos técnicos:

La longitud del emisario, las coordenadas del punto de vertido (longitud, latitud y profundidad), el número, tipo y disposición de los dispositivos difusores y los mecanismos de transporte, dilución y autodepuración que definen su eficacia en función del impacto que tiene el vertido sobre el nivel de contaminación de las aguas costeras.

En zona de playa, sea de arenas, materiales sueltos o gravas, deberá prestarse especial atención a las variaciones estacionales del perfil de la playa, así como al perfil de erosión que puede resultar de los temporales previsibles, de manera que el emisario no se vea afectado por estas variaciones, con una probabilidad admisible. En el proyecto deberán justificarse los criterios de admisibilidad adoptados para cada supuesto.

La comprobación de la estabilidad mecánica y estructural de la obra, a través del análisis de las sollicitaciones y esfuerzos a que ésta quedará sometida por la acción del mar.

Las características de los materiales empleados en su ejecución, que garanticen la estabilidad química de la obra frente a las agresiones producidas por el medio marino y por el agua residual que transporta la conducción.

Los métodos constructivos y la integración de la obra en su entorno, teniendo en cuenta las necesidades de mantenimiento y conservación del emisario y las interferencias que éste pueda introducir sobre los mecanismos de dinámica marina.

5.2 Redacción del proyecto.-El proyecto del emisario submarino deberá contener, al menos, los siguientes documentos:

5.2.1 Memoria.-La memoria deberá incluir el análisis de las alternativas de vertido que se hayan considerado, de acuerdo con lo exigido en los apartados 4.2 y 5.3.3, y justificar en cada caso la solución adoptada, así como los cálculos de la hidráulica del emisario y de los procesos de dilución y autodepuración que se producen tras el vertido.

También deberá contener una justificación detallada del sistema de tratamiento a que se someterá al efluente, con los cálculos correspondientes al grado de depuración que se obtendrá con su funcionamiento.

Igualmente, la memoria contendrá la descripción detallada y justificada de un Plan de Operación y Mantenimiento que permita, mediante las acciones periódicas que se establezcan, la adecuada conservación y funcionamiento de todo el sistema de depuración-vertido, así como el control del mismo.

Dicho Plan deberá incluir las acciones a tomar en el caso de que durante la ejecución del Programa de Vigilancia y Control a que se refiere el apartado 5.2.4 y el artículo 7, surjan problemas estructurales o de funcionamiento, especialmente en el supuesto de rotura o fallo de las juntas, que origine una fuga importante y una contaminación súbita y grave de la zona.

5.2.2. Estudios complementarios.-Este documento preceptivo, que deberá formar parte de la memoria, contendrá todos los trabajos y estudios complementarios que se hayan acometido para la obtención de la información necesaria para el proyecto del emisario, como se determina en el apartado 5.3.

5.2.3 Planos.-El proyecto deberá incluir planos de ubicación general (escala 1:50.000) y local (escala 1:5.000), planta y perfil longitudinal (escalas 1:1.000 y 1:2.000), situación de los vertidos próximos y zonas de usos identificados (baño, pesca y cultivos marinos, áreas de especial interés ecológico u otros), además de detalles completos de los elementos de la obra y de la instalación de tratamiento prevista.

En los planos de planta se deberá reflejar el límite interior del dominio público marítimo-terrestre y de la ribera del mar, los cuales serán facilitados, previa solicitud, por el correspondiente Servicio Periférico de Costas del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Se expresará también la superficie ocupada por la conducción e instalaciones auxiliares sobre el dominio público marítimo-terrestre.

5.2.4 Programa de Vigilancia y Control.-El proyecto deberá incluir un Programa de Vigilancia y Control suficientemente detallado que permita, mediante los estudios periódicos que se establezcan, la comprobación estructural y funcional del emisario, el seguimiento del impacto del vertido en la calidad del medio marino y el cumplimiento de los objetivos de calidad. Dicho programa deberá tener en cuenta lo indicado en el artículo 7 de esta Instrucción.

5.2.5 Pliego de prescripciones técnicas particulares.-En él se consignarán las características de los materiales y los tipos de ensayo de los mismos, las normas para la elaboración de las distintas unidades de obra y las precauciones y dispositivos a emplear en el proceso constructivo.

5.2.6 Presupuesto.-El presupuesto contendrá, por unidades de obra, la cuantía detallada de los trabajos a realizar en el dominio público marítimo-terrestre.

Asimismo, contendrá, por unidades de actuación, la expresión detallada de los costes de operación, mantenimiento y vigilancia y control que se hayan establecido en el proyecto.

5.3 Estudios complementarios.-Los estudios complementarios referidos en el apartado 5.2.2, y que deberán realizarse en las condiciones que más adelante se señalan, son los siguientes:

5.3.1 Características del efluente.-Con objeto de determinar las características del efluente, el proyectista deberá recabar y completar la información disponible sobre la población o industria que genera el agua residual, el tipo y cantidad de descargas singulares que vierten a las conducciones colectoras, la población y su variabilidad estacional y el tipo de depuración prevista. Si el sistema colector es de tipo unitario, deberá tenerse en cuenta también la pluviometría de la zona.

Se harán estimaciones del caudal y de la carga contaminante para el año de entrada en funcionamiento, así como para diez y treinta años después, indicando claramente para estos tres años los valores estimados en condiciones de caudal medio, mínimo y punta en tiempo seco. En sistemas colectores de tipo unitario se indicará también el caudal punta en tiempo de lluvia con períodos de retorno de diez y cincuenta años.

Además, se explicará el modo de funcionamiento previsto del emisario para cada uno de estos casos.

Para primeros tanteos y en vertidos urbanos procedentes de poblaciones con menos de 10.000 h-e se puede considerar que el caudal punta en tiempo seco es de 7 l/s por cada 1.000 h-e y que las características del agua residual corresponden a las indicadas en la tabla siguiente: Características orientativas de los efluentes urbanos que se podrán adoptar en poblaciones de menos de 10.000 h-e:

Materia orgánica como DBO₅: 350 mg/l.

Materias en suspensión: 600 mg/l.

Nitrógeno total: 30 mgN/l.

E. coli: 10
8/100 ml.

Para poblaciones de más de 10.000 h-e y para vertidos industriales deberán evaluarse las características del agua residual, los caudales vertidos y su viabilidad a partir de una campaña de medidas, cuyos resultados formarán parte integrante del proyecto.

En el caso de que exista depuradora en la localidad o se construya con el emisario, las cargas anteriores se reducirán de acuerdo con la especificaciones de funcionamiento de aquélla, justificando el proyectista los valores adoptados.

En los sistemas colectores de tipo unitario, si la capacidad de éstos es superior a la del emisario, podrá existir un aliviadero que, a través de una conducción de desagüe, evacue al mar el exceso de caudal. Para ello deberán cumplirse las siguientes condiciones:

a) La capacidad del emisario debe ser suficiente para que con caudales de lluvia correspondientes al período de retorno de diez años, el aliviadero funcione menos de cuatrocientas cincuenta horas al año, en el caso general, y menos del 3 por 100 de la horas de la temporada de baños, cuando el aliviadero esté situado en una zona de baño y el efluente contenga contaminantes regulados para este tipo de zonas. A estos afectos, puede resultar conveniente la construcción de balsas de retención para el caudal excedente.

Para el cálculo de la capacidad del emisario en un momento dado se tendrán en cuenta la potencia de bombeo instalada en condiciones fiables de operación y las variaciones del nivel del mar debidas a mareas astronómicas y meteorológicas. Naturalmente, la capacidad podrá variarse en años sucesivos modificando la potencia de bombeo.

b) El aliviadero sólo podrá entrar en funcionamiento con caudales superiores al caudal punta en tiempo seco.

c) Con el aliviadero funcionando, el vertido realizado a través del emisario debe seguir cumpliendo los criterios establecidos por la normativa vigente en cuanto a normas de emisión y objetivos de calidad.

d) El caudal vertido por el aliviadero debe haber pasado por un sistema de rejas para su desbastado.

Por otra parte, la capacidad de los distintos tramos de los colectores será suficiente para que los aliviaderos situados en cabecera de tramo, cuando viertan al mar, funcionen con las mismas limitaciones que los aliviaderos de emisarios.

5.3.2 Usos de la zona.-Dentro de la zona potencialmente afectada por el vertido que se proyecta se delimitarán las áreas homogéneas, en cuanto a usos habituales y permitidos, tales como el esparcimiento, el disfrute estético, la navegación, la pesca y el cultivo de especies marinas, la preservación y promoción de la vida marina y la desalación, potabilización y abastecimiento industrial de aguas.

Se hará constar expresamente la existencia de cualquier otro vertido de aguas residuales en la zona afectada por el emisario y los datos que permitan establecer su naturaleza, características e incidencias sobre la calidad ambiental.

5.3.3 Alternativas de vertido.-Los proyectos de emisario submarino han de incluir un análisis de alternativas de vertido, justificando la solución adoptada.

Dentro de este análisis se tendrá en cuenta la conveniencia de proyectar un solo emisario que dé servicio a varios vertidos próximos, en vez de proyectar uno por vertido. Para ello se considerará la compatibilidad química de los efluentes y se determinarán los costes de construcción y explotación de cada alternativa, incluyendo los costes derivados del Programa de Vigilancia y Control.

5.3.4 Parámetros oceanográficos.-El proyecto del emisario habrá de tener en cuenta los parámetros oceanográficos que a continuación se indican:

Perfiles de temperatura y salinidad en la zona de vertido.

Corrientes.

Coefficientes de dispersión de la pluma.

Coefficientes de autodepuración de los parámetros no conservativos.

Biocenosis inicial y contaminación de fondo.

Batimetría, geofísica y geotecnia.

Clima marítimo.

Dinámica litoral.

Para la determinación de estos parámetros oceanográficos se tendrá en cuenta lo expuesto en el «Apéndice A: Medida de los parámetros oceanográficos».

5.4 Disposición general y métodos de cálculo.

5.4.1 Sistemas de impulsión.-El sistema de impulsión se proyectará de forma que se minimice el consumo de energía, sacando el máximo partido de las posibilidades de vertido por gravedad.

No obstante, en todos los casos deberá garantizarse la adecuación del caudal del emisario a las diferentes condiciones de funcionamiento, tales como caudal afluente, nivel del mar o pérdidas de carga. Para ello, casi siempre será necesario instalar una estación de bombeo en cabecera del emisario; en estos casos, deberán disponerse una o más bombas de reserva que permitan asegurar el correcto funcionamiento del emisario, si se avería una de las bombas principales. En el caso excepcional de que se disponga de carga hidráulica suficiente, por diferencia de cotas, el control de caudal se hará mediante dispositivos de disipación de energía.

5.4.2 Tramo terrestre del emisario.-El trazado del tramo terrestre del emisario desde la instalación de tratamiento hasta el punto de entrada al mar se hará de forma que:

a) Si existe un subtramo paralelo a la costa, éste se construirá fuera de la ribera del mar y de los primeros veinte metros de los terrenos colindantes, salvo que se integren en paseos marítimos u otros viales urbanos.

b) El subtramo situado en la ribera del mar tendrá la mínima longitud posible. Además, si la ribera está constituida por materiales sueltos, como arenas, gravas y guijarros, deberá ir enterrado con un recubrimiento no inferior a un metro, incluso para los perfiles de playa más desfavorables de entre los esperables en la zona. Si se trata de una costa rocosa, se minimizará el impacto visual por consideraciones estéticas.

El punto de entrada al mar se elegirá teniendo en cuenta los siguientes factores, cuando resulten aplicables:

Proximidad a la instalación de tratamiento.

Disponibilidad de terrenos apropiados para los trabajos de construcción o de instalación del emisario.

En áreas de materiales sueltos, la estabilidad de la zona marítimo-terrestre respecto a la dinámica litoral, evitando destruir, en lo posible, los afloramientos rocosos. Presencia de vaguadas submarinas que faciliten la protección del emisario o que permitan alcanzar profundidades mayores con menor longitud de conducción.

5.4.3 Posición y dimensiones del difusor.-Desde el punto de vista ambiental, éste es el elemento fundamental en el proyecto de un emisario. Por ello, deberá ser objeto de un profundo estudio en el que se utilizará la información obtenida en los estudios complementarios mencionados en el apartado 5.3 y se aplicará un conjunto de modelos de cálculo cuya complejidad deberá ser proporcional a la importancia del emisario, mediante un proceso de tanteos sucesivos enfocado a sacar el máximo provecho de la capacidad de dilución, transporte, dispersión y autodepuración del medio receptor, que permitirán definir la posición y dimensiones del difusor y que garanticen el cumplimiento de los objetivos de calidad impuestos por la normativa vigente. Salvo casos excepcionales debidamente justificados en los que simplemente se deje abierto el extremo del emisario, el dispositivo de vertido estará constituido por un difusor, entendiéndose por tal un tramo del emisario situado en el extremo opuesto a la instalación de tratamiento, en el que se han dispuesto un conjunto de orificios, boquillas o derivaciones por las que se reparte el caudal vertido con el fin de aumentar su dilución inicial.

En cualquier caso, con el fin de garantizar también una cierta protección de la zona de inyección, mediante la rápida reducción a niveles aceptables de las concentraciones de algunos contaminantes (típicamente sólidos en suspensión y demanda bioquímica de oxígeno) bajo cualquiera de la hipótesis previstas de caudal, se asegurará una dilución inicial mínima que, para vertidos de aguas residuales urbanas, deberá ser mayor de 80:1, durante más del 95 por 100 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.

A estos efectos, se entenderá por dilución inicial la que se produce debido fundamentalmente al impulso inicial de los chorros y a la diferencia entre las densidades del efluente y del medio receptor. Para el cálculo de la dilución inicial se utilizarán los métodos indicados en el apéndice B: Método de cálculo de las diluciones.

Por otra parte, con el fin de establecer un umbral mínimo para los efectos beneficiosos que se derivan de realizar el vertido lejos de la costa (entre éstos, 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, con lo que se consiguen mayores diluciones iniciales y mayores probabilidades de que la mezcla no alcance

la superficie), la distancia de vertido, entendiéndose por tal la que existe entre la línea de costa en bajamar máxima viva equinoccial y la boca de descarga más próxima a ésta, no deberá ser inferior a 500 metros.

El procedimiento para determinar la posición y dimensiones del difusor constará de las siguientes fases:

I. Establecimiento de las hipótesis de proyecto.-A partir de los estudios complementarios sobre corrientes, coeficientes de dispersión, coeficientes de autodepuración y perfiles de temperatura y salinidad, se seleccionarán razonadamente un conjunto de hipótesis (o combinaciones de éstas) que puedan considerarse pésimas en algún sentido, y otro conjunto de hipótesis que se consideren como las más probables.

Cuando la importancia del emisario lo aconseje y la disponibilidad de datos y teorías lo permita, se asignarán probabilidades a cada una de las hipótesis seleccionadas.

II. Comprobación de la dilución inicial.-Se eligen la posición y dimensiones de un difusor determinado, respetando la distancia mínima de vertido, y se comprueba si se cumplen los criterios de dilución inicial, teniendo cuenta los perfiles de densidad (en caso necesario también las corrientes) correspondientes a las hipótesis pésimas, utilizando para ello los métodos indicados en el apéndice B. Si no es así, se varían la posición o las dimensiones del difusor y se repiten los cálculos.

Como la profundidad y la longitud del difusor influyen mucho más en la dilución inicial que el diámetro de las bocas de descarga o la separación entre éstas, para los tanteos se puede suponer que el caudal total se reparte uniformemente por todas ellas.

III. Comprobación de los objetivos de calidad.-Elegido un difusor y comprobado previamente de acuerdo con el apartado anterior, se calculará para cada una de las hipótesis pésimas la máxima concentración de los contaminantes pertinentes (aquellos que tras la dilución inicial siguen teniendo concentraciones superiores a las fijadas como objetivos de calidad) que se produce en cada una de las zonas a proteger del área de influencia del vertido, utilizando para ello los métodos indicados en el apéndice B.

A continuación se comprobará el cumplimiento de los objetivos de calidad. Dado que éstos vienen expresados de forma estadística, si se asignaron probabilidades a las hipótesis pésimas, la comprobación es directa, si no, el criterio de comprobación será que, en ninguna de las situaciones pésimas, la concentración podrá ser superior a la impuesta como objetivo de calidad correspondiente al percentil más alto.

Si no se cumplen los objetivos de calidad, se elige un nuevo difusor y se repiten los cálculos, teniendo en cuenta que en esta fase un simple cambio en la orientación del difusor puede influir apreciablemente en los resultados.

IV. Dimensionamiento hidráulico.-Una vez determinados los parámetros básicos del difusor (posición y longitud), se procederá a definir todas las características de éste, como su disposición respecto del terreno y el número, tipo y distribución de boquillas y orificios.

A continuación, se procederá a calcular las dimensiones de las bocas de descarga y los diámetros de los diferentes subtramos del difusor, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

a) Cualquiera que sea el caudal de vertido, éste debe repartirse lo más uniformemente que sea posible entre todas las bocas de descarga. Conseguir esto, sobre todo cuando las diferentes bocas se encuentran a distinta profundidad, requiere un cuidadoso dimensionamiento hidráulico, para el cual podrán utilizarse los métodos de cálculo indicados en el apéndice B.

b) Debe evitarse la sedimentación de los sólidos en suspensión en el interior del difusor. Para ello se estimará una velocidad mínima del efluente (generalmente entre 0,6 y 0,8 m/s) en función del tamaño máximo de las partículas presentes en el difusor que viene determinado por el tipo de tratamiento realizado, y se justificará que esta velocidad mínima se alcanza al menos una vez cada día en todas las secciones del difusor, para lo cual suele ser necesario disminuir el área de éstas escalonadamente.

Además, en el extremo final del difusor se colocará una compuerta de sección completa destinada a facilitar las limpiezas periódicas mediante impulsión de altos caudales.

c) Debe evitarse la intrusión de agua salada en el difusor. El método recomendado consiste en asegurar que con el caudal mínimo, el número de Froude (definido en el apéndice B) es mayor que uno en todas las bocas de descarga, para lo cual es posible que durante los primeros años de funcionamiento deban permanecer cerradas algunas de ellas. Como orientación puede servir el criterio de que la suma de áreas de las bocas situadas aguas abajo de una sección determinada del difusor no exceda del 60 por 100 del área de ésta.

d) El diámetro de las bocas de descarga debe ser suficiente para evitar su obstrucción por incrustaciones biológicas. Se recomienda que el diámetro no sea inferior a 6 cm.

e) Deben minimizarse las pérdidas totales de carga.

f) En emisarios importantes deben colocarse registros que permitan la inspección y el mantenimiento del interior del difusor. El tamaño de los registros se adecuará al sistema de inspección previsto, y si éste consiste en el empleo de buceadores, la distancia máxima entre registros será de 200 m.

5.4.4 Trazado y cálculo del emisario.-Una vez determinados el arranque del emisario y la posición del difusor, se procederá a definir el trazado del emisario de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Deben evitarse las curvas siempre que sea posible para facilitar la colocación del emisario, eliminar la necesidad de anclajes o piezas especiales en los codos y reducir la formación de depósitos sedimentarios en el interior del emisario.

b) Debe mantenerse una pendiente razonable, evitando los tramos horizontales o en contrapendiente, lo que produciría aterramientos en los puntos bajos y bolsas de gas en los puntos altos. En este sentido, deberá considerarse la posibilidad de que se produzcan asientos diferenciales.

c) Deberán evitarse las singularidades detectadas en el estudio de batimetría, geofísica y geotecnia, tales como afloramientos rocosos, embarcaciones hundidas u otras tuberías.

A continuación se procede al diseño y cálculo del emisario, que se hará de acuerdo con los criterios siguientes:

a) Debe asegurarse la estabilidad del emisario, tanto en la fase de servicio como en la de construcción.

La estabilidad horizontal de emisarios no enterrados sobre fondos de materiales sueltos se asegura comprobando que la diferencia entre el peso de la tubería (llena de agua dulce durante la fase de servicio; vacía, medio llena o llena de agua salada, durante la fase de construcción, dependiendo del método de instalación) y la fuerza ascendente, multiplicada dicha diferencia por el coeficiente de rozamiento, resulta superior a la suma de las fuerzas de arrastre y de inercia, combinando adecuadamente las debidas al oleaje y las debidas a otras corrientes. El coeficiente de rozamiento adoptado tendrá en cuenta el tipo y condiciones del suelo y estará comprendido entre 0,75 (fangos) y 1,5 (arenas).

En caso necesario el emisario se lastrará o anclará convenientemente.

La estabilidad vertical incluye dos aspectos diferentes: La seguridad ante el hundimiento (del emisario y del conjunto emisario-balasto-lastre, si existen) y la seguridad ante el levantamiento, por falta de peso suficiente o por atrapamiento de aire dentro de la tubería, especialmente importante en el caso, cada vez más frecuente, de empleo de materiales plásticos.

Para emisarios anclados o empotrados en fondos rocosos se comprobará que la resistencia de anclajes y soportes es suficiente.

b) Debe protegerse el 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.

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

c) Debe prestarse atención especial al tramo situado en la zona de rompientes.

Salvo casos excepcionales, debidamente justificados, dicho tramo estará enterrado y su recubrimiento se calculará teniendo en cuenta las variaciones estacionales e hiperanuales del perfil de playa y las sobrecargas que en esta zona produce la rotura del oleaje.

En todo caso, se respetarán los valores estéticos y el uso recreativo de la zona.

d) El cálculo de tensiones del emisario deberá tener en cuenta las siguientes acciones:

I. En fase de construcción.

Tensiones de fabricación y manejo en tierra.

Tensiones producidas al apoyar la tubería en soportes puntuales durante la fabricación o durante el transporte para su instalación. También tensiones originadas mientras la tubería está descansando sobre el fondo, antes de su instalación.

Tensiones debidas a curvaturas forzadas durante la instalación.

Tensiones producidas durante el arrastre del emisario desde tierra hasta su emplazamiento definitivo.

Tensiones debidas a la presión externa del agua del mar durante la instalación cuando el emisario está vacío.

Estas sólo son importantes en emisarios de gran diámetro o que se colocan a grandes profundidades.

II. En fase de servicio.

Tensiones debidas a curvaturas en su emplazamiento definitivo.

Tensiones debidas a posibles descalces por erosión en el caso de emisarios apoyados sobre el fondo.

Cargas producidas por el material de recubrimiento.

La presión interna que se requiere para el funcionamiento del emisario no suele producir tensiones importantes.

Para la determinación de estas acciones, así como para la adopción de coeficientes de seguridad, se podrán utilizar las Recomendaciones Generales del Programa ROM (Recomendaciones para Obras Marítimas) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, a medida que vayan estando disponibles.

e) Deben realizarse pruebas de presión para comprobar la integridad y estanqueidad de los tramos del emisario a medida que van siendo construidos y del emisario completo después de su instalación.

f) Cuando se opte por tuberías susceptibles de corrosión (por ejemplo, las de acero), se utilizarán recubrimientos adecuados y, en caso necesario, protecciones catódicas.

Artículo 6. Proyectos de vertidos a través de conducciones de desagüe.

6.1 Requisitos especiales.-Los vertidos que se proyecten realizar a través de conducciones de desagüe sólo serán autorizados si se cumplen las siguientes condiciones:

a) Que las concentraciones de las sustancias contaminantes presentes en el efluente resulten inferiores a los valores establecidos como objetivos de calidad para la zona receptora.

b) Que se justifique que dichos valores de los objetivos de calidad no se sobrepasarán por la acumulación de sustancias contaminantes debida a la escasez de renovación.

c) Que se definan en el proyecto y se adopten medidas que minimicen el impacto visual del dispositivo de vertido.

Cuando se trate de playas se exigirá, además, que la conducción sea cerrada, con su tramo terrestre enterrado a más de un metro de profundidad y que el punto de vertido cumpla a la vez que se encuentre a más de 200 metros de línea de costa y a más de dos metros de profundidad, ambas en bajamar viva equinocial.

Para conducciones de desagüe asociadas a aliviaderos no serán de aplicación las condiciones a) y b) anteriores, pero deberán evaluarse los efectos sobre el medio ambiente de los vertidos realizados a través de éstas con caudales correspondientes a períodos de retorno de diez y cincuenta años.

6.2 Proyecto.

6.2.1 Elementos técnicos del proyecto.-El proyecto de vertido a través de una conducción de desagüe definirá los mismos elementos técnicos mencionados para los emisarios submarinos en el apartado 5.1, con excepción de lo que se refiere a los difusores y a los mecanismos de transporte, dilución y autodepuración.

6.2.2 Redacción del proyecto.-El proyecto de vertido a través de una conducción de desagüe estará formado por los mismos documentos que se describen en el apartado 5.2 para emisarios submarinos.

Cuando se requiera algún sistema de depuración para conseguir las condiciones de vertido a través de conducciones de desagüe se describirán sus distintos elementos y se hará especial hincapié en el análisis de las probabilidades y consecuencias de posibles fallos en el funcionamiento del sistema.

Los resultados de este análisis se tendrán en cuenta para definir el Programa de Vigilancia y Control del Vertido.

6.2.3 Estudios complementarios.-Se desarrollarán los estudios indicados en el apartado 5.3 para emisarios submarinos, pero teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Los estudios de las «Características del efluente» y de los «Usos de la zona» estarán orientados fundamentalmente a justificar que las concentraciones de sustancias contaminantes en el efluente serán inferiores a los valores establecidos como objetivos de calidad para la zona receptora.

b) Las posibilidades de reutilización del efluente son más elevadas, dadas sus características, por lo que la justificación de la solución de vertido al mar deberá ser especialmente desarrollada en el estudio de «Alternativas de vertido».

c) Los estudios para la determinación de los parámetros oceanográficos se reducirán a los siguientes:

Un estudio hidrodinámico enfocado a justificar que no se sobrepasarán los valores límite por acumulación de sustancias contaminantes debido a escasez de renovación. Este estudio sustituye a los de «Temperatura y salinidad», «Corrientes», «Coeficientes de dispersión» y «Coeficientes de autodepuración» mencionados en el apartado 5.3.4.

Un estudio de biocenosis inicial y contaminación de fondo, de acuerdo con lo indicado en el apartado A4 del apéndice A.

Si se trata de conducciones con vertido sumergido, también hay que realizar los estudios de «Batimetría, Geofísica y Geotecnia», «Clima marítimo» y «Dinámica litoral», de acuerdo con las instrucciones del apéndice A.

6.2.4 Disposición general y métodos de cálculo.-Cuando se trate de conducciones de desagüe, abiertas o cerradas, que viertan en superficie, no existen consideraciones especiales para el proyecto diferentes de las usuales para instalaciones hidráulicas.

Sin embargo, si la conducción de desagüe vierte en profundidad se aplicarán también los criterios indicados en los apartados 5.4.1 a 5.4.4 para emisarios submarinos, con la excepción de aquellas partes del 5.4.3 que se refieren a la comprobación de los objetivos de calidad.

Artículo 7. Programa de vigilancia y control.

7.1 Objetivos.-El Programa de Vigilancia y Control de una conducción de vertido ha de proporcionar la información necesaria para:

- a) Gestionar eficazmente el sistema de vertido.
 - b) Evaluar si se cumplen los requisitos del efluente y los objetivos de calidad impuestos por la normativa vigente y por el condicionado de la autorización del vertido.
 - c) Realizar las modificaciones o expansiones convenientes en el sistema de vertido.
- Asimismo, la información suministrada por dicho programa ha de facilitar a la Administración competente la gestión adecuada de los usos que puedan ejercerse en el área de influencia de la zona de descarga, tales como la pesca comercial o recreativa u otros usos de interés turístico.

De acuerdo con estos objetivos, el Programa de Vigilancia y Control deberá contemplar dos aspectos complementarios: La calidad estructural de la conducción (roturas, corrimientos, fisuras, estado de difusores o descalces de la tubería) y la vigilancia ambiental, tanto de la calidad del efluente vertido como de la calidad del medio receptor.

Los resultados de este Programa de Vigilancia y Control deberán recogerse en un informe anual que el titular de la autorización del vertido remitirá a la Administración competente.

7.2 Vigilancia estructural.-El Programa de Vigilancia y Control de toda conducción de vertido deberá detallar los procedimientos y medios que se van a emplear en la inspección y mantenimiento preventivo de los elementos estructurales de aquélla, evaluando y cuantificando el coste que estas operaciones representarán al titular de la instalación.

Como parte de este Programa de Vigilancia y Control deberá incluirse, independientemente de otros procedimientos complementarios, la inspección de toda la longitud del tramo sumergido de la conducción y de sus principales elementos mediante el empleo de buceadores o instrumental sumergible.

Para que este control sea eficaz, la inspección deberá realizarse con la máxima carga hidráulica posible y, al menos, con una periodicidad anual, aumentando ésta cuando la conducción se sitúe bajo canales de navegación, zonas de fondeo, áreas de pesca mediante arrastre o donde la acción del oleaje sea intensa.

7.3 Vigilancia ambiental.-La vigilancia deberá realizarse mediante controles del efluente y del medio receptor, efectuados conjuntamente. El muestreo deberá realizarse de una manera sistemática, con objeto de reducir lo más posible la variación entre resultados individuales, manteniendo constantes los puntos de muestreo (que deberán estar suficientemente contrastados) y la periodicidad y períodos de muestreo, cuya descripción y localización deberán detallarse claramente en el Programa de Vigilancia y Control.

7.3.1 Control del efluente.-Para el muestreo del efluente la conducción deberá contar con dispositivos específicos que permitan un acceso fácil tanto para la obtención de muestras que sean representativas del flujo como para la determinación precisa del caudal que se está vertiendo en el momento del muestreo.

Con carácter general, la toma de muestras y la medida del caudal se efectuarán en el arranque de la conducción. No obstante, cuando la conducción de vertido preste servicio a diferentes estaciones de tratamiento, la Administración que autorizó el vertido podrá decidir que dichas operaciones se lleven a cabo, también o alternativamente, en las salidas de éstas.

La frecuencia del muestreo y el tipo y número de parámetros a analizar dependerán de la naturaleza y de la importancia del vertido y deberán incluirse en el Programa de Vigilancia y Control del proyecto para su aprobación en la autorización de vertido, en su caso. Se distinguirán tres categorías de emisarios submarinos para aguas residuales urbanas y dos tipos de análisis, en función del número de habitantes equivalentes servidos y del grupo de parámetros considerados, respectivamente.

Las tres categorías de emisarios quedan definidas como sigue:

- I. Emisarios que sirven a aglomeraciones urbanas que representen menos de 10.000 h-e.
- II. Emisarios que sirven a aglomeraciones urbanas que representen de 10.000 a 50.000 h-e.
- III. Emisarios que sirven a aglomeraciones urbanas que representen más de 50.000 h-e.

Los dos tipos de análisis serán el simplificado y el completo.

El análisis simplificado consistirá en la determinación de los siguientes parámetros:

Demanda biológica de oxígeno (DBO).

Demanda química de oxígeno (DQO).

Sólidos sedimentables.

pH.

Caudal.

Asimismo, el análisis simplificado incluirá la determinación de nitrógeno Kjeldahl, nitrógeno oxidado y de fósforo total, cuando las aguas receptoras se encuentren en zonas con riesgo de eutrofización. De igual forma, la Administración competente podrá incluir dentro del análisis simplificado la determinación de cualquiera de los contaminantes enumerados en la normativa vigente, si tiene fundadas sospechas de que tales contaminantes se encuentran normalmente en el vertido en concentraciones que puedan afectar negativamente al medio ambiente.

El análisis completo incluirá, además de los anteriores, el resto de los contaminantes cuya concentración debe ser controlada, de acuerdo con la normativa vigente.

El número mínimo anual de análisis se establece a continuación, realizándose el muestreo a intervalos regulares durante el año.

Tipo de análisis

Categoría del emisario Simplificado Completo Total

I 11 (1) 1 12

II 9 3 12

III 18 6 24

7.3.2 Control de las aguas receptoras.

7.3.2.1 Emisarios submarinos.-Para el muestreo de las aguas receptoras, se seleccionarán, al menos, cinco puntos: Tres situados sobre la línea de costa (dos a ambos lados del emisario y uno en el arranque de éste) y dos entre la salida del efluente y la costa.

A) Aguas residuales urbanas: De la misma forma que para el efluente, se establecen dos tipos de análisis para las aguas receptoras: El simplificado y el completo.

a) Análisis simplificado para las aguas receptoras: Los parámetros a determinar serán los siguientes:

Coliformes fecales.

Estreptococos fecales.

Coliformes totales.

pH.

Sólidos en suspensión.

Temperatura.

Color.

Transparencia.

Salinidad.

Oxígeno disuelto.

Nitrógeno oxidado (2).

Ortofosfatos (2).

Asimismo, se indicarán observaciones visuales referentes al viento, oleaje y pluviometría.

Dentro del conjunto de parámetros del análisis simplificado, la Administración competente podrá incluir cualquier otro parámetro cuando considere necesaria su determinación para mantener los objetivos de calidad.

b) Análisis completo para las aguas receptoras: En este procedimiento se determinará el resto de los contaminantes cuya concentración deberá ser controlada, de acuerdo con la normativa vigente.

Asimismo, deberán determinarse parámetros representativos de las condiciones oceanográficas y meteorológicas de la zona en el momento del muestreo, junto con parámetros físico-químicos indicadores de las condiciones de las masas de agua. Entre los parámetros a medir en este tipo de controles están: El viento, las corrientes, el oleaje, el perfil de salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto en el agua en un punto cercano a la salida del efluente, pero no afectado por éste.

El número mínimo anual de análisis que deberán realizarse será de seis en zonas de baño y cuatro en las restantes zonas. De éstos, dos serán completos, y el resto, simplificados. No obstante, se podrá reducir la frecuencia de la determinación de alguno de los parámetros exclusivos de análisis completo cuando se observe reiteradamente que no incide negativamente en la calidad de las aguas receptoras.

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.

7.3.2.2 Conducciones de desagüe.-Se seleccionarán tres puntos de muestreo sobre la línea de costa (dos a ambos lados del desagüe y uno en el arranque de éste), y otro en la salida del efluente.

Sólo se realizarán análisis completos y la frecuencia mínima de muestreo será de dos por año.

7.3.3 Control de sedimentos y organismos.-Para el control de sedimentos y de organismos se deberán seleccionar puntos de muestreo en el área de influencia del emisario, donde el sedimento tienda a acumularse, y en lugares donde se encuentren poblaciones abundantes de organismos representativos de la zona.

El muestreo de sedimentos y organismos deberá realizarse con carácter anual.

(1) El número anual de muestras podrá reducirse a un número a determinar por la Autoridad competente en función de los usos de las aguas receptoras si durante el primer año de funcionamiento se han cumplido los requisitos de esta Instrucción.

(2) Estos parámetros sólo se incluirán en el procedimiento de control simplificado cuando las aguas receptoras estén ubicadas en zonas eutróficas o bien cuando éstas puedan llegar a serlo si no se toman medidas de protección.

APENDICE A

Medidas de los parámetros oceanográficos

A.1. Perfiles de temperatura y salinidad

Uno de los elementos básicos del diseño de un emisario submarino es el conocimiento de los perfiles de temperatura y salinidad en el punto de vertido. A partir del conocimiento de estos dos parámetros se determina el perfil de densidades, la estratificación de las aguas y el posible atrapamiento del penacho antes de llegar a la superficie.

La determinación de estos perfiles puede realizarse mediante el empleo de medidores portátiles, algunos de los cuales permiten la medida simultánea de ambos parámetros.

La precisión con que obtengan los datos deberá ser como mínimo una décima de grado para la temperatura y la centena de microsiemens/cm para la salinidad (expresada como conductividad eléctrica). Con ello se asegura una correcta determinación de la estratificación y el atrapamiento.

Si con el fin de disminuir el número de medidas se opta por modelizar la estratificación de las aguas receptoras, es necesario contar con datos de las temperaturas medias mensuales del aire en la zona, que pueden, en general, ser obtenidas de organismos oficiales.

Las medidas de perfiles de temperatura y salinidad deberán realizarse bajo distintas condiciones meteorológicas e hidráulicas con el fin de disponer de una estadística representativa.

A.2. Corrientes

Se realizará un estudio de corrientes con un doble fin:

Determinar las acciones mecánicas sobre el emisario producidas por las corrientes debidas a causas distintas del oleaje.

Evaluar la dilución, transporte, dispersión y autodepuración del efluente en la zona afectada por éste.

Se hará previamente una estimación de la posición y características del difusor (longitud y orientación de la conducción son suficientes en esta fase) con el fin de concentrar las medidas en la zona de interés. Para dicha estimación pueden utilizarse los métodos de cálculo del apéndice B.

Respecto al primero de los fines mencionados se utilizarán las Recomendaciones Generales del programa ROM (Recomendaciones para Obras Marítimas) a medida que se vayan publicando por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Mientras tanto, se considerarán las siguientes acciones debidas a las corrientes (emisarios no enterrados):

Fuerza de arrastre: $F(a) = C(a) P(a) U(a)^2 |D/2$

Fuerza de elevación: $F(e) = C(e) P(a) U(a)^2 |D/2$

Se tomará como velocidad de cálculo «U

a» la que corresponde al 95 por 100 de no excedencia. Como valores de los coeficientes, se tomarán $C(a) = 0,9$ y $C(e) = 0,5$, aunque este último disminuye casi hasta 0, cuando el emisario está enterrado hasta la mitad o separado del fondo más de un diámetro. D es el diámetro del emisario y P

a la densidad del agua del mar.

El resto del presente apartado se refiere a los cálculos de comprobación de los objetivos de calidad.

Para vertidos urbanos de localidades de menos de 10.000 habitantes, se podrá suponer la existencia de una corriente superficial de 0,20 m/s, cuya dirección sea la que va desde el punto de vertido hasta el punto más cercano a éste de cada una de las zonas de impacto (baños, cultivos marinos, etc.).

En aquellos casos en que sea posible el atrapamiento del efluente por debajo de la termoclina, el estudio de corrientes ha de incluir la descripción del campo por debajo de la misma.

En los vertidos importantes será necesario emplear modelos de simulación, que requieren de campañas de medidas continuas y puntuales para su calibración. En la mayor parte de los casos será, no obstante, suficiente con el desarrollo de medidas puntuales mediante el empleo intensivo de flotadores con vela de arrastre sumergida.

En el caso de emplear medidores continuos resultará conveniente el empleo simultáneo de flotadores o trazadores coloreados que permiten completar las medidas en el espacio, necesariamente reducidas a escasos puntos por el coste del instrumental, que aportan aquéllos:

Para la determinación de las corrientes, a diferentes profundidades, se emplean flotadores cuya vela de arrastre se encuentre a la profundidad de interés; medidores continuos, situados a diferentes alturas de una misma vertical y medidas puntuales con correntímetros manuales que permitan la medición casi simultánea de la corriente a lo largo del perfil. Para el empleo de estos últimos, la embarcación debe estar anclada.

A.3. Coeficientes de dispersión

En general, al dispersarse la pluma por efecto de las corrientes marinas, las concentraciones se dividen por un factor que es muy inferior al valor de la dilución inicial y, en el caso de los coliformes, también muy inferior al que se consigue por autodepuración. Por ello, la intensidad del estudio de los coeficientes de dispersión puede ser menor, en beneficio de la de otros estudios complementarios, por ejemplo, las corrientes.

Salvo cuando se trate de un emplazamiento en el que las especiales condiciones topográficas e hidrográficas hagan prever una capacidad de dispersión excepcional o una gran variabilidad espacial de dicha capacidad, que pueda ser tenida en cuenta en los modelos de cálculo a utilizar, podrán emplearse las siguientes expresiones para estimar los valores de los coeficientes de dispersión:

a) Dispersión horizontal en dirección transversal a la pluma

$$K(y) \text{ (m}^2/\text{s)} = 3 \cdot 10^{-5} |B|^{4/3}$$

siendo B el ancho inicial de la pluma expresado en metros. Para tanteos puede tomarse

$$K(y) = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}.$$

b) Dispersión vertical.

En ausencia de estratificación, puede usarse la expresión:

$$K(z) \text{ (m}^2/\text{s)} = 4 \cdot 10^{-3} |U(a) e$$

siendo

U(a) la velocidad del medio receptor y e el espesor inicial de la capa de mezcla. Para tanteos puede tomarse

$$K(z) = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}.$$

En medios estratificados, el coeficiente de dispersión disminuye al aumentar el gradiente de densidad por lo que el transporte a través de la pycnoclina es muy escaso.

c) Dispersión horizontal en dirección longitudinal.

El transporte dispersivo en dirección longitudinal

(K(x)) es muy pequeño, en comparación con el transporte convectivo, por lo que la mayoría de los modelos no lo tienen en cuenta (por ejemplo, en los métodos de cálculo del apéndice B). Si desea utilizarlo, puede tomarse como valor para tanteos $K(x) = 1 \text{ m}^2/\text{s}$.

No obstante, resulta poco costoso hacer medidas experimentales de los coeficientes de dispersión horizontal si se hacen coincidir con las medidas de corrientes. El procedimiento que se recomienda se basa en el empleo de flotadores con vela sumergida a una profundidad igual a la del centro de la capa de mezcla esperada. Se colocan flotadores en el centro y en los vértices de un cuadrado (o mejor aún, de un hexágono) con el centro sobre el punto de surgencia y con una de cuyas diagonales paralela a la dirección del difusor. La longitud de la diagonal debe ser aproximadamente la mitad de la del difusor.

Llamando $I(i)_k$ a la distancia inicial entre cada pareja de flotadores y $I(f)_k$ a la distancia final entre éstos después de transcurrir un tiempo t , los coeficientes de dispersión se pueden estimar sabiendo que:

$$K(x) + K(y) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (I(f)_k - I(i)_k)^2 / 2 N t$$

y suponiendo que $K(x) = 10 K(y)$. En la fórmula anterior N representa el número de parejas de flotadores consideradas y preferiblemente debe incluir los resultados de varias experiencias realizadas en condiciones similares.

También pueden emplearse trazadores químicos o radiactivos para la determinación de los coeficientes de dispersión, siendo los trazadores fluorescentes (fluorescencia o rodamina B) los más utilizados.

A.4. Coeficientes de autodepuración

El cálculo de los coeficientes de autodepuración, especialmente si se determina el T90 de los «E. coli», debe tener en cuenta el carácter marcadamente estadístico de estos parámetros, así como los factores que influyen en ellos (insolación, temperatura, salinidad, etc.).

Uno de los métodos más comúnmente utilizados para la determinación de este coeficiente consiste en marcar un volumen de agua mediante un flotador, el cual se sigue con una embarcación desde la que se realizan muestreos en instantes sucesivos, que son posteriormente analizados en el laboratorio. Para el análisis estadístico de estas determinaciones microbiológicas, se deben replicar los muestreos al menos cinco veces para cada tiempo de toma, ajustando los resultados a una distribución logarítmica normal, que podrá usarse posteriormente para calcular el valor esperado de la reducción de concentraciones utilizando métodos estadísticos clásicos.

Para coliformes fecales en aguas con salinidad superior a 30 g/l pueden servir de orientación los valores obtenidos mediante la siguiente expresión, deducida a partir de los resultados de varias investigaciones recientes:

$$T(90) = [60 \left| \left| (1 - 0,65 C^2) * (1 - SS/800) + 0,02 * 10^{(T(a) - 20)/35} \right| \right|^{-1}]$$

donde $T(90)$ está expresado en horas y las restantes variables son:

= Angulo del sol sobre el horizonte en grados sexagesimales. (Valor mínimo: = 0).

C = Fracción del cielo cubierto por nubes.

SS = Concentración de sólidos en suspensión en mg/l. (Valor máximo: $SS = 800$).

$T(a)$ = Temperatura del agua en °C.

Para vertidos correspondientes a localidades de menos de 10.000 habitantes para el parámetro E. coli, se podrán adoptar valores fijos del $T(90)$ que no sean inferiores a dos horas en el Mediterráneo ni a tres horas en el Atlántico.

A.5. Biocenosis y contaminación de fondo

Para la caracterización del estado ambiental, se debe proceder a un reconocimiento de las comunidades bentónicas, principalmente mediante el estudio de las comunidades infaunales (moluscos y poliquetos) y de la cobertura de algas y otras plantas marinas. Los resultados de este reconocimiento se representarán gráficamente, mediante un mapa de las poblaciones bentónicas.

Este reconocimiento biológico deberá completarse con el muestreo y análisis de sedimentos superficiales y organismos acumuladores (por ejemplo, mejillones) en un número y distribución suficientemente representativo para el tipo y tamaño de emisario que se va a controlar. Sobre estas muestras se determinarán, prioritariamente, los microcontaminantes orgánicos e inorgánicos que figuran en los objetivos de calidad establecidos en la normativa vigente con el fin de que sirvan como referencia de la situación antes de la construcción del emisario.

Asimismo, se debe proceder a la determinación de las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal en las áreas de impacto identificadas.

A.6. Batimetría, Geofísica y Geotecnia

Se realizará un reconocimiento y descripción de los fondos a lo largo de perfil longitudinal, analizando los materiales que lo forman y sus propiedades mecánicas hasta la profundidad necesaria para el estudio de una cimentación adecuada. Asimismo, se identificarán los elementos singulares, como barras, bajos o depresiones, que puedan influir en el funcionamiento y mantenimiento de la obra, para lo cual se recomienda el empleo de equipos de sonar de barrido lateral. Todos estos datos se reflejarán en una carta detallada del emplazamiento y alrededores del emisario.

A.7. Clima marítimo

Se llevará a cabo un estudio del clima marítimo de la zona, con objeto de determinar las solicitaciones mecánicas a que se verán sometidos los distintos tramos del emisario por efecto del oleaje y la influencia que éste puede tener sobre el comportamiento mecánico de los materiales del fondo, balasto, relleno o lastrado.

Para ello se pondrán utilizar las Recomendaciones Generales del programa ROM ya mencionado. Con carácter supletorio, se dan a continuación unas expresiones para calcular las acciones debidas al oleaje sobre emisarios no enterrados:

Fuerza de arrastre: $F(a) = C(a) \rho(a) U(a)|2| D/2$.

Fuerza de inercia: $F(i) = C(i) \rho(a) a D|2|/4$.

Fuerza de elevación: $F(e) = C(e) \rho(a) U(a)|2| D/2$.

donde «U(a)» y «a» representan los componentes normales al emisario de la velocidad y aceleración máxima, calculadas de acuerdo con la teoría lineal de ondas para la altura de ola significativa correspondiente al temporal de cálculo, entendiéndose por tal el de período de retorno de cien años para la fase de servicio y el de período de retorno de un año para la fase de construcción. Los significados de F(a) y D se explican en el apéndice B.

Como valores de los coeficientes se tomarán $C(a) = 1,0$, $C(i) = 3,3$ y $C(e) = 1,25$.

Debe tenerse en cuenta que las fuerzas de inercia y de arrastre están desfasadas 90° y que normalmente la situación más desfavorable para la estabilidad corresponde a velocidad máxima y aceleración nula.

A.8. Dinámica litoral

Se realizará un estudio básico de la dinámica litoral de la zona, con el fin de evaluar tanto el efecto que ésta pueda tener sobre el funcionamiento y mantenimiento del emisario como, a la inversa, el que la presencia del emisario pudiera tener sobre aquélla.

Se prestará especial atención a las variaciones del perfil de playa y a la posible inestabilidad de la línea de costa.

APENDICE B

Métodos de cálculo de las diluciones

B.1. Notación utilizada

a: Aceleración máxima debida al oleaje ($m.s^2$).

B: Ancho inicial de la pluma (m).

c: Concentración de contaminantes en un punto de coordenadas (X, Y, Z).

C(o): Idem en el efluente.

C: Fracción de cielo cubierto por nubes.

C(a): Coeficiente de fuerza de arrastre.

C(d): Coeficiente de descarga.

C(e): Coeficiente de fuerza de elevación.

C(i): Coeficiente de fuerza de inercia.

d: Diámetro interior de la boca de descarga (m).

D: Diámetro exterior del emisario (m).

e: Espesor de la capa de mezcla (m).

erf(x): Función de error definida como:

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

Existen tablas de valores para cálculos manuales y aproximaciones polinómicas para cálculos por ordenador.

Dos aproximaciones útiles son las siguientes:

a) Para $x < 0,3$: $\text{erf}(x) = 2x$ (error <3 por 100).

b) Para $0,5 < x < 0,7$: $\text{erf}(x) = x$ (error <4 por 100).

F: Número de Froude: $F = U(a)|3| (g' q)^{-1/2}$.

F(a): Fuerza de arrastre.

F(e): Fuerza de elevación.
 F(i): Fuerza de inercia.
 F(o): Función que tiene en cuenta la autodepuración de la pluma.
 F(1), F(2) y F(3): Funciones que tienen en cuenta la dispersión en la pluma.
 g: Aceleración de la gravedad ($m \cdot s^{-2}$).
 g': Aceleración reducida: $g' = g \frac{\rho(a) - \rho(o)}{\rho(o)}$ ($m \cdot s^{-2}$).
 h: Carga hidráulica en la boca de descarga (m).
 H: Profundidad de la boca de descarga (m).
 H(h): Profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua (m).
 K: Coeficiente de dispersión en general ($m^2 \cdot s^{-1}$).
 K(x): Idem horizontal en dirección longitudinal de la pluma ($m^2 \cdot s^{-1}$).
 K(y): Idem horizontal en dirección transversal ($m^2 \cdot s^{-1}$).
 K(z): Idem vertical ($m^2 \cdot s^{-1}$).
 I(ik): Distancia inicial entre la pareja de flotadores «k» (m).
 I(fk): Distancia final (m).
 L(T): Longitud total del difusor (m).
 N: Número de parejas de flotadores considerados para el cálculo de K(x) y K(y).
 q: Caudal unitario en el difusor $q = Q \cdot L(T)^{-1}$ ($m^2 \cdot s^{-1}$).
 Q: Caudal vertido por el emisario ($m^3 \cdot s^{-1}$).
 Q(b): Caudal vertido por una boca de descarga ($m^3 \cdot s^{-1}$).
 S: Dilución inicial en la capa de mezcla.
 SS: Concentración de sólidos en suspensión en el agua del mar (mg/l).
 S(m): Dilución en el eje del chorro.
 t: Tiempo que emplea una partícula de agua en recorrer la distancia X a lo largo del eje de la pluma (horas).
 T(a): Temperatura del agua del mar ($^{\circ}C$).
 T(90): Tiempo necesario para que desaparezca el 90 por 100 de una cierta cantidad de contaminante por efecto de la autodepuración (horas).
 u(o): Velocidad del efluente en la boca de descarga ($m \cdot s^{-1}$).
 U(a): Velocidad horizontal del agua del mar ($m \cdot s^{-1}$).
 W: Velocidad ascensional del chorro ($m \cdot s^{-1}$).
 x: Variable de integración (m).
 X: Coordenada medida desde el punto de surgencia a lo largo del eje de la pluma (m).
 y: Elevación de un punto del chorro sobre la boca de descarga (m).
 y(máx): Elevación máxima de la capa de mezcla cuando se produce el atrapamiento (m).
 y: Coordenada horizontal en dirección transversal a la pluma (m).
 Z: Coordenada vertical que mide la distancia a la superficie libre (o a la pycnoclina, en su caso) para su uso en F(3)
 : Angulo del Sol sobre el horizonte (grados sexag.).
 : Coeficiente de estratificación (s^{-2}).
 $= g \frac{d\rho(a)}{\rho \cdot dy}$
 : Angulo que forma la dirección de U(a) con el difusor (grados sexag.).
 : Número pi.
 p(a): Densidad del agua del mar ($Kg \cdot m^{-3}$).
 p(o): Densidad del efluente ($Kg \cdot m^{-3}$).
 (y): «Desviación típica» de la distribución horizontal de concentraciones en dirección transversal a la pluma (m).
 (z): Idem de la distribución vertical de concentraciones (m).
 t: Variable de integración.

B.2. Cálculo de la dilución inicial

Las aguas residuales que se vierten al mar a través de emisarios submarinos, debido a su menor densidad, experimentan una fuerza convectiva que hace que se formen chorros ascendentes. Durante la ascensión, los chorros se alimentan de agua limpia del medio receptor que va diluyendo el efluente. En la superficie se crea una capa de mezcla con concentraciones bastante homogéneas donde los chorros, aunque siguen alimentándose, lo hacen ya con agua contaminada y, por lo tanto, no aumenta su dilución.

Es muy frecuente que, por diferencia de temperaturas (en verano sobre todo) y/o salinidades (proximidad de una desembocadura), el medio receptor esté estratificado, pudiéndose distinguir casi siempre la presencia de dos capas relativamente homogéneas separadas por una

superficie denominada picnoclina, donde el gradiente de densidad es muy acusado. En estos casos suele suceder que, al mezclarse el efluente con grandes proporciones del agua más densa del fondo, la mezcla tenga una densidad mayor que la de la capa superficial, quedando entonces atrapada sin llegar a la superficie.

Por otra parte, si el medio receptor está en movimiento (lo que ocurre casi siempre) influirá en el espesor de la capa de mezcla y en el ancho inicial de la pluma que se forma en planta. A velocidades bajas, la dilución inicial no se ve afectada, pero cuando ésta sobrepasa un cierto valor, la dilución aumenta, si bien a costa de que el punto donde el chorro alcanza la superficie (o, en su caso, la picnoclina) se desplace de forma importante en el sentido de la corriente, disminuyendo así la distancia disponible hasta las zonas a proteger, para que actúen los fenómenos de dispersión (horizontal y vertical) y de autodepuración.

En el resto del presente apartado se dan métodos para calcular la dilución inicial, el espesor y el ancho de la pluma para diferentes hipótesis de dispositivos de vertido y de características del medio receptor. Aunque dichos métodos son suficientemente aproximados, si se cumplen las hipótesis expuestas, pueden utilizarse otros métodos más exactos o que tengan en cuenta más aspectos de los fenómenos analizados. De hecho, para ciertas combinaciones de hipótesis, se exige expresamente el empleo de métodos de cálculo más sofisticados, que pueden incluir expresiones semiempíricas suficientemente contrastadas, procedimientos de integración numérica e incluso modelos físicos a escala reducida, dependiendo de la complejidad e importancia del problema.

En general, las condiciones pésimas respecto a la dilución inicial mínima se dan cuando la velocidad del medio receptor es muy pequeña. Sin embargo, para la comprobación de los objetivos de calidad (apartado B.3) las condiciones pésimas se dan con velocidades altas. Por ello, en lo que sigue se exponen métodos de cálculo que son válidos para un abanico razonablemente amplio de velocidades.

B.2.1 Comprobación de la estabilidad de la capa de mezcla.-Si la profundidad en el punto de vertido es escasa y el caudal vertido es importante, puede alcanzarse la inestabilidad de la capa de mezcla, produciéndose una recirculación desde ésta hacia los chorros en toda la profundidad. En este caso, no son utilizables los métodos que se exponen más adelante, debiéndose emplear, por tanto, otros métodos más sofisticados.

Esta situación es típica en los vertidos de agua de refrigeración de las centrales térmicas y nucleares, pero no suele darse en vertidos de aguas residuales urbanas.

El criterio para asegurar que no se produce dicha situación es:

$$[u(o)]^2 B + U(a)]^2 H / (u(o)Bg)^{2/3} H] < 0,54$$

B.2.2. Medio receptor no estratificado.

B.2.2.1 Difusor con bocas de descarga muy próximas.-Se consideran incluidos en este grupo los difusores cuyas bocas distan entre sí menos de un 3 por 100 de la profundidad en el punto de vertido.

En este caso, los chorros se mezclan formando una «pared» ascendente que llamaremos chorro lineal. Para pequeñas velocidades del medio receptor la dilución mínima en cualquier sección horizontal por debajo de la capa de mezcla puede calcularse mediante:

$S(m) = 0,38 g^{1/3} yq^{2/3}$ Para calcular los parámetros de interés se distinguen los siguientes casos:

$$0 \geq 65^\circ \text{ o } 0 < 65^\circ$$

$$f \leq 0,1 \text{ o } F < 0,36$$

La dilución inicial, el espesor de la capa de mezcla y el ancho inicial de la pluma se calculan mediante las expresiones:

$$S = 0,27 U(a) Hq|-1| F^{-1/3} = 0,27 g^{1/3} Hq^{-2/3}$$

$$e = 0,29 H$$

$$B = SQ / eU(a) = 0,93 L(T)F^{1/3} = 0,93 (g'q)^{1/3} L(T)U(a)|-1|$$

Caso II:

$$25^\circ \geq 0 = 65^\circ$$

$$F > 0,36$$

$$S = 0,38 U(a) Hq |-1|$$

$$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(t)F^{1/3}] e = SQ = 0,38 L(T) HB|-1| BU(a)$$

Caso III:

$$< 25^\circ$$

$$0,36 < F \leq 20$$

$$S = 0,294 UHq|-1| F^{1/4} = 0,294 (g(o) U(a))^{1/4} q^{3/4} H$$

$$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(t)F^{1/3}]$$

$$e = SQ / BU(a)$$

Caso IV:

$< 25^\circ$

$F > 20$

$S = 0,139 U(a) Hq^{-1}$

$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(t)F^{1/3}]$

$e = SQ / BU(a)$

Caso V:

$> 65^\circ$

$F > 0,1$

$S = 0,58 U(a) Hq^{-1}$

$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(t)F^{1/3}]$

$e = SQ / BU(a) = 0,58 L(T) HB^{-1}$

En los casos II a V si resulta $e > H$ se toma $e = H$ y $S = U(a)BH/Q$

B.2.2.2 Difusor con bocas de descarga muy separadas.-Se consideran incluidos aquí los difusores cuyas bocas distan entre sí más de un 20 por 100 de la profundidad.

A esta distancia los chorros no interaccionan hasta llegar a la capa de mezcla, por lo que la dilución puede calcularse para cada chorro aislado. No obstante, al llegar a la superficie se formará también una capa de mezcla, dentro de la cual no disminuyen las concentraciones.

Para pequeñas velocidades, la dilución mínima en cualquier sección horizontal de un chorro por debajo de la capa de mezcla puede calcularse mediante:

$S(m) = 0,089 g^{1/3} y^{5/3} Q(b)^{-2/3}$

Los parámetros de interés para el caso I, que es el que corresponde a condiciones pésimas respecto a la dilución inicial mínima, se calculan por las expresiones:

$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(t)F^{1/3}]$

$S(m) = 0,089 g^{1/3} (H-E)^{5/3} Q(b)^{-2/3}$

$e = SQ / BU(a)$

donde las últimas hay que resolverlas por iteraciones.

Para los demás casos (velocidades altas) son necesarios métodos más avanzados. No obstante, dado que el aumento de dilución inicial se compensa con una menor distancia disponible para la dispersión y que las concentraciones en puntos alejados se hacen cada vez más independientes de la forma como se produce la descarga, se pueden utilizar los métodos del apartado B.3 para velocidades elevadas, partiendo de unas condiciones iniciales de la pluma (posición, ancho, espesor y concentración) correspondientes a velocidades bajas, sin que por ello se cometan errores importantes.

B.2.2.3 Otros difusiones.-Para difusores con separación entre bocas entre el 3 y el 20 por 100 o con formas en planta distintas de la línea recta (por ejemplo, difusores en Y, en T, etc.) no son aplicables directamente los métodos anteriores y deberán, por tanto, ser calculados utilizando métodos más sofisticados.

B.2.2.4 Descarga por boca única.-En general, se tomará:

$e = 0,15 H$

$S' = 0,089 g^{1/3} (H-e)^{5/3} Q^{-2/3} = 0,075 g^{1/3} H^{5/3} Q^{-2/3}$

$e = SQ / eU(a)$

Si la velocidad es tal alta que resulta $B \leq 0,3 H$, no valen las expresiones anteriores y tienen que utilizarse modelos que tengan en cuenta la curvatura del chorro.

B.2.3 Medio receptor estratificado.-Si el tipo de estratificación consiste en la existencia de dos capas homogéneas, bien diferenciadas y separadas por una picnoclina clara, un procedimiento adecuado puede ser presuponer el atrapamiento de la mezcla y, por tanto, utilizar los métodos descritos en el apartado B.2.2, considerando la picnoclina como superficie libre ficticia. En este caso, debe comprobarse «a posteriori» que la densidad de la mezcla, calculable a partir de las densidades del efluente y del agua del mar y de la dilución alcanzada, es superior a la densidad de la capa superficial.

Naturalmente, la velocidad $U(a)$ a utilizar en los cálculos será la que corresponda a la capa profunda, y suele ser bastante inferior que la de la capa superficial.

Si el tipo de estratificación permite aproximar el perfil de densidades en toda la profundidad (o, al menos, en todo el espesor de la capa profunda) mediante una recta, se pueden utilizar las siguientes expresiones para calcular la máxima elevación (sobre la boca de descarga) que alcanza la capa de mezcla atrapada y los demás parámetros de interés, siempre que las velocidades no sean muy altas.

B.2.3.1 Difusor con bocas de descarga muy próximas.

$Y(\max) = 2,84 (g(1) q)^{1/3} \text{ ""}^{-1/2}$

$$S = 0,31 g^{1/3} Y(\max) q^{2/3}$$

$$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(T) F^{1/3}]$$

$$e = SQ / BU(a) = 0,18 Y(\max)$$

B.2.3.2 Difusor con bocas de descarga muy separadas.

$$Y(\max) = 3,98 (g Q(b))^{1/4} \text{ " } -3/8$$

$$S = 0,071 g^{1/3} y(\max)^{5/3} Q(b)^{-2/3}$$

$$B = \max [L(T) \text{ sen } ; 0,93 L(T) F^{1/3}]$$

$$e = SQ / BU(a) = 0,13 Y(\max)$$

B.2.3.3 Descarga por boca única.

$$Y(\max) = 3,98 (g Q(b))^{1/4} \text{ " } -3/8$$

$$S = 0,071 g^{1/3} y(\max)^{5/3} Q^{-2/3}$$

$$e = 0,13 Y(\max)$$

$$b = SQ / eU(a)$$

Si el tipo de estratificación se traduce en un perfil de velocidades distinto de los anteriores, se requiere el empleo de métodos de integración numérica para calcular todos estos parámetros.

B.2.4. Posición en el punto de urgencia.-Para aplicar los modelos del apartado siguiente es necesaria situar el origen de la pluma que, como es lógico, coincidirá con el punto donde el chorro alcanza la superficie a la picnoclina, según los casos.

Para calcular la posición de este punto, se compondrá vectorialmente la velocidad horizontal $U(a)$ del medio receptor con una velocidad vertical de ascensión del efluente, que se calculará por las siguientes expresiones:

B.2.4.1 Difusor con bocas de descarga muy próximas.

$$W = 1,66 (g' q)^{1/3}$$

B.2.4.2 Difusor con bocas de descarga muy separadas.

$$W = 6,3 (g' Q(b)/H)^{1/3}$$

B.2.4.3 Descarga por boca única.

$$W = 6,3 (g'Q/H)^{1/3}$$

En los dos últimos casos, se sustituirá H por $Y(\max)$ cuando se trata de medio receptor estratificado.

La línea que, pasando por el centro del difusor o por la boca única de descarga, sea paralela a esta velocidad compuesta, determinará el punto de surgencia en la superficie o en la picnoclina. En dicho punto, la sección transversal de la pluma está representada por un rectángulo de anchura B y espesor e , atravesado por una mezcla de concentración casi homogénea $C(o)/S$ y con velocidad $U(a)$.

B.3. Comprobación de los objetivos de calidad

Los objetivos de calidad suelen venir expresados como concentraciones de contaminantes que no deben ser sobrepasadas en determinadas áreas, según sus usos, situadas generalmente a bastante distancia de la zona de vertido (entre uno y varios kilómetros).

Para comprobar si se cumplen dichos objetivos es necesario calcular las distribuciones de concentración de los contaminantes significativos que se producirán en las condiciones pésimas. Estas consistirán, casi siempre, en unas situaciones de corriente que acercan la mezcla desde la zona de vertido hasta las áreas a proteger, siguiendo unas trayectorias rectas o con curvatura poco pronunciada.

Alrededor de dichas trayectorias, el contaminante «dibuja» una pluma con concentraciones más elevadas en el eje y en superficie (o la picnoclina, si la mezcla quedó atrapada), y más reducidas en los bordes laterales e inferior, donde se está produciendo un intercambio turbulento con agua limpia del medio receptor. Además, a medida que nos alejamos de la zona de descarga, las concentraciones en el eje van disminuyendo a costa de un ensanchamiento de la pluma como consecuencia del transporte dispersivo. A ello hay que añadir una disminución del contenido total de cada sección transversal, a causa de los fenómenos de autodepuración del agua del mar.

El cálculo preciso de la distribución de concentraciones es bastante difícil, por las siguientes razones:

Los coeficientes de dispersión (K) y de autodepuración ($T(90)$) son muy variables. Además, este último influye mucho en los resultados.

El medio receptor presenta muchas veces una acusada estratificación, lo cual se traduce en un cierto impedimento para la transferencia vertical de contaminantes y de corrientes. Además, el perfil de densidades puede variar al acercarse a la costa.

La intensidad y dirección de las corrientes varían mucho en el tiempo y en el espacio. Resulta especialmente difícil estudiar el efecto de la variabilidad vertical de las corrientes horizontales, que suele ser muy acusada, sobre todo en la capa situada por encima de la picnoclina. Sin

embargo, dicho efecto es muy importante porque aumenta considerablemente la dispersión horizontal.

Los límites del sistema (batimetría, línea de costa, etcétera) pueden ser muy complicados. Como consecuencia, cuanto mayor sea la importancia del emisario, más sofisticados deberán ser los métodos de cálculo utilizados y, consecuentemente, más completos deberán ser los estudios complementarios para la determinación de los parámetros oceanográficos, que deben orientarse a la obtención de los datos que necesite el método de cálculo elegido.

Existen diversas formas de enfocar el cálculo de dichas concentraciones: Soluciones analíticas de la ecuación de difusión para vertido continuo, superposición numérica de soluciones analíticas para vertidos instantáneos, celdas de mezcla, integración numérica de las ecuaciones, modelos físicos a escala reducida, etc.

Para elegir el método de cálculo debe tenerse presente que puede ser preferible uno poco preciso, que tenga en cuenta todos los fenómenos implicados, que uno de mayor precisión, ignore ciertos aspectos importantes. Además, dada la variabilidad de los parámetros, puede ser necesario aplicarlo a un gran número de situaciones.

En cualquier caso, cuanto más escasos sean los datos de campo y más simples los procedimientos de cálculo, más del lado de la seguridad habrá que quedarse al seleccionar las situaciones pésimas.

A continuación se dan unas expresiones que pueden servir para comprobar los objetivos de calidad en el caso de emisarios poco importantes. No obstante, también pueden valer como elementos de otros procedimientos de cálculo más completos.

Este procedimiento se aplica cuando el vertido alcanza a superficie y se ve sometido a una corriente rectilínea de velocidad constante. No obstante, bajo ciertas limitaciones también puede aplicarse en los siguientes casos:

Cuando el vertido queda atrapado por la pycnoclina, si se supone que ésta actúa como superficie libre ficticia y que sólo se produce dispersión en la capa inferior.

Cuando la trayectoria no sea rectilínea, siempre que su radio de curvatura sea bastante mayor que el semiancho de la pluma. Entonces X representa la distancia al origen (punto de surgencia) medida a lo largo del eje, e Y la mínima distancia de un punto cualquiera a la superficie proyectante vertical de dicho eje.

Cuando la velocidad varíe a lo largo de la trayectoria, siempre que lo haga lentamente. Basta sustituir la variable auxiliar t por la expresión:

$$t = \int (x) |v| dx / U(a)(x)$$

que, en caso necesario, puede calcularse numéricamente.

En cambio, no es aplicable cuando existen variaciones importantes de profundidad, en sentido transversal a la pluma o en las proximidades de los contornos cerrados. Desgraciadamente, ambas circunstancias se dan cuando la pluma se acerca a la costa que suele ser, además, un elemento del conjunto de situaciones pésimas de cálculo. No obstante, para emisarios poco importantes se podrán calcular las concentraciones utilizando las expresiones siguientes, aplicadas sin tener en cuenta la presencia de la línea de costas. Esto se justifica por el hecho de que el aumento de concentraciones que se produce al estar impedida la dispersión hacia tierra, se compensa por la escasa probabilidad de que una trayectoria real termine impactando directamente sobre la costa, ya que tienden a hacerse paralela a ésta a una cierta distancia de ella.

La concentración en cualquier punto de la pluma determinado por sus coordenadas (X, Y, Z) viene dada por la expresión:

$$C(X, Y, Z) = (C(o)/S) F(o)(t) F(1)(t) F(2)(Y,t) F(3)(Z,t)$$

siendo t una variable auxiliar que se calcula mediante:

$$t = X/U(a)$$

La función F(o)(t) tiene en cuenta los fenómenos de autodepuración de los parámetros no conservativos, y tiene la siguiente expresión:

$$F(o)(t) = 10^{-t/T90}$$

Las otras funciones tienen forma diferente, según la zona a la que se apliquen:

a) Zona próxima al punto de surgencia.

En esta zona, el espesor de la capa de mezcla es inferior a la profundidad y, por tanto, existe dispersión vertical. Además, el perfil de concentraciones tiene forma de «meseta» por la homogeneización que se produce en el punto de surgencia.

$$F(2) = (Y, t) = 1/2 [\operatorname{erf}(B/2+Y / (z)^2) + \operatorname{erf}(B/2-Y / (y)^2)]$$

$$F(2) = (Z, t) = 1/2 [e^{-Z / (z)^2} + \operatorname{erf}(e - Z / (y)^2)]$$

siendo:

$$= (2 K(y) t)^{1/2}$$

$$= (2 K(z) t)^{1/2}$$

Si se supone mezcla en toda la profundidad desde la zona de vertido ($e = H$) se toma $F(3) (Z, t) = 1$.

b) Zona alejada del punto de surgencia.

Aquí se supone que la pluma se homogeneizó en vertical cuando la profundidad era $H(h)$ (que se puede estimar mediante las expresiones anteriores). Además, a esta distancia se pueden utilizar aproximaciones de la función de error, con lo cual:

$$F(1) (t) = (2 K(z) t)^{1/2} B y^{-1} |1|$$

$$F(2) (Y, t) = \exp(-Y^2/2^2(y))$$

$$F(3) (Z, t) = e^{-e \cdot H(h) - 1}$$

siendo ahora:

$$(y) = (B^2/16 + 2K(y)t)^{1/2}$$

Nótese que en el eje de la pluma se tiene $y = 0$ por tanto $F(2) = 1$ con lo que la concentración en el eje viene dada por la expresión:

$$c(t) = C(o)/S * e/H(h) * B / [(2 K(z) t)^{1/2} (y)] * 10^{-1/T(90)}$$

B.4 Cálculo hidráulico del emisario

Una vez definidas las condiciones de dilución se debe proceder al cálculo hidráulico de la tubería y del difusor.

El cálculo hidráulico del difusor se realiza comenzando por la boca de descarga más alejada. En ésta se cumple que:

$$Q(b) = C(d) / 4 d^2 (2gh)^{1/2}$$

donde:

$$C(d) = 0,975 [1 - U^2(o) (2gh)]^{0,375}$$

para orificios de bordes redondeados y

$$C(d) = 0,63 - 0,58 U^2(o) / (2gh)^{0,375}$$

para orificios de bordes agudos. Si se utiliza otro tipo de bocas de descarga se deberá determinar mediante ensayos la expresión de $C(d)$, similar a las anteriores, que resulte más adecuada.

Conocido el caudal descargado por la boca, se calcula el caudal y la velocidad en el tramo de difusor anterior a ésta. Seguidamente se calcula la carga hidráulica en los siguientes tramos de tubería, añadiendo las pérdidas por fricción y las de salida por las bocas de descarga, llegando en último término a determinar la carga hidráulica al inicio del tramo difusor y el caudal vertido por cada una de ellas. Dado que el proceso de cálculo y , en consecuencia, el caudal total dependen del caudal asumido inicialmente de la descarga por la última boca, en un primer tanteo, éste se puede tomar igual a Q/n para mediante sucesivas iteraciones, determinar posteriormente la distribución definitiva.

CORRECCION DE ERRORES CON MARGINAL 1993/2425

Página 8825. Apartado A2, donde dice: «... $F(a) = C(a) p(a) U(a)|2| d/2...$ » debe decir: «... $F(a) = C(a) P(a) U(a)|2| D/2...$ ».

Página 8825. Apartado A2, donde dice: «... $F(e) = C(a) p(a) U(a)|2| d/2...$ » debe decir: «... $F(e) = C(a) P(a) U(a)|2| d/2...$ ».

Página 8825. Apartado A2, donde dice: «...y $p(a)$ la densidad del...», debe decir: «... y $P(a)$ la densidad del...».

Página 8826. Apartado A3, punto c), donde dice: «...Si desea utilizarlo...», debe decir: «...Si se desea utilizarlo...».

Página 8826. Apartado A3, última línea, donde dice: «...cencia...», debe decir: «... ceina...».

Página 8827. Apartado A4, donde dice:

$$\approx T(90) = [\approx(60) (1 - 0,65 C^2) (1 - SS/800) +]$$

debe decir:

$$\approx T(90) = [\approx/60 (1 - 0,65 C^2) (1 - SS/800) +]$$

Lugar: Apartado B1, donde dice:

$$\langle \text{erf}(x) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt \rangle$$

debe decir:

$$\langle \text{erf}(x) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt \rangle$$

Lugar: Apartado B1, donde dice: «...a) Para $x < 0,3$: $\text{erf}(x) = 2 x \sqrt{\pi}$ », debe decir: «a) Para $x < 0,3$: $\text{erf}(x) = 2 x \sqrt{\pi}$ ».

Lugar: Apartado B.2.2.1. caso II, donde dice: « $25^\circ \geq 0 < 65^\circ$ », debe decir: « $25^\circ \leq 0 < 65^\circ$ ».

Lugar: Apartado B.2.2.1., donde dice:

$$\langle e = SQ BU(a) \Rightarrow \rangle$$

debe decir:

« $e = SQ / BU(a) =$ »

Lugar: Apartado B.2.2.2., donde dice: «... $(H-E)^{5/3}$...», debe decir: «... $(H-e)^{5/3}$...».

Lugar: Apartado B.2.2.4., donde dice: « $e = SQ / eU(a)$ »

debe decir:

« $B = SQ / eU(a)$ »

Página 8830. Apartado B.2.3.1, donde dice: «... $2,84 (g,q)^{1/3}$...», debe decir: «... $2,84 (g'q)^{1/3}$...».

Página 8831. Apartado B.3, párrafo 14, donde dice: «... el vertido alcanza a superficie...», debe decir: «...el vertido alcanza la superficie..».

Página 8832. Apartado B.3, punto b), donde dice: «...se tiene $y = 0$ por tanto...», debe decir. «...se tiene $y = 0$, y por tanto ...».