



Tubería de PEAD en fase lanzamiento y flotación.



Vertido de rechazo de desaladora.



Tubería en fase de lastrado.

## Conducciones submarinas para desaladoras

Por: **Eloy Pita**, epita@increa.eu Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, director general de Ingeniería Creativa Pita, s.l. (Increa). Calle Buganvilla, 6 Portal 1, 1º A, 28036 Madrid, España. Fono: +34913785266. [www.increa.eu](http://www.increa.eu)

En cualquier instalación desaladora de agua de mar, es necesario disponer de un sistema de toma de agua y un sistema de vertido del rechazo del proceso de desalación (fundamentalmente, salmuera). Habitualmente, tanto la toma como

el vertido se realizan mediante conducciones submarinas. En el presente artículo se realizará una breve descripción de la configuración de estas conducciones, destacando los puntos principales de su diseño, centrado en las tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE por su sigla en

inglés), que son las más empleadas en la actualidad.

### MATERIALES PARA LAS TUBERÍAS

Históricamente se han empleado diferentes materiales para la ejecución de conducciones submarinas: hormigón, poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), acero, polie-

tileno de alta densidad (PEAD), fundición, etc.

El material más empleado en la actualidad es el PEAD, puesto que presenta indudables ventajas en el proceso constructivo de emisarios submarinos y sus propiedades son muy adecuadas para su utilización en entornos agresivos como el mar.

Dos cualidades fundamentales del PEAD son que no se corroe, al ser material plástico y que se trata de un material muy flexible y con el cual se pueden realizar fácilmente juntas que resistan esfuerzos longitudinales. Gracias a estas dos propiedades, la instalación de tuberías en el fondo del mar es muy sencilla y económica. Debemos tener en cuenta que el coste de una tube-



ría no es solo función del coste del material en sí, sino que también ha de sumarse el coste de instalación, el cual, en el mar, es muy elevado.

#### DETERMINACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS CONDUCCIONES

El cálculo del diámetro necesario para las conducciones se realiza a partir del caudal de toma y de vertido, empleando las herramientas de cálculo hidráulico habituales, dado que éste no difiere del de otras conducciones. En función del diámetro se producen unas pérdidas de carga hidráulica y una velocidad del fluido que deberán ser admisibles. Por ello, para calcular el diámetro de la conducción de toma, además del caudal, se tendrá en cuenta la cota mínima admisible en la estación de bombeo (según el sistema de impulsión que se elija para llevar agua hasta la planta). Para el vertido, se deberá tener en cuenta la altura piezométrica disponible en la arqueta de vertido.

#### TOMA DE AGUA DE MAR

La toma de agua puede ser mediante pozos, una toma directa en la costa o una toma abierta en el fondo del mar.

Las tomas abiertas en el fondo del mar, las más empleadas por captar agua de mayor calidad, suelen disponer de una estructura de capta-

ción, singular, que está situada en un lugar conveniente, a suficiente profundidad del mar. El agua entra a las conducciones submarinas, que la transportan hasta tierra, donde una estación de bombeo las conduce a los distintos sistemas de filtración de la desaladora.

#### VERTIDO DE RECHAZO

Durante la desalación se produce un subproducto, que es el agua hipersalina (la salmuera). Se suele aprovechar este vertido para incorporar otros productos (de mucho menor caudal) derivados de la desalación. Aunque a veces se vierte directamente en la costa, lo más habitual es que dicho vertido se realice a cierta profundidad, a través de un tramo difusor. De este modo se logra una buena dilución, que resulta imprescindible para evitar que las especies marinas (principalmente las que habitan en el fondo del mar) se vean afectadas por la excesiva salinidad del medio en el que se encuentran.

#### PROTECCIÓN DE LA TUBERÍA, EL LASTRADO Y EL PERFIL LONGITUDINAL

Las conducciones submarinas deben ser estables frente al oleaje y corrientes, a cualquier profundidad, a lo largo de toda su vida útil. Para evitar movimientos del tubo, el

peso sumergido del emisario (conjunto tubería más lastres) debe ser suficientemente grande teniendo en cuenta el periodo en el que va a estar desprotegido y las posibles acciones incidentes. En cualquier caso, en las tuberías de PEAD siempre deben añadirse lastres, dado que la densidad del PEAD es menor que la del agua de mar, por lo que la tubería flotaría si no se colocaran éstos.

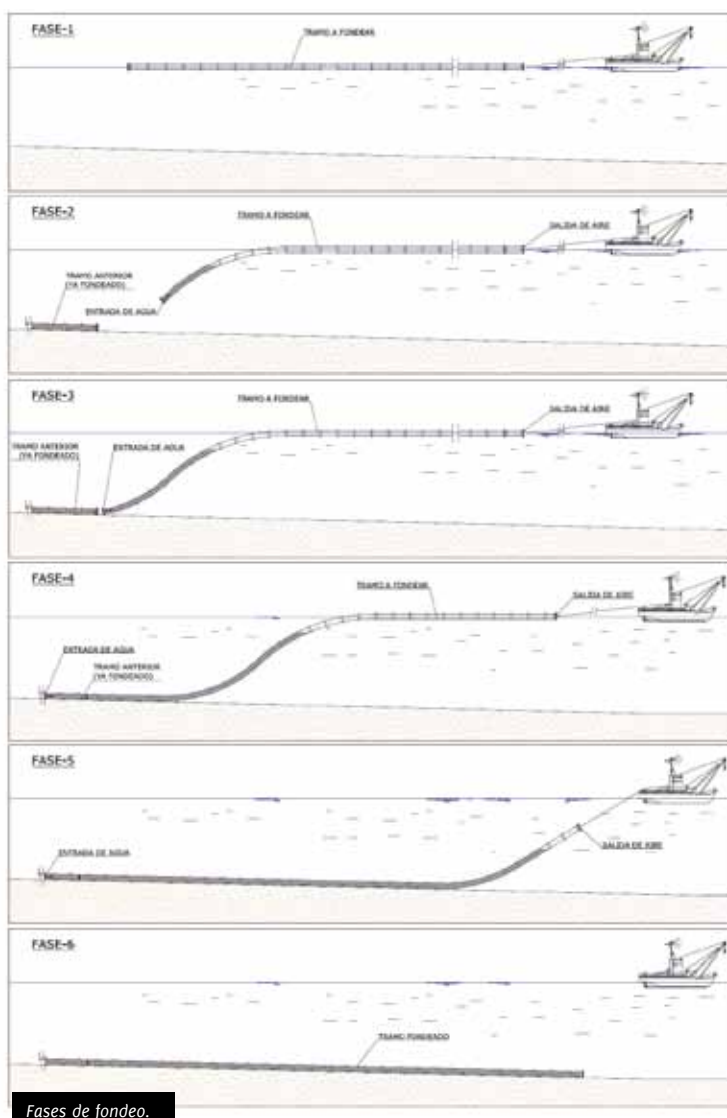
A la hora de definir un perfil longitudinal, normalmente se busca reducir la altura de tierras sobre la clave para que los esfuerzos ovalizantes sean más pequeños y que el volumen a dragar disminuya. En la zona de rompiente, sin embargo, deberá analizarse en detalle la evolución del perfil de playa cuando llegan los temporales, para asegurar que la zanja no sea socavada

y la tubería no quede expuesta en ningún caso.

Además, se recomienda que la tubería sea recubierta con un material (escollera, "mantas" artificiales de hormigón o bituminosas, hormigón, etc) para que la proteja frente a cualquier acción accidental (artes de pesca, cables, caída de objetos, etc) que pudiera incidir contra ella.

#### DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TUBERÍA

Un emisario submarino debe ser diseñado teniendo en cuenta no solo la fase de servicio, sino también el proceso de construcción del mismo ya que, durante éste, se producen esfuerzos que condicionan el material, el tipo de solución, las características mecánicas de la tubería, etc.



Fases de fondeo.

En servicio, la tubería deberá ser capaz de soportar las presiones interiores y exteriores, así como las cargas debidas al relleno. La abolladura puede condicionar las dimensiones de su pared.

Las condiciones de fondeo suelen exigir timbrajes muy superiores a los de servicio.

#### BOCAS DE HOMBRE

Para la inspección de la tubería, es habitual colocar bocas de hombre cada 200 m (aproximadamente), que permitan el acceso de equipos e, incluso, de buzos (en el caso de tuberías de gran diámetro). Conviene señalarlas para su fácil localización.

#### BALIZAMIENTO Y ANTI-ARRASTREROS

Para que los barcos no puedan afectar a las partes más sensibles de un emisario (tramo difusor, torre de toma, tramos colocados en el fondo sin protección), normalmente se señalizan con un balizamiento adecuado y se colocan elementos antiarrastreros en el fondo, de forma que se reduzca (o elimine) el riesgo de que las artes de pesca puedan afectar a las conducciones.

#### LA CONSTRUCCIÓN: EL FONDEO

La principal singularidad de la tubería de PEAD es su fondeo, que se hace en grandes tramos, lo cual reduce la necesidad de ejecutar juntas en el mar. El fondeo de tuberías de PEAD por el método de fondeo controlado por inundación progresiva tiene innumerables ventajas, dado que se reducen enormemente las operaciones submarinas, que siempre son caras, peligrosas, difíciles y largas.

Para tuberías de diámetros pequeños (1600 mm e inferiores), se ha recomendado históricamente, el fondeo controlado por inundación progresiva de la tubería. Este sistema constructivo consiste en la fabricación de tramos de tubería en tierra (en una zona que puede estar alejada de la ubicación definitiva del tubo), su traslado flotando hasta destino y su hundimiento controlado, mediante el llenado con agua del interior de la tubería, lo cual da lugar al descenso hacia el fondo del mar de la parte inundada, generándose la característica "S".



Fondeo de tuberías sin apoyo de flotadores.

Para evitar tensiones excesivas en el tubo durante el fondeo es necesario controlar la curvatura producida, a lo largo de todo el proceso.

En los últimos años, las necesidades de empleo de tuberías de mayores diámetros ha empujado a la necesidad de diseñar métodos alternativos. Por ello, se propone el fondeo controlado mediante el uso de flotadores. De este modo, el fondeo se hace en dos etapas: primero se inunda la tubería, que queda colgando de los flotadores y, posteriormente, se inundan los flotadores.

Este método hace innecesario aplicar un tiro longitudinal durante el fondeo, lo que permite simplificar enormemente la instalación, especialmente la realización de las juntas en el fondo del mar.

Para poder beneficiarse de las importantes ventajas de estos métodos es preciso, previamente, tener un conocimiento claro del comportamiento estructural de la tubería puesto que, de lo contrario, pueden producirse problemas por la flexión longitudinal de la misma.

Solo empresas altamente especializadas pueden dar este servicio.



Estructura de toma