



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

Máster “Agua y Medio Ambiente en áreas semiáridas (AQUARID)”

**PROYECTO FIN DE MÁSTER REALIZADO EN LA PLANTA DESALADORA
DE ALMERÍA (Acciona Agua-Abengoa U.T.E)**

***Estudio del vertido de la salmuera de
rechazo y su dilución en el medio receptor***

Autora: Ana Suárez Palmero

Tutor UAL: Antonio Pulido Bosch

Curso 2012/2013

Universidad de Almería

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. INFORMACIÓN BÁSICA INICIAL.....	4
2.1. Datos identificativos de la práctica.....	4
2.2. Expectativas del estudiante ante la práctica.....	4
2.3. Descripción previa de la práctica.....	5
3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	5
3.1. Tareas realizadas durante la práctica.....	5
3.2. Labor formativa desarrollada por la empresa.....	7
3.3. Incidencias.....	7
3.4. Actuación de los tutores.....	7
3.5. Definiciones previas al estudio.....	8
3.6. Métodos de cálculo de dilución en la zona de inyección.....	10
3.6.1. <i>Materiales y métodos</i>	11
3.6.2. <i>Resultados y conclusiones</i>	16
3.6.3. <i>Discusión</i>	21
3.7. Dimensionamiento ambiental del tramo difusor.....	22
3.7.1. <i>Materiales y métodos</i>	22
3.7.2. <i>Resultados y conclusiones</i>	25
3.7.3. <i>Discusión</i>	26
4. CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS.....	27
4.1. Conocimientos sobre la empresa.....	27
4.2. Resumen de conocimientos y habilidades adquiridos durante el trabajo en la empresa.....	32
5. CONCLUSIONES, VALORACIÓN Y SUGERENCIAS.....	32
5.1. Cumplimiento de objetivos académicos de la práctica.....	32
5.2. Cumplimiento de objetivos laborales de la práctica.....	32
5.3. Sugerencias y valoración del estudiante	33
6. BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXO: DIARIO DE TAREAS REALIZAS.....	36

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo del presente trabajo ha sido realizar las prácticas de empresa del Máster Agua y Medio Ambiente en áreas semiáridas de la Universidad de Almería, como culminación de mi aprendizaje en una empresa del sector. El estudio se ha centrado en aplicar métodos de cálculo de la dilución del vertido de salmuera de rechazo en la Planta Desaladora de Almería.

Mediante las ecuaciones hidrodinámicas del chorro de vertido, que se basan en los principios de conservación del volumen de mezcla, masa de la salmuera, déficit de densidad y de la conservación de la cantidad de movimiento, se ha llevado a cabo un estudio que permite obtener la forma de mejorar la evacuación de la salmuera y su dilución en el medio marino. Para ello, se determinan los parámetros y las secciones de longitud del emisario, la profundidad de descarga del tramo difusor, velocidades de salida del vertido y el número de bocas de descarga. Los cálculos necesarios se han realizado mediante un sencillo programa elaborado con Matlab y mediante fórmulas basadas en el análisis dimensional con coeficientes determinados experimentalmente, siendo éstos los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria. Así, se podrán proponer unas medidas para la obtención de una mayor dilución, con el fin de asegurar la protección del medio marino.

De hecho, desde un punto de vista ambiental, una de las principales preocupaciones sociales de las plantas desaladoras es el posible impacto ambiental por el vertido de salmueras cercano a las praderas de fanerógamas marinas y su consecuente afección a las comunidades bentónicas. He pretendido demostrar que las afecciones al medio marino pueden controlarse, evitarse y resultar insignificantes gracias a la posible combinación de los procesos que permiten obtener una mayor dilución de la salmuera que garantice la protección de los ecosistemas de la zona.

Por otra parte, además del estudio del vertido de la salmuera de rechazo, he adquirido y completado una formación práctica en análisis de muestras de laboratorio y el funcionamiento de la planta. La formación por parte de la empresa me ha permitido conocer en detalle el proceso de desalación del agua, desde las etapas iniciales de captación hasta la obtención del agua producto. Por tanto, gracias a la formación recibida en el Máster, la formación práctica recibida por la empresa, así como los datos proporcionados por la misma y la labor de revisión y seguimiento del trabajo por parte de los tutores, la formación práctica recibida ha sido excelente.

2. INFORMACIÓN BÁSICA INICIAL

2.1. Datos identificativos de la práctica

- Datos del estudiante:
 - Nombre: Ana Suárez Palmero.
 - Titulación: Licenciada en Ciencias del Mar, Orientación curricular Oceanografía Física. Universidad de Cádiz.
 - Correo electrónico: ana.suarezpalmero@mail.uca.es
- Datos de la empresa:
 - Centro de trabajo: Planta Desaladora de agua de mar de Almería: Acciona Agua y Abengoa, U.T.E.
 - Dirección: Crta. Almería, Km 0,7. La Cañada de San Urbano.
 - Duración: 2 meses (01/04/2013-31/05/2013)
 - Duración total: 200 horas.
 - Tutora: Encarnación García Vargas.
 - Correo electrónico: e.garcia@desaladoradealmeria.com
- Datos del tutor académico:
 - Nombre: Antonio Pulido Bosch.
 - Localización: Departamento de Biología y Geología, Área de Geodinámica Externa. Universidad de Almería.
 - Correo electrónico: apulido@ual.es

2.2. Expectativas del estudiante ante la práctica

En primer lugar, antes de conocer los detalles de la práctica, espero poder aplicar los conocimientos adquiridos tanto en la Licenciatura como en el transcurso del Máster. Al ser una primera experiencia en prácticas de empresa tras finalizar los estudios de Licenciatura, espero tener la oportunidad de adquirir experiencia y habilidades profesionales que faciliten una futura inserción en el mundo laboral en empresas de tratamiento de aguas y el medio ambiente.

Una vez conocidos los detalles del programa de prácticas de empresa, además de aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación, encuentro la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos en las técnicas de desalación, así como de comprender la realidad laboral en cuanto a estructura y organización de la empresa. Además, podré conocer un manejo eficaz de los instrumentos de campo, de laboratorio y las herramientas de trabajo en gabinete.

2.3. Descripción previa de la práctica

- *Características contractuales de la práctica:*
 - Horario: Lunes-Viernes de 09,00 h a 14,00 h.
 - Tareas iniciales: conocer el esquema general de funcionamiento de la Planta Desaladora y sus instalaciones.
- *Funciones y tareas a desarrollar en la práctica:* Estudio del vertido de la salmuera de rechazo y cálculos de dilución en el medio receptor. Mediante datos proporcionados por la empresa, tales como secciones del emisario submarino y caudales medios de producción y vertido, calcularé la dilución obtenida en superficie y el posible alcance de una mayor dilución.
- *Conocimientos y formación previos requeridos para el desarrollo de la práctica:* es preciso conocer la normativa que rige los vertidos al mar a través de emisarios submarinos, los procesos de dilución de un vertido al mar según las fases del mismo (desde la zona de inyección, zona donde se produce la mezcla y la zona alejada) y los métodos de cálculo de dicha dilución.
- *Nuevos conocimientos y formación que se prevén adquirir durante el desarrollo de la práctica:* funcionamiento de las diferentes etapas de tratamiento de la Planta, desde el bombeo y captación de agua de mar hasta la obtención del agua producto. Además, podré adquirir conocimiento del manejo de diferentes instrumentos tanto de campo como de laboratorio.

3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

3.1. Tareas realizadas durante la práctica

- *Tareas directamente relacionadas con la titulación universitaria:* se han realizado cálculos de la dilución del vertido de la salmuera de rechazo con el objetivo de caracterizar la dilución alcanzada en función del caudal de producción diario y dependiendo del número de bastidores en funcionamiento. El objetivo es comparar cómo se alcanza una mayor dilución en superficie del medio receptor, en función de los caudales de producción y de salida del vertido, del ángulo formado por la boca de descarga del emisario y la rasante del terreno, del número de bocas de descarga, de la profundidad a la que se encuentra el punto de vertido y la longitud del tramo difusor, entre las características más relevantes.

Por otra parte, he realizado análisis de muestras de agua en las diferentes etapas del tratamiento, entre ellos análisis de control y completos. Así, he podido aplicar conocimientos de prácticas de laboratorio de diferentes asignaturas adquiridos en la formación universitaria.

- *Tareas no relacionadas con la titulación universitaria:* conocimiento en detalle del funcionamiento de la Planta, cómo se realiza la captación del agua a través de los pozos, cómo se bombea el agua hasta las turbobombas, el pretratamiento al que se somete el agua, el proceso de ósmosis inversa y el postratamiento.
- *Descripción de una jornada de trabajo típica:*
 - 09,00h-12,30h. Cálculos de la dilución del vertido mediante programación con Matlab y consulta de datos requeridos para ello.
 - 12,30h-14,00h. Aprendizaje de la toma de muestras de las diferentes etapas del tratamiento del agua, así como el análisis de las mismas y vigilancia de los objetivos de calidad de la normativa y el funcionamiento de la Planta.
- *Cálculo aproximado del porcentaje de tiempo dedicado a cada tarea:*
 - 50% dedicado al cálculo de la dilución y el funcionamiento del emisario submarino.
 - 50% dedicado al conocimiento y al aprendizaje del trabajo en laboratorio y el funcionamiento de la Planta.

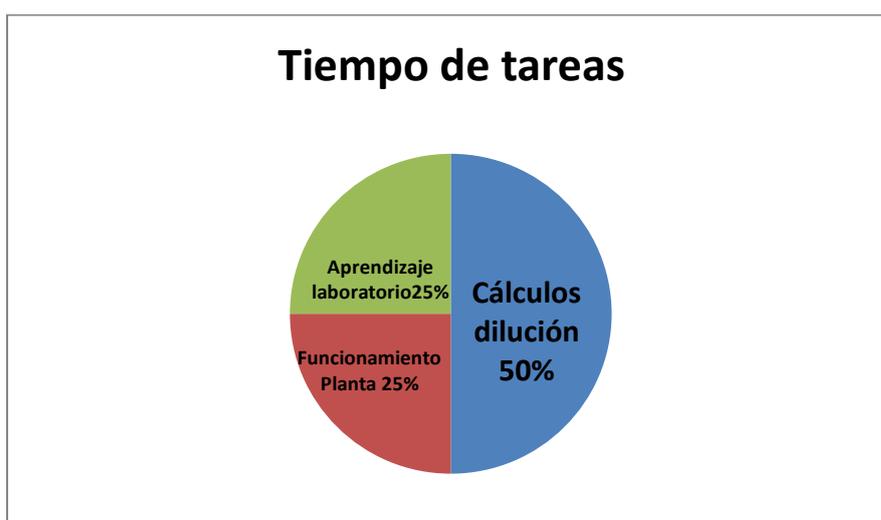


Figura 1. Tiempo dedicado a cada tarea

3.2. Labor formativa desarrollada por la empresa

Entre las distintas tareas formativas desempeñadas por la empresa, cabe destacar el conocimiento del mantenimiento de los equipos, las normas básicas de seguridad en la Planta, el funcionamiento de todas las etapas del tratamiento y el esquema de conducción del vertido a través del emisario submarino por parte de la tutora en la empresa. Por otro lado, también me han proporcionado una gran formación práctica los técnicos y operarios de la Planta, en cuanto a la planificación, desarrollo, seguimiento y ejecución de las analíticas de aguas, la toma de muestras y la gestión de productos químicos del laboratorio.

3.3. Incidencias

Durante el desarrollo de la práctica no ha surgido ningún tipo de incidencia. Las tareas se han llevado a cabo en inmejorables condiciones de trabajo.

3.4. Actuación de los tutores

A continuación enumero las actuaciones que atribuyo a cada uno de los tutores en el desarrollo de la práctica.

- *Tutor académico:*
 - Velar por el normal desarrollo formativo, garantizando la compatibilidad simultánea con las clases académicas.
 - Hacer un seguimiento efectivo del desarrollo de la práctica, coordinando revisiones periódicas del trabajo realizado.
 - Informar al órgano responsable de las prácticas en la universidad de las posibles incidencias.
 - Llevar a cabo las correcciones necesarias en la elaboración del trabajo, así como realizar sugerencias para un mejor resultado del proyecto.
- *Tutora de empresa:*
 - Proporcionar una formación práctica en cuanto al funcionamiento de la empresa y las instalaciones.
 - Realizar un seguimiento y control del desarrollo del trabajo de la práctica.
 - Aclaración de posibles dudas y cuestiones en la elaboración del trabajo.
 - Proporcionar datos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Ambos tutores, tanto académico como de empresa, han cumplido todas las labores requeridas, han llevado a cabo un seguimiento y control de las tareas realizadas, han sugerido las mejoras necesarias para la elaboración del proyecto, han aportado nuevas ideas que incluir al mismo y han proporcionado toda la información disponible y necesaria para el desarrollo de la práctica.

Por tanto, la atención y actividad desarrollada durante el desarrollo de la práctica por parte de los tutores ha sido excelente.

3.5. Definiciones previas al estudio

A continuación indico algunas definiciones en cuanto a la normativa que rige los vertidos al medio marino a través de emisarios submarinos.

- *Emisario submarino:*

Según la Orden del 23 de julio de 1993 un emisario submarino es una conducción cerrada que transporta las aguas residuales procedentes de una estación de tratamiento (en este caso la salmuera de rechazo) hasta una zona de inyección en el mar. El tramo difusor será la porción del emisario en la que se disponen las bocas de descarga por las que el vertido es emitido al medio marino.

- *Autorización de vertido:*

Según el Decreto del 28 de julio de 1995 (BOE del 9 de agosto de 1995) sobre instalaciones de desalación de agua marina, debe tramitarse la autorización de vertido. El Ayuntamiento de Almería obtiene la autorización de vertido de aguas residuales industriales al dominio público marítimo terrestre y uso de la zona de servidumbre de protección, bajo limitaciones generales de control e inspección. Tal y como recoge la Ley 22 /1988, de 28 de julio, de Costas en su artículo 4, la zona de dominio público marítimo terrestre es el espacio comprendido entre la línea de bajamar máxima viva equinoccial y el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos o, cuando se supere, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Igualmente, en su artículo 23 queda definida la servidumbre de protección como la zona de 100 metros medida tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar. La extensión de esta zona podrá ser ampliada por la Administración del Estado, de acuerdo con la Comunidad Autónoma y el Ayuntamiento correspondiente, hasta un máximo de otros 100 metros, cuando sea necesario para asegurar la efectividad de la servidumbre, en atención a las peculiaridades del tramo de costa de que se trate. El vertido se realiza en zona de aguas normales, según la clasificación de

tipos de agua del litoral andaluz; son aguas litorales distintas a las de estuarios, bahías abiertas o aquellas en donde debido a sus condiciones de renovación y/o cantidad de sustancias contaminantes que reciben, se puedan ver menos afectadas por los procesos de vertidos. De hecho, según la información obtenida del Estudio de Impacto Ambiental previo al vertido, en el entorno de la conducción de desagüe se localizan varias áreas de *Posidonia oceánica*, que no están incluidas en ningún Espacio Natural Protegido por la Junta de Andalucía, ni están tampoco propuestos por la Junta como Lugar de Interés Comunitario (LIC). Sin embargo, todas las praderas de *Posidonia* del litoral español están consideradas Hábitat Prioritario de Interés Comunitario según Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CE) y su decreto de transposición Real Decreto 1997/1995. En el estudio previo a la autorización de vertido, se analizó el área de *Posidonia* más próxima a la conducción del emisario y se eligió la opción que evitaba la afección a dichas praderas.

- *Proceso de dilución:*

La dilución (S) se define como el cociente entre la concentración inicial de una sustancia del vertido y la concentración final. En la zona de inyección tendremos una concentración inicial C_0 y en la zona de mezcla una concentración final C_1 . Por tanto en la zona de mezcla la dilución será:

$$S_1 = \frac{C_0}{C_1}$$

La dilución del vertido también la podemos expresar como $S = \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a - \rho}$

Donde: ρ_a =densidad del medio receptor,

ρ_o =densidad del vertido,

ρ =densidad de la mezcla.

Aplicando el principio de conservación de la masa: la masa total o de mezcla dentro de la tubería (M_T) tiene que ser igual a la suma de la masa de agua de mar y a la masa del vertido:

$$M_T = M_a + M_o$$

Sabiendo que la densidad es $\rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho V$

Por tanto:

$$\rho(V_a + V_0) = \rho_a \rho_a + \rho_0 \rho_0 \quad (**)$$

Sabiendo que la dilución es el cociente entre la concentración inicial y la final:

$$S = \frac{c_0}{c_1}$$

$$S = \frac{M/V_0}{M/(V_0 + V_a)} = \frac{M(V_0 + V_a)}{MV_0} = \frac{V_0 + V_a}{V_0}$$

$$S = \frac{V_0 + V_a}{V_0}$$

Dividiendo la expresión (**) por V_0 y sumando y restando ρ_a :

$$\frac{\rho(V_0 + V_a)}{V_0} = \frac{\rho_a V_a}{V_0} + \frac{\rho_0 V_0}{V_0} + \rho_a - \rho_a; \quad \rho S = \rho_a \left(1 + \frac{V_a}{V_0}\right) + \rho_0 - \rho_a;$$

$$\rho S = \rho_a S + \rho_0 - \rho_a \rightarrow \rho S - \rho_a S = \rho_0 - \rho_a;$$

$$S(\rho - \rho_a) = \rho_0 - \rho_a; \quad S = \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho - \rho_a} - 1;$$

Por tanto:

$$S = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_a - \rho}$$

3.6. Métodos de cálculo de la dilución en la zona de inyección

Los datos proporcionados por la empresa me han permitido calcular las ecuaciones hidrodinámicas que rigen el proceso de dilución del vertido de salmuera. Mediante un pequeño programa con Matlab elaborado durante la formación universitaria he podido aplicar los datos reales y realizar algunos experimentos numéricos que ayudan a comprender los principales factores que determinan el proceso de dilución del vertido a lo largo del chorro.

En primer lugar he realizado los cálculos de la dilución en la zona de inyección del vertido, para tres supuestos experimentales diferentes: manteniendo constante la profundidad y el radio de la boca de descarga, pero variando la velocidad inicial del chorro y la inclinación del mismo; otro caso en el que se mantiene constante la velocidad inicial de salida del vertido, pero variando la profundidad de descarga; y un último caso en el que se mantiene constante el caudal de salida y la profundidad, pero varía la velocidad de salida (variando el

radio de las bocas de descarga). Todos estos cálculos se realizan mediante las fórmulas de Cederwall, tanto para el caso de un chorro vertical como de uno horizontal.

Por otra parte, en el siguiente apartado, realizo el dimensionamiento ambiental del tramo difusor del emisario con el objetivo de determinar la longitud del tramo difusor, la profundidad media del tramo difusor, el diámetro de la tubería principal, el número y diámetro de las bocas de descarga para los que con diferentes ángulos de corriente respecto al tramo difusor se obtiene la estabilidad de la capa de mezcla. Para los ángulos de corriente considerados, no se hará distinción entre la trayectoria Sudeste y Sudoeste, ya que en las simulaciones los resultados son simétricos en una u otra dirección. Al igual que en caso anterior, los cálculos se han hecho con un sencillo programa en Matlab en el que se definen las ecuaciones de Roberts y Brooks, según la normativa de 1993, que en este caso no provienen de un modelo matemático basado en leyes de mecánica de fluidos, si no que tienen un carácter experimental y se basa en el análisis dimensional.

Por tanto, a continuación presento un planteamiento teórico en el que expongo de forma sencilla las ecuaciones tomadas de la bibliografía (M.Bruno) y las hipótesis de partida.

3.6.1. Materiales y métodos

- **Principios de conservación e hipótesis de partida**

Las ecuaciones hidrodinámicas del chorro se basan en cuatro principios de conservación que debe cumplir la mezcla del vertido y agua del medio receptor en el interior del chorro desarrollado por la mezcla. Estos principios son: conservación del volumen de mezcla, conservación de la masa de la salmuera de rechazo, conservación del déficit de densidad y conservación de la cantidad de movimiento (Cederwall, 1968). Se tienen las siguientes asunciones:

a) El chorro se define como una superficie de revolución con secciones rectangulares y circulares.

b) Las velocidades en la sección transversal del chorro serán paralelas al eje del chorro y perpendiculares a la sección.

c) Las funciones de velocidad $u(s,r)$, concentración $C(s,r)$ y déficit de densidad $\Delta\rho(s,r)$ a lo largo de la dirección radial son de tipo gaussiano:

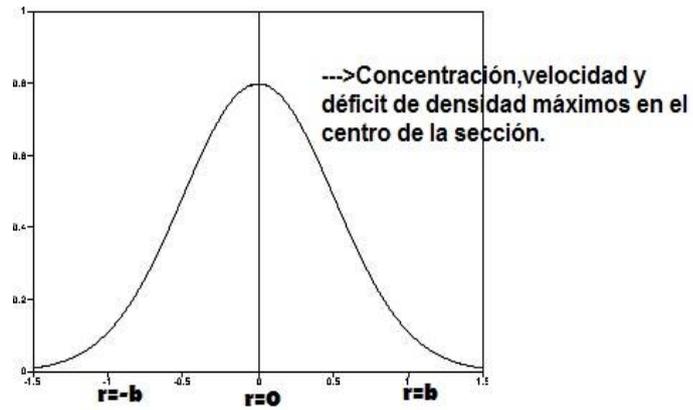


Figura 2. Campana de Gauss para la concentración, velocidad y déficit de densidad.

Siendo “r” el radio de la boca de descarga y “s” la sección transversal del chorro:

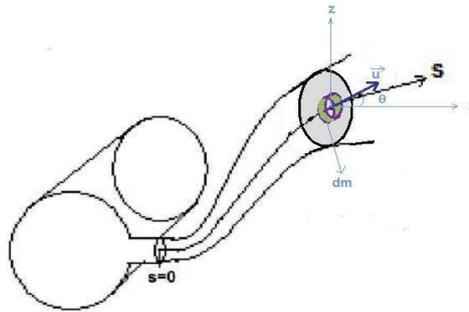


Figura 3. Secciones de la trayectoria del vertido.

d) Una vez que el vertido es inyectado, las fuerzas que actúan sobre la mezcla son el peso y el empuje, denominándose aceleración de flotación. Se producirá aceleración de flotación cuando el vertido se mezcle con el medio receptor y la densidad de la mezcla sea menos densa que el medio receptor.

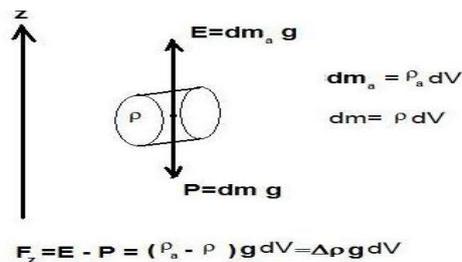


Figura 4. Fuerzas de peso y empuje.

e) En el interior del chorro, no existen ni fuentes ni sumideros de las sustancias que salen con el vertido.

f) El caudal del vertido no varía con el tiempo. Durante las horas consideradas de vertido el caudal será constante.

g) No existen corrientes ni turbulencia, es decir, el medio receptor está en reposo. La combinación de las hipótesis "f" y "g" establecen que las ecuaciones serán resueltas para el caso de chorro estacionario, una vez se ha alcanzado el equilibrio entre el caudal vertido por la boca de descarga y evacuado en la zona de mezcla.

h) La densidad del medio receptor es constante, no hay estratificación en la columna de agua, es decir, la columna de agua es homogénea.

Estas hipótesis son simplificaciones de la realidad para poder trabajar en un medio estacionario y tratar de forma sencilla la solución analítica.

➤ **Conservación del volumen de mezcla:**

Según este principio, el volumen de mezcla que sale por una sección transversal posterior del chorro debe igualarse con el volumen que entra por una sección anterior más el volumen de agua del medio receptor que entra al chorro.

Se define a continuación el caudal que atraviesa la sección transversal del chorro:

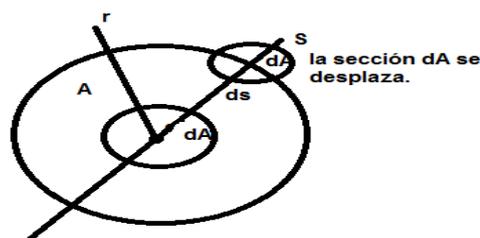


Figura 5. Sección transversal del vertido.

Es decir, el volumen en un tiempo "t" será el volumen en un instante de tiempo anterior más el volumen del medio receptor que entra al chorro " V_a ":

$$V_t = V_{t-1} + V_a$$

➤ **Conservación de la masa de la salmuera:**

Según este principio, la cantidad de masa de una sustancia del vertido que sale por una sección transversal posterior del chorro debe igualarse a la cantidad que entra por una sección anterior.

➤ **Conservación del déficit de densidad:**

Teniendo en cuenta la conservación del volumen de mezcla y la conservación de la masa de mezcla, la diferencia entre la densidad de la mezcla y la densidad del medio receptor será constante.

➤ **Conservación de la cantidad de movimiento de la mezcla:**

La 2ª Ley de Newton dice que la variación de la cantidad de movimiento que experimenta la mezcla debe igualarse al sumatorio de fuerzas que actúan sobre la masa de mezcla (peso y empuje).

➤ **Sistema de ecuaciones resultante:**

Por tanto, teniendo en cuenta todas las hipótesis de partida anteriores, el sistema de ecuaciones, resultante tomado de la bibliografía, es:

Conservación del volumen de mezcla:

$$\frac{d}{dS}(u_m b^2) = 2\alpha u_m b$$

Donde: u_m =velocidad media de salida a lo largo de la sección,

b =radio de la boca de descarga,

α =cte obtenida experimentalmente.

Conservación de la masa de la salmuera:

$$\frac{d}{dS}(C_m u_m b^2) = 0$$

Donde: C_m =concentración media a lo largo de la sección.

Conservación del déficit de densidad:

$$\frac{d(\Delta\rho_m u_m b^2)}{dS} = 0$$

Donde: $\Delta\rho_m$ =diferencia de densidad a lo largo de la sección.

Conservación de la cantidad de movimiento para ejes x y z respectivamente:

$$\frac{d}{ds}(u_m^2 b^2 \cos\theta) = 0,$$

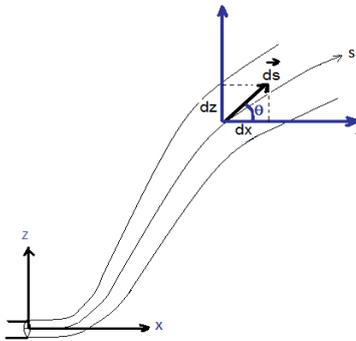
$$\frac{d}{ds}(u_m^2 b^2 \operatorname{sen}\theta) = \frac{g\lambda^2 b^2 \Delta\rho_m}{\rho_a},$$

Donde:

$\lambda=1$ =cte determinada experimentalmente,

ρ_a =densidad del medio receptor,

θ =ángulo eje del chorro con la horizontal.



$$\frac{dx}{ds} = \cos\theta$$

$$\frac{dz}{ds} = \operatorname{sen}\theta$$

Figura 6. Relaciones geométricas

- **Fórmulas de Cederwall**

Cederwall resolvió este sistema de ecuaciones para calcular la dilución inicial en función de las variables de entrada del modelo u_o , b_o y H (velocidad inicial de salida, radio de la boca de descarga y profundidad) para los casos de chorro vertical y horizontal (casi horizontal o inclinado).

- **Caso 1: chorro vertical**

$$S_m = 0,18 \frac{H}{d_o} \left(1 + 0,22 \left(\frac{H}{d_o F_0}\right)^2\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde: $d_0 = 2b_0$ (diámetro boca de descarga) y el N° de Froude $F_0 = \frac{u_0}{\sqrt{(\Delta\rho/\rho_0)gd_0}}$

El N° de Froude indica la fuerza de presión del agua del medio receptor sobre el vertido que sale de la boca de descarga, entre la aceleración de flotación o gravedad reducida $g' = \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} g$ (diferencia densidad medio receptor y vertido).

➤ **Caso 2: chorro horizontal**

$$S_m = 0,54F_0 \left(\frac{H}{d_0 F_0} \right)^{7/16}$$

3.6.2. Resultados y conclusiones

Se presentan los resultados obtenidos para los tres experimentos numéricos realizados con las fórmulas de Cederwall, a su vez cada uno de ellos diferenciado para el caso de un chorro vertical y otro horizontal. La concentración inicial se corresponde con el déficit de densidades entre la salmuera de rechazo y la densidad del agua de mar.

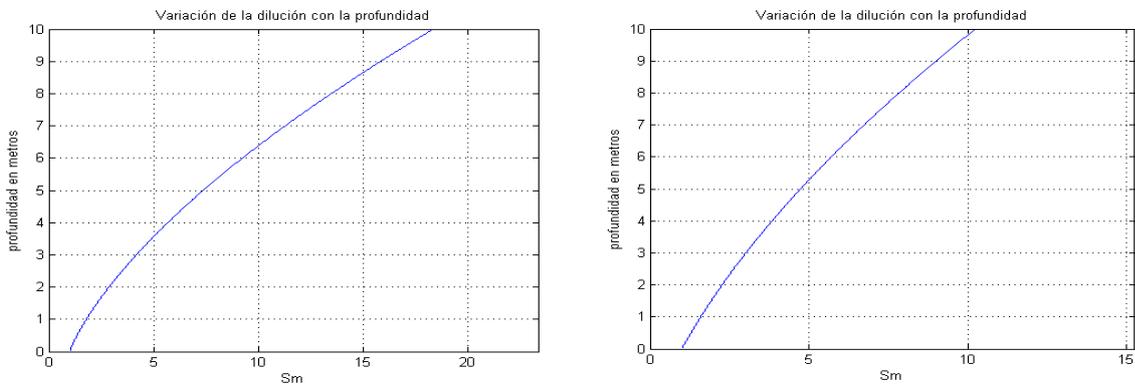
- 1) Para la boca de descarga de radio $b_0=0.6$ m, colocada a una profundidad $H=10$ m, he calculado los valores de dilución en superficie ($z=10$ m) para diferentes valores de velocidad de salida u_0 , dos de ellas correspondientes al caudal de vertido producido por 3 ó 5 bastidores en funcionamiento. Además, también lo calculo para una descarga del chorro vertical ($\theta=90^\circ$) y un chorro casi horizontal ($\theta=10^\circ$). Es decir, se mantiene constante la profundidad y el radio de la boca de descarga, variando la velocidad inicial del chorro y la inclinación del mismo.

a) $\theta=90^\circ$ Chorro vertical.

u_0 (velocidad inicial salida) m/s	S_m (dilución)
0.1	34.5
0.3 (3 bastidores)	18.4
0.4	15.8
0.53 (5 bastidores)	14
1	10

La dilución disminuye con el aumento de la velocidad, ya que el chorro llega antes a superficie. Es decir, se observa que a mayor velocidad menor es la dilución, debido a que el vertido tarda menos tiempo en llegar a la zona de mezcla. La diferencia entre funcionar con 3 ó 5 bastidores (aunque es pequeña) implica que con 3 se obtiene una mayor dilución que con 5 bastidores.

La diferencia en la variación de la dilución para $u_0 = 0.3 \text{ m/s}$ (3 bastidores en funcionamiento) y para $u_0 = 1 \text{ m/s}$ (más de 5) puede verse gráficamente:



Figuras 7 y 8. Variaciones de dilución para $u_0 = 0.3 \text{ m/s}$ y $u_0 = 1 \text{ m/s}$

b) $\theta=10^\circ$ Chorro casi horizontal.

u_0 (velocidad inicial salida) m/s	S_m (dilución)
0.1	34.7
0.3 (3 bastidores)	18.9
0.4	16.6
0.53 (5 bastidores)	15
1	12

En este caso las diluciones son algo mayores, ya que al ser un chorro prácticamente casi horizontal o inclinado tardará más tiempo en ascender a superficie, con lo cual el vertido llega más diluido.

2) A partir de los resultados obtenidos, sabiendo que normalmente hay en funcionamiento 5 bastidores, voy a calcular la dilución obtenida en el caso de que se mantenga constante el caudal correspondiente al vertido de los 5 bastidores ($Q = 0.6 \text{ m}^3/s$), pero variando la profundidad a la que se produce el vertido, es decir, si se prolongase la longitud del tramo difusor. Al igual que en el caso anterior, se calcula para el caso de un chorro vertical y otro horizontal.

a) $\theta=90^\circ$ Chorro vertical.

H(profundidad) m	S_m (dilución)
5	3.9
10	7
15	10.8
20	14.9
30	24

En este caso se observa cómo la dilución podría aumentar si el tramo difusor se encontrase a mayores profundidades. Recordemos que nuestro vertido se produce a una profundidad de 10 m, con lo cual se podría alcanzar mayor dilución aumentando la profundidad, ya que el vertido tardaría más tiempo en llegar a la zona de mezcla. Gráficamente puede observarse la gran dilución que se obtendría con una profundidad de 30 m:

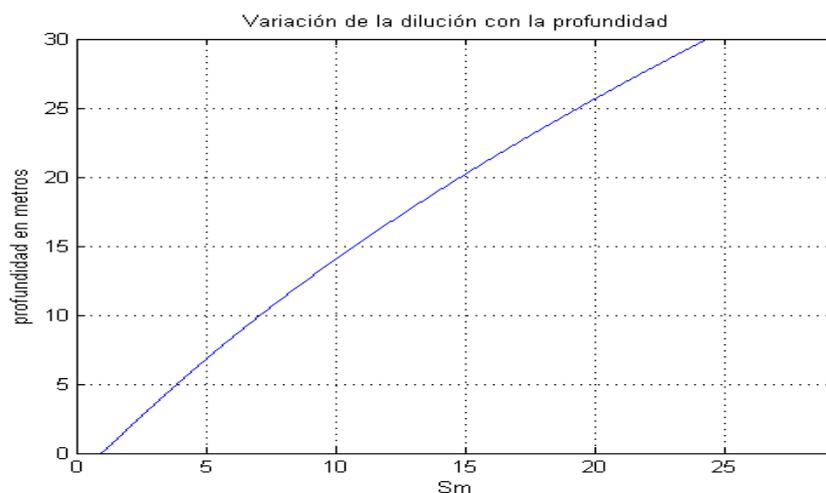


Figura 9. Variación de la dilución para 30 m y chorro vertical.

b) $\theta=10^\circ$ Chorro casi horizontal.

H(profundidad) m	S_m (dilución)
5	8.3
10	12.8
15	17.4
20	22.4
30	33.4

En este caso, vemos como las diluciones obtenidas también aumentan con mayores profundidades y además aumentan respecto al caso del chorro vertical. Vemos gráficamente como si la profundidad fuese de 30 m los valores de dilución serían bastante elevados:

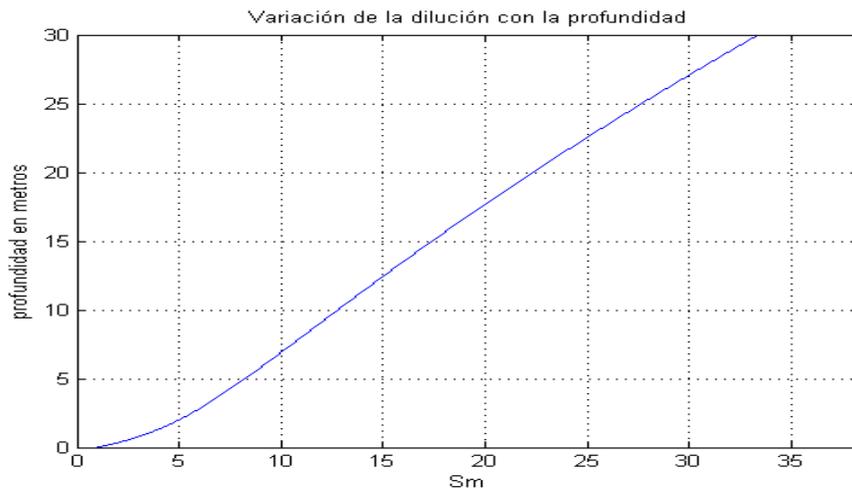


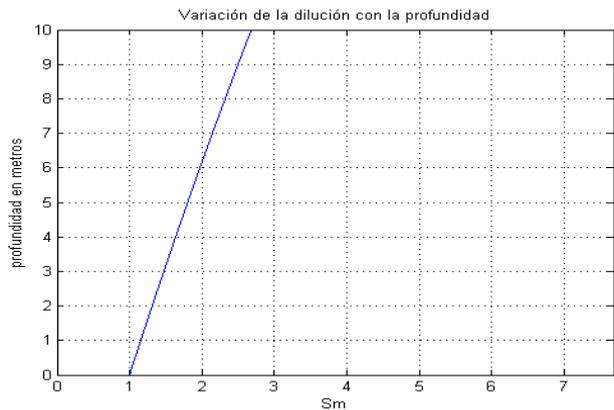
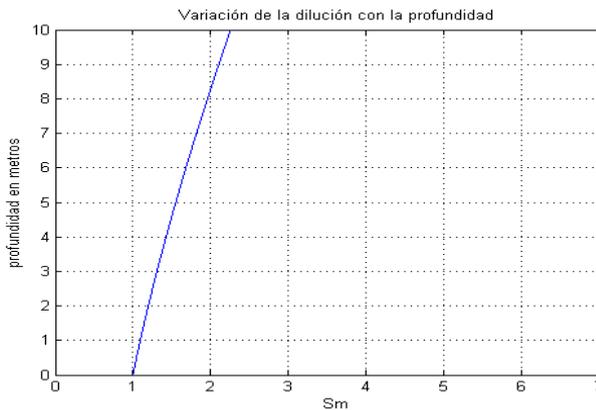
Figura 10. Variación de la dilución para 30 m y chorro horizontal.

3) En este tercer caso, voy a calcular las diluciones obtenidas para el caudal de salida correspondiente a 5 bastidores en funcionamiento ($Q = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$) y la profundidad de vertido de 10 m. Pero, en este caso voy a ir variando el radio de la boca de descarga, con lo cual irá variando la velocidad inicial de salida (recordemos que $Q = \pi u_m b^2$). Al igual que en los casos anteriores, se calcula para los casos de chorro vertical y horizontal.

a) $\theta=90^\circ$ Chorro vertical.

b_0 (radio)m	u_0 (velocidad salida) m/s	S_m (dilución)
1.2	1	2.2
1	1.5	2.3
0.8	2	2.5
0.7	2.5	2.6
0.6	3	2.7

Aunque prácticamente se mantengan constantes, se observa cómo se obtienen mayores diluciones con radios de boca de descarga menores, ya que así se puede controlar la velocidad inicial de salida sin necesidad de variar el caudal de descarga. Gráficamente, vemos la diferencia en la dilución obtenida entre una boca de descarga de 1.2 m de radio a una de 0.6 m:



Figuras 11 y 12. Variaciones de dilución para $b_0=1.2$ m y $b_0=0.6$ m (chorro vertical)

b) $\theta=10^\circ$ Chorro casi horizontal

b_0 (radio)m	u_0 (velocidad salida) m/s	S_m (dilución)
1.2	1	2.6
1	1.5	3
0.8	2	3.4
0.7	2.5	3.9
0.6	3	4.3

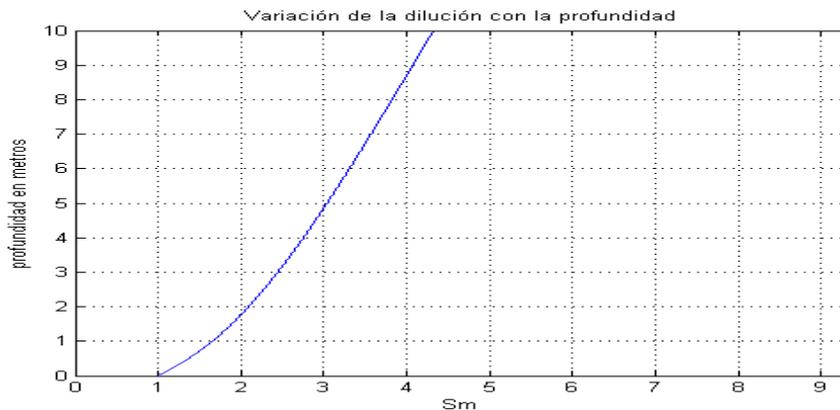


Figura 13. Variación de la dilución para $b_0=0.6\text{m}$ y chorro horizontal.

En este último caso se obtiene el doble de dilución respecto al caso anterior para el chorro vertical.

En definitiva, para los tres casos experimentales considerados, las mejores condiciones de dilución se dan para los casos de vertido del chorro casi horizontal o inclinado, con menores velocidades de salida, mayores profundidades de vertido y radios de boca de descarga menores. Con lo cual, aunque en el caso de la Planta Desaladora de Almería el vertido se realiza mediante chorro vertical y normalmente las velocidades de salida corresponden a 5 bastidores en funcionamiento, para evitar que el vertido tienda a acumularse y dispersarse en el fondo, en épocas en las que se prevea funcionar con más de 5 bastidores o en aquellos meses en los que las praderas de *Posidonia* puedan verse más afectadas, las condiciones de dilución pueden mejorarse realizando vertidos con predilución. Es decir, puede extraerse agua de mar para mezclar y diluir la salmuera de rechazo antes de su vertido al mar, reduciéndose así el exceso de salinidad del vertido.

3.6.3. Discusión

La desalación de agua en Almería como fuente de recurso hídrico alternativo y como solución a la sobreexplotación de acuíferos afectados por intrusión marina, ha crecido notablemente en los últimos años (Pulido et al). La salmuera de rechazo de la Planta Desaladora de Almería se vierte directamente al medio marino, por lo que se hace necesario considerar la gestión del vertido como una parte integrada del proceso de desalación por el posible impacto en el medio. El Estudio de Impacto Ambiental requerido en el momento de la construcción de la Planta, reveló la presencia de praderas de fanerógamas marinas (*Posidonia oceánica*) cercanas al punto de vertido. La importancia de

éstas se debe a que son imprescindibles para mantener el equilibrio ecológico del medio marino, ya que depuran y oxigenan las aguas costeras y albergan gran diversidad de peces e invertebrados marinos bentónicos. Así, el Estudio de Impacto llevado a cabo por la empresa pudo tener en cuenta el posible impacto del vertido de salmuera cercano a las comunidades biológicas sumergidas y elegir la alternativa que no implicase impacto ambiental.

Sin embargo, es sabida la escasa tolerancia de *Posidonia oceánica* a los aumentos de salinidad. Según estudios realizados, los incrementos de salinidad a partir de 39,1 PSU pueden producir reducción en el crecimiento y caída prematura de las hojas (Palomar y Losada, 2009). Por ello, en aquellas situaciones en las que se prevea funcionar con más bastidores de los habituales o épocas en las que las praderas se vean más afectadas por el exceso de salinidad (mes de junio), pueden tomarse algunas medidas preventivas como la indicada anteriormente de diluir la salmuera previamente al vertido.

3.7. Dimensionamiento ambiental del tramo difusor

3.7.1. Materiales y métodos

En este apartado compruebo, mediante el dimensionamiento ambiental del tramo difusor, la estabilidad de la capa de mezcla. Con los datos proporcionados de la longitud del tramo difusor, profundidad media, diámetro medio de la tubería principal, número de bocas de descarga y diámetro de las mismas he comprobado si la capa de mezcla tiene estabilidad neutra para tres casos de ángulos de corriente respecto al tramo difusor. Por tanto, en este caso si se tienen en cuenta las corrientes y la distancia entre las bocas de descarga, con las fórmulas de Roberts y Brooks (Roberts, 1977). Estas fórmulas se basan en el análisis dimensional y en experimentos de laboratorio. Según la normativa de 1993 existen diversos casos para bocas de descarga muy próximas y muy separadas. En este caso, nos encontramos ante un medio receptor no estratificado y bocas de descarga muy separadas, ya que la distancia entre ellas (4.88 m) supera el 20% de la profundidad de la zona. Por tanto, al tratarse de un medio no estratificado, lo que interesa es que la estabilidad de la capa de mezcla se mantenga neutra y que con las corrientes en el medio receptor, la turbulencia favorezca la mezcla del vertido y no quede atrapado en la pycnoclina. Hay tres casos posibles de estratificación:

- *Estratificación estable (A)*: tendremos los paquetes de masa menos densos en zonas más superficiales, con lo cual el sistema se estratifica, ya que los paquetes de masa más densos se hunden.
- *Estratificación inestable (B)*: Si por el contrario los paquetes de masa más densos se encuentran en zonas superficiales, estaremos en el caso de una estratificación inestable, ya que al no encontrarse el sistema en equilibrio, los paquetes de masa tenderán finalmente a hundirse, favoreciendo los procesos de mezcla.
- *Estratificación neutra (C)*: no hay variación de densidad en la columna de agua, no se produce estratificación.

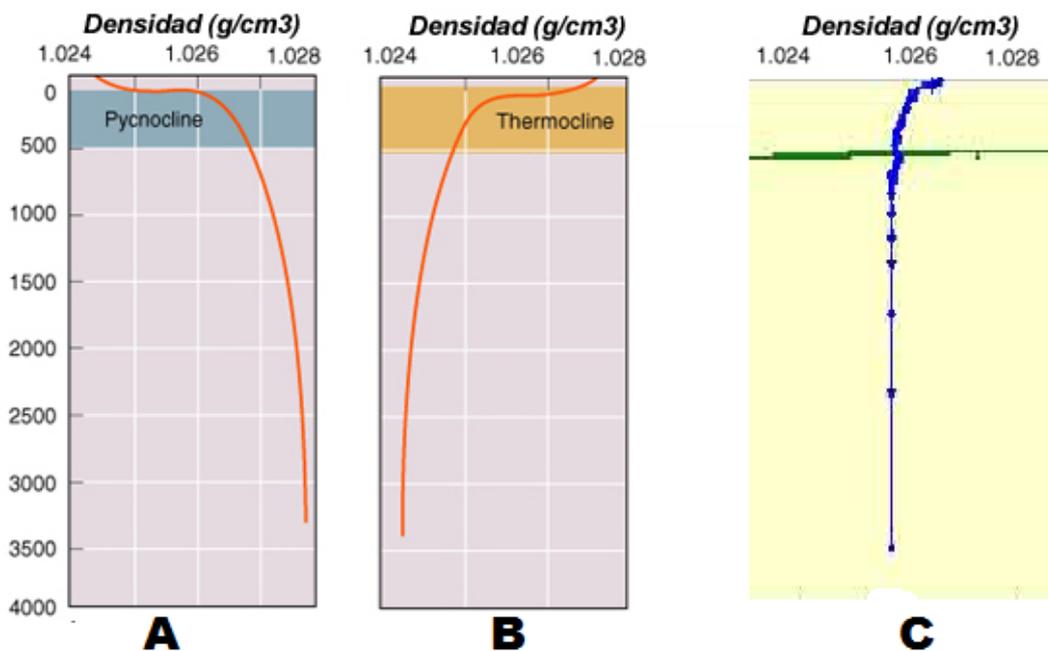


Figura 14. Perfiles estratificados.

Por tanto, mediante el programa Matlab he determinado bajo qué condiciones se consigue mantener una estabilidad neutra de la capa de mezcla, es decir, que la mezcla sea homogénea y no se produzca estratificación.

Como indicaba anteriormente, las fórmulas de Roberts y Brooks se basan en el análisis dimensional y experimental, en el que consideran las siguientes variables:

$$(\rho_a - \rho)g = f(u_a, \rho_0, \frac{\Delta\rho}{\rho_0}gq, L_T, H, \theta)$$

Donde:

ρ_a = Densidad del medio receptor

ρ = Densidad de la mezcla en los chorros

ρ_0 = Densidad del vertido en la boca de descarga

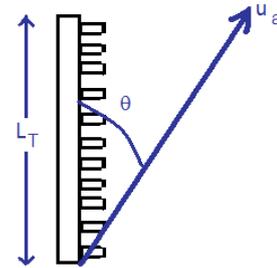
u_a = Velocidad de la corriente

θ = Ángulo de la corriente con el tramo difusor (adimensional).

$\Delta\rho = (\rho_a - \rho)$; Déficit de densidad en el chorro

L_T = Longitud de tramo difusor

$q = \frac{Q}{L_T}$; Caudal total de vertido, Q, por unidad de longitud de difusor



Partiendo de:

- Anchura inicial de la pluma, $B = \text{máx}[L_T \sin \theta ; 0,93L_T F^{-1/3}]$
- Espesor inicial de la pluma, $e = SQ_{\text{máx}}/Bu_a$
- Caudal unitario, $Q_b = Q_{\text{máx}}/n$

Se obtiene una dilución (S):

$$S = 0,089 \left(g'^{1/3} \right) (H - e)^{5/3} Q_b^{-2/3}$$

Como e depende de S y a su vez, S depende de e, se resuelve por iteraciones sucesivas. Se establece un espesor inicial de la pluma de vertido $e=0$ y nos quedamos con el valor máximo de la anchura inicial de la pluma.

La estabilidad de la capa de mezcla se comprueba con la siguiente expresión(*), debe cumplirse que sea menor de 0.54 para que estemos en el caso de estratificación neutra:

$$\frac{[u_0^2 B + u_a^2 H]}{(u_0 B g)^{2/3} H} < 0.54 (*)$$

3.7.2. Resultados y conclusiones

A continuación presento los resultados obtenidos para tres casos de ángulos de corriente respecto al tramo difusor. No se tiene en cuenta si la trayectoria es sudeste, sudoeste, hacia el norte o hacia el sur, ya que los resultados son simétricos en una u otra dirección. Se considera la profundidad de la zona 10 m, la longitud del tramo difusor 26 m, 5 bocas de descarga, con un diámetro medio de la tubería principal de 1.2 m, valores fijos del caudal mínimo de vertido de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ y máximo $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y un módulo de velocidad de corriente de 0.4 m/s. Así, para los diferentes ángulos de corriente el programa devuelve el resultado de la expresión anterior (*) en la que se comprueba si se cumple o no la estratificación neutra.

H=profundidad	10 m
Θ=ángulo corriente	$0^\circ, 45^\circ$ y 90°
Lt=longitud del tramo difusor	26 m
n=nº bocas de descarga	5

a) $\Theta=0^\circ$.

Para este caso se cumple la condición de la expresión (*) <0.54 , por lo que la estratificación de la capa de mezcla es neutra.

b) $\Theta=45^\circ$.

Para una corriente de 45° respecto al tramo difusor no se cumple la condición, por lo que la estratificación en la capa de mezcla no sería neutra. Se podría conseguir si se reduce la velocidad inicial de salida por las bocas de descarga, ya que se ha comprobado con el programa que reduciendo el número de bocas de descarga sí se cumple la condición, lo cual equivale a reducir la velocidad de salida del vertido.

c) $\Theta=90^\circ$

Para este caso de una corriente de 90° respecto al tramo difusor sí se cumple la condición, por lo que la capa de mezcla estaría bajo estratificación neutra.

Por lo tanto, el hecho de mantener una estratificación neutra, estable o inestable, dependerá de las condiciones del medio, de la corriente predominante y del sistema en cuestión. Sin embargo, se podrá controlar bajo qué condiciones se produce el vertido, para determinar si es necesario disminuir la velocidad de salida con el objetivo de favorecer los procesos de mezcla.

3.7.3. Discusión

El régimen hidrodinámico de la zona fue estudiado por la empresa AZTI, en otros proyectos medioambientales en emplazamientos cercanos, para la instalación de piscifactorías (Estudio de Impacto Ambiental, Conaima). De los datos recogidos en estos estudios se desprende que las direcciones de corrientes predominantes están directamente influenciadas por la topografía y la batimetría, predominando estos factores sobre patrones circulatorios de mayor escala del Mar de Alborán (Agua Atlántica Modificada, Agua Levantina Intermedia y Agua Profunda del Mediterráneo Occidental). AZTI fondeó un correntímetro doppler del tipo ANDERAA RCM-7 el invierno de 1999 y un correntímetro ANDERAA RCM-9 el verano de 2001. Los registros de los correntímetros indicaron corrientes predominantes del sudoeste y sudeste, siendo las situaciones intermedias de cambio de corriente las direcciones norte y sur. Por lo tanto, he considerado únicamente las direcciones de corriente respecto al tramo difusor que fueron caracterizadas en dicho estudio.

El hecho de mantener una capa de mezcla homogénea o una estabilidad neutra, dependerá de condiciones del medio receptor, por lo que es necesario conocer bajo qué condiciones se realiza el vertido en épocas de verano y primavera, estaciones propias de perfiles estratificados en las que se puede establecer una pycnoclina.

Según los resultados obtenidos, el caso más desfavorable es una corriente de 45° respecto al tramo difusor, es decir una trayectoria sudoeste o sudeste que no favorece los procesos de mezcla. Por tanto, como medida correctora se podrían disminuir las velocidades de salida del caudal de vertido, en aquellas épocas en las que *Posidonia oceánica* sea más exigente en tolerancia a la salinidad, como el mes de junio principalmente. Así, ante la preocupación social ante las posibles afecciones al medio debido al incremento de salinidad en el entorno del emisario, puede garantizarse la protección del mismo.

4. CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

4.1. Conocimientos sobre la empresa

La estructura organizativa de la empresa cuenta con un equipo formado por Encarnación García como Jefa de Planta, operadores, técnicos de mantenimiento, técnicos analistas de laboratorio y administración.

La Planta desaladora tiene capacidad para abastecer con $50.000 m^3$ al día de agua potable a la ciudad de Almería, solucionado así los problemas de suministro y restricciones de agua en época estival. Además, no sólo se palia el déficit en el abastecimiento de agua, sino que se mejora la calidad del agua considerablemente. De hecho, uno de los problemas que afectan a esta zona es la intrusión marina, proceso por el cual el agua de mar penetra en los acuíferos costeros como consecuencia de la sobreexplotación. Así, gracias a la desalación, la elevada conductividad de estos pozos se reduce, obteniendo un agua producto de gran calidad. Por tanto, el proceso de desalación garantiza no solo el abastecimiento, sino también la máxima calidad del agua. A continuación expongo, de forma resumida, las diferentes etapas que contempla la Planta desaladora, que he tenido la oportunidad de aprender durante el periodo de prácticas:

- *Captación del agua.* La captación de agua de mar se realiza a través de pozos costeros afectados por intrusión salina, con lo cual se aprovecha un agua que resultaría inservible sin tratar. Se cuenta con 15 sondeos de una profundidad media de 100 m, a lo largo de 800 m situados a una distancia al mar entre 30 y 100 m. Doce de estos pozos suministran el 100% del agua a tratar, quedando los otros tres en reserva. Al ser una captación cerrada, el agua es limpia como consecuencia de la acción filtrante del terreno, la actividad orgánica o biológica es mínima y las temperaturas son estables. La posible presencia de concentraciones elevadas de hierro, manganeso, boro o cualquier elemento que pueda resultar tóxico en elevadas concentraciones o dañino para las membranas, se controla periódicamente. El agua procedente de los sondeos se descarga en un colector general que la traslada hasta la cántara de agua bruta y se impulsa hasta las turbobombas.
- *Pretratamiento.* Aunque la toma de agua de mar a través de los pozos costeros permite obtener un agua de buena calidad, para adecuar el agua a las condiciones de funcionamiento más apropiadas para las

membranas y evitar el deterioro prematuro de los equipos, es preciso someterla a una serie de pretratamientos físico-químicos, que contemplan tanto la desinfección con hipoclorito sódico y regulación del pH con ácido sulfúrico. El hipoclorito sódico es un oxidante que se utiliza para eliminar elementos y compuestos reductores que puedan estar presentes en el agua, como sustancias orgánicas, hierro ferroso, manganeso o sulfuro de hidrógeno. El ácido sulfúrico se emplea para evitar la precipitación del carbonato cálcico, ya que la disminución del pH aumenta la solubilidad de esta sal.

- *Filtración.* La filtración sobre arena constituye la primera etapa de la filtración de partículas sólidas contenidas en el agua de mar. Para ello la Planta cuenta con 10 filtros cerrados de presión construidos en acero de carbono.



Foto 1. Filtros de arena.

- *Filtración por cartucho.* Constituye una filtración de seguridad inmediatamente anteriores a las membranas, para asegurar la protección de las membranas ante la posibilidad de que el agua arrastre macropartículas en suspensión.



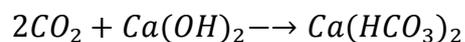
Foto 2. Filtros de cartucho.

- *Desalación.* La ósmosis inversa es el proceso utilizado por la Planta para desalar el agua, siendo el más utilizado por su relación coste/eficacia, ya que requiere menor gasto energético. El fenómeno de la ósmosis ocurre cuando a través de una membrana semipermeable, el agua fluye desde la solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina. Es un fenómeno que tiene lugar en diversos procesos naturales, como en la entrada de agua a través de la membrana celular de los seres vivos. Este sistema intentará alcanzar el equilibrio, es decir, intentará alcanzar la misma concentración a ambos lados de la membrana. La fuerza que provoca este movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones. La ósmosis inversa consiste en invertir este proceso aplicando una presión superior a la presión osmótica correspondiente, en el lado de la solución más concentrada. Con esto se consigue que la dirección del flujo del agua vaya del lado de la solución más concentrada a la solución más diluida. La Planta cuenta con 7 bastidores de ósmosis inversa, cada uno alineado con una turbobomba. Normalmente se funciona con 5 bastidores y a una conversión del 50%. El agua que se obtiene pasa a la cámara de mezcla para acometer un postratamiento, ya que es necesaria una dosificación de dióxido de carbono para una remineralización del agua.



Foto 3. Bastidores de ósmosis inversa.

- *Postratamiento.* Debido a la baja dureza y alcalinidad, es necesario añadir dióxido de carbono e hidróxido cálcico para llevar a cabo una remineralización química del agua. La reacción que tiene lugar es:



El hidróxido de calcio es un sólido que no se puede dosificar directamente, por lo que se prepara una solución, llamada “lechada de cal”. Esta agua se mezcla con el agua a remineralizar en una cámara a la que se añade dióxido de carbono para facilitar la reacción. Este proceso se controla con un analizador en continuo de pH.

- *Agua producto.* Tras pasar los rigurosos controles que se producen a lo largo de todo el proceso, tales como análisis de muestras internos y externos, el agua ya está lista para consumo, garantizando la máxima calidad del agua producto mediante controles específicos. El agua producto se bombea a un depósito de Pipa de la Planta y desde ahí se envía a un depósito de Pipa Alta, desde donde el siguiente gestor la distribuye a la ciudad a través de las redes de abastecimiento.

En el siguiente esquema de funcionamiento de la Planta queda reflejado todo el proceso de tratamiento del agua, desde la captación de los pozos hasta la obtención del agua producto:

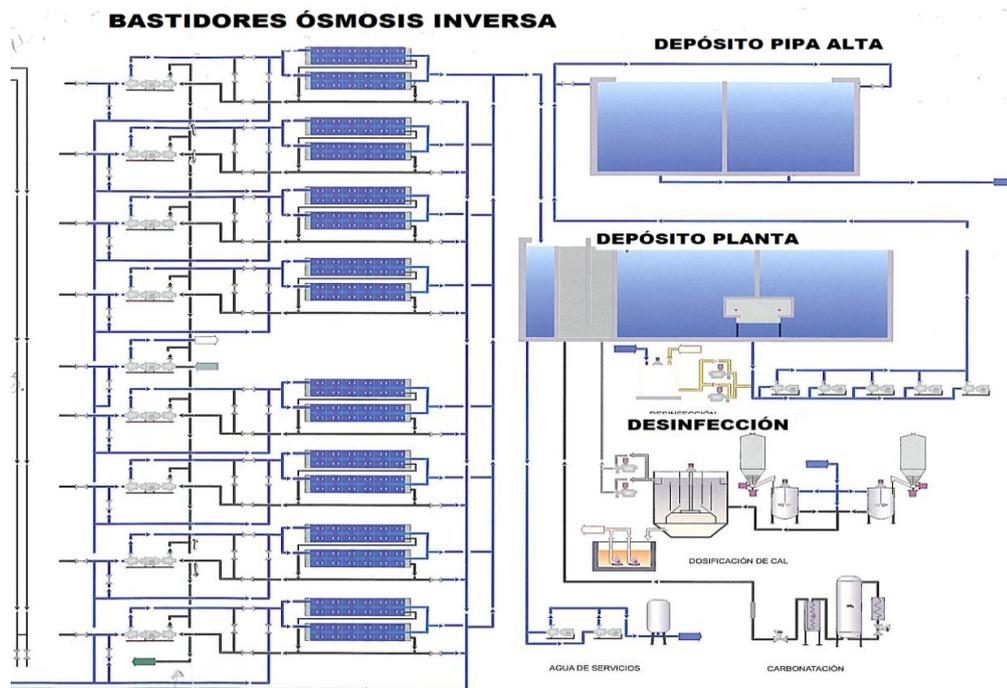
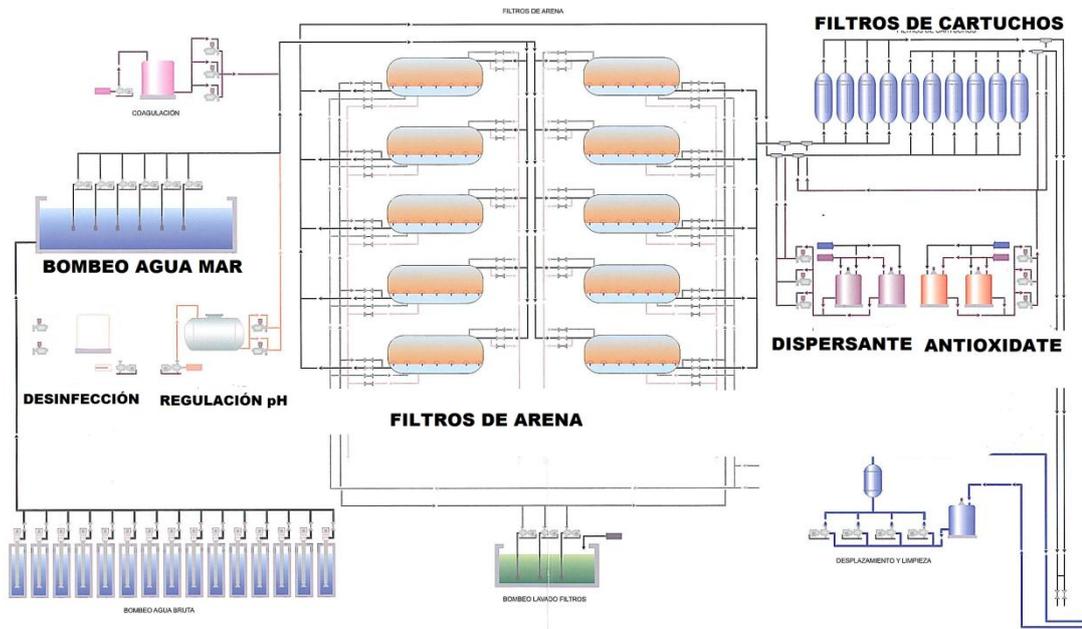


Figura 15. Esquema de funcionamiento de la Planta.

4.2. Resumen de conocimientos y habilidades adquiridos durante el trabajo en la empresa

Durante el periodo de formación práctico en la Planta, he podido aplicar los conocimientos adquiridos tanto en la formación de la Licenciatura como del Máster, por tanto ha sido una experiencia de aprendizaje global e integral. Como primera experiencia como alumna en prácticas, he tenido la oportunidad de adquirir habilidades profesionales que facilitan una futura inserción en el mundo laboral. Además de aplicar conocimientos ya adquiridos en periodos de formación académica, he obtenido una excelente formación práctica por parte de la empresa en cuanto a técnicas de desalación, las diferentes etapas en el tratamiento del agua y los análisis de control de calidad exigidos por la normativa vigente.

5. CONCLUSIONES, VALORACIÓN Y SUGERENCIAS

5.1. Cumplimiento de objetivos académicos de la práctica

El principal objetivo de la práctica del Máster ha sido conocer, evaluar, analizar y resolver los problemas asociados con el agua y sus implicaciones medioambientales en regiones áridas y semiáridas. La formación recibida en el transcurso del Máster me ha permitido conocer y comprender los datos hidrogeológicos y las características de la captación del agua, aplicar las técnicas de tratamiento de datos adecuadas y redactar un informe de carácter científico-técnico. Además, las prácticas de empresa me han proporcionado nuevos conocimientos en el ámbito medio ambiental y han dado la oportunidad de aplicar todos los conocimientos adquiridos durante la formación.

En conclusión, la formación práctica del Máster me ha proporcionado una visión global e integral en cuanto a la gestión de recursos hídricos, de la que cabe destacar la capacidad para evaluar y analizar proyectos técnicos relacionados con el agua y la sostenibilidad.

5.2. Cumplimiento de objetivos laborales de la práctica

Durante el desarrollo de la práctica he recibido una formación que me ha permitido adquirir experiencia y habilidades profesionales en el ámbito del sector de tratamiento de aguas y el medio ambiente.

Además del proyecto realizado, la empresa me ha proporcionado una excelente formación en cuanto a las técnicas de desalación y el funcionamiento de la Planta. Así, he conocido la realidad laboral de las empresas específicas

en el tratamiento del agua, no sólo en el entorno almeriense sino también en lo relativo a la estructura y actividad de la empresa en otros países de operación.

5.3. Sugerencias y valoración del estudiante

En definitiva, considero que ha sido una experiencia muy positiva como aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la formación académica y como aprendizaje en la realidad laboral del sector. Por tanto, gracias a la formación recibida en el Máster, la formación práctica recibida por la empresa y la labor de revisión y seguimiento del trabajo por parte de los tutores, la formación práctica recibida ha sido excelente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Pulido Bosch, A., Vallejos Izquierdo, A. y Pulido-Leboeuf, P. (2002). Los acuíferos costeros y las desaladoras.
- Bruno Mejías, M. Apuntes Proyectos de Emisarios Submarinos, Inéditos. Universidad de Cádiz.
- Cederwall, K. (1968). Hydraulics of marine water disposal. Chalmers Inst. Of Tech. (Goteborg, Sweden). Report N° 42.
- Roberts, P. J. W. (1977). Dispersion of buoyant waste water discharged from outfall diffusers of finite length. . Ph. Thesis. California Inst. Of Tech., Pasadena (California).
- Conaima (2004). Informe Técnico Inédito. Estudio de Impacto Ambiental y propuesta de medidas correctoras del vertido de la Desaladora de Almería.

ANEXO: DIARIO DE TAREAS REALIZADAS

FECHA	CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS
1/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Funcionamiento de la planta y de las diferentes etapas de tratamiento. ➤ Normas de seguridad en la Planta y laboratorio. ➤ Normativa de análisis de control, completos, salmuera y organolépticos. ➤ Informes diarios de producción.
2/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toma de muestras de control. ➤ Manuales de equipos.
3/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de muestras de agua en laboratorio.
4/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de muestras. ➤ Funcionamiento equipos.
5/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de muestras.
8/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de muestras y funcionamiento de equipos.
9/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de muestras y funcionamiento de equipos. ➤ Autorización de vertido detallada.
10/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conocimiento del Plan de vigilancia y control de la Consejería de Medio Ambiente.
11/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conocimiento de análisis externos.
15/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprendizaje de toma de muestras.
17/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Funcionamiento detallado de la Planta.
25/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisión de las tareas realizadas por parte de los tutores.
29/04/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toma de muestras de control.
7/05/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Funcionamiento detallado de la Planta.
8/05/2013	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toma de muestras de control en depósito de Pipa Alta.

Además de las tareas realizadas diariamente, he asistido a numerosas charlas y visitas de explicación del funcionamiento de la Planta. El tiempo restante lo he dedicado a redactar el informe del proyecto, con la correspondiente supervisión por parte de los tutores.