

Anejo IX. Proceso constructivo

Proyecto básico de emisario submarino para la ampliación de la
desaladora Al-Gubrah (Omán)



ÍNDICE

1. Introducción.....	3
2. Montaje del emisario en dique seco	4
2.1. Suministro y almacenaje	5
2.2. Fabricación del tubo de polietileno.....	5
2.3. Soldadura de los tubos de polietileno.....	5
2.4. Acople entre la tubería soldada y los lastres.....	8
2.5. Lanzamiento de la tubería	10
3. Fondeo del emisario en el lecho marino	12
3.1. Transporte de la tubería	12
3.2. Proceso de colocación de la tubería.....	12
3.2.1. Uso de flotadores de apoyo.....	14
4. Dragado de la zanja.....	17
4.1. Elección de la draga	18
4.2. Dragas de pala	19
4.3. Procedimiento de ejecución	20
4.4. Material de relleno	22
5. Operaciones posteriores.....	23



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: tabla comparativa de dragas.....	18
Tabla 2: distribución de volúmenes a dragar, Volumen total	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Emplazamiento zona de montaje	4
Figura 2: Unión por soldadura a tope	5
Figura 3: Pasos del procedimiento de unión por soldadura	7
Figura 4: Unión de complemento portabridas.....	8
Figura 5: Accesorio de reducción excéntrica	8
Figura 6: Bases de lastres dispuestos para montaje	8
Figura 7: Procedimiento de montaje de tubería sobre lastres.....	8
Figura 8: Detalle de junta entre lastres y montaje de ánodos	9
Figura 9: Patines.....	11
Figura 10: curvatura desarrollada por la tubería en el hundimiento	13
Figura 11: Procedimiento de hundimiento mediante bollas (1).....	14
Figura 12: Procedimiento de hundimiento mediante bollas (2).....	15
Figura 13: Procedimiento de hundimiento mediante bollas (3).....	15
Figura 14: Draga de pala sobre pontona.....	20
Figura 15: sección de zanja.....	21



1. Introducción

El objeto del presente anejo es realizar una descripción cronológica del procedimiento constructivo previsto para la ejecución del emisario submarino de Al-Gubrah (Omán). A continuación se incluye una descripción de los medios necesarios para su ejecución. En el anejo siguiente se propondrán una programación de los trabajos y un plazo de ejecución.

La tubería a emplear será fabricada de PEAD tipo PE-100 PN-6.3, asegurando de este modo un comportamiento fiable durante la puesta en obra y manteniendo unas características hidráulicas adecuadas.

Además, se estudiará todo lo relacionado con la fabricación de la conducción de desagüe al mar, la construcción de la tubería, el transporte de la hasta las inmediaciones del emplazamiento final, su fondeo y su introducción en la zanja. Se incluyen una serie de planos que facilitan la comprensión de los procesos.



2. Montaje del emisario en dique seco

La longitud total de la tubería es de 2.600 metros aproximadamente, esta longitud es demasiado extensa para manipularla adecuadamente, lo que hace inviable montarla en un solo tramo. La solución adoptada es dividir el montaje en tramos, de longitud más reducida, aptos para su manipulación.

La viabilidad de este proceso, está basada en el emplazamiento donde se montará la tubería, ya que la longitud de los tramos requiere una zona de montaje cuyas dimensiones deben ser suficientes para abarcar tanto el montaje del emisario, como el almacenamiento de los elementos constitutivos del mismo. La zona de montaje debe ubicarse en la costa, ya que debe incluir una rampa de lanzamiento por la que se introducirá la tubería al mar una vez montada. Más adelante se explicara este proceso.

Para este proyecto, debido a la urbanización de las parcelas colindantes, se asume que el emplazamiento de montaje está ubicado a 4 km al oeste de la desaladora. Respecto a la parcela mencionada, se trata de la parcela donde se realizó el montaje del emisario submarino saliente de la estación depuradora de la playa de Al-Azaybah, por lo que se asume que esta acondicionada para los trabajos a realizar. Consiste en una parcela con acceso por carretera (para suministro de materiales) y acceso al mar.

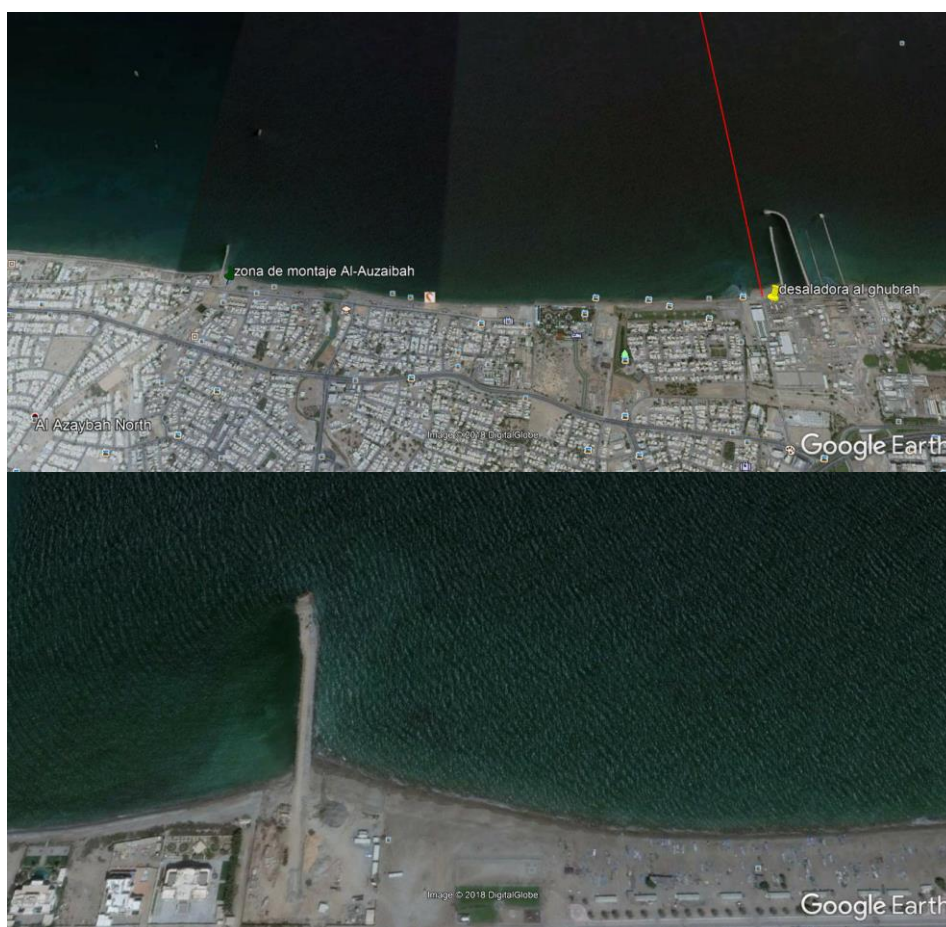


Figura 1: Emplazamiento zona de montaje



El montaje del emisario está dividido en cuatro fases: el suministro del material, la unión de la tubería, el acople entre la tubería soldada y los lastres y, por último, el lanzamiento de la tubería al mar.

2.1. Suministro y almacenaje

Las tuberías, fabricadas con el diámetro especificado por una empresa externa, son suministradas en tramos de 18 metros. El transporte se realiza por carretera en vehículos que cumplan la norma especificada, UNE 53394:2006 IN.

Respecto al almacenaje, de acuerdo con lo especificado en la norma mencionada, Los tubos de polietileno de color negro, pueden ser almacenados y protegidos bajo techo o al descubierto, ya que están debidamente protegidos de la acción solar por la adición de negro de carbono.

2.2. Fabricación del tubo de polietileno

La longitud total del emisario, una vez colocado en su emplazamiento final, es de 2600 metros. Está dividida en tramos de 288 metros, que serán unidos entre sí por medios mecánicos, mediante bridas y pernos, una vez fondeados. Cada tramo de 288 metros está formado por tubos de 18 metros de longitud unidos entre sí por soldadura. Cada tramo de 288 metros incorporará una valona, en cada extremo, que permite el anclaje entre tramos mediante bridas.

2.3. Soldadura de los tubos de polietileno

Se basa en la fusión por temperatura de las superficies a unir en las tuberías, existen varios tipos de soldadura, aunque en este caso se empleará la soldadura a tope. Esta técnica consiste en calentar los extremos de los tubos a unir con una placa calefactora que esté a una temperatura de $225\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (para PE 100) y a continuación comunicar una determinada presión previamente tabulada.

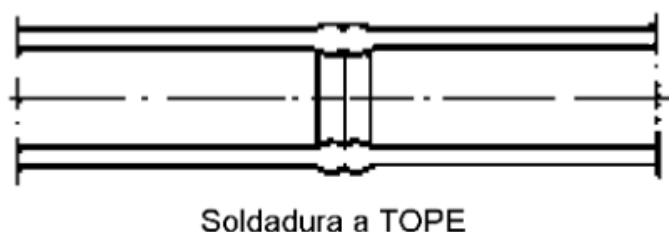


Figura 2: Unión por soldadura a tope



La soldadura se llevará a cabo en el exterior, emplazando la máquina de forma que la tubería resultante quede en la dirección de lanzamiento.

La soldadura se realiza según al procedimiento operatorio especificado en la norma:

- Se colocan y alinean en la máquina los tubos.
- Se refrentan los tubos hasta que se limpie totalmente la superficie transversal de los tubos.
- Se retira la viruta sin tocar las superficies a unir, una vez retirado el refrentador.
- Se controla el paralelismo, confrontando los extremos de los tubos a soldar con una tolerancia máxima de 1 mm para DN > 400.
- Se limpian las caras de la placa calefactora con isopropanol (alcohol).
- Se pone la placa entre los tubos a soldar.
- Se presionan los extremos de los tubos a la placa, a la presión adecuada, hasta que se forme un cordón inicial uniforme y de altura adecuada.
- Se retira la placa y se unen rápidamente los extremos de los tubos en un tiempo máximo limitado.
- Se aumenta progresivamente la presión desde cero a la presión requerida durante un tiempo especificado.
- Se deja enfriar la soldadura en esta posición
- Pasado el tiempo de enfriamiento se aflojan las abrazaderas y se retira la máquina.

En la siguiente figura se muestran los pasos más importantes de la unión de tramos por soldadura.

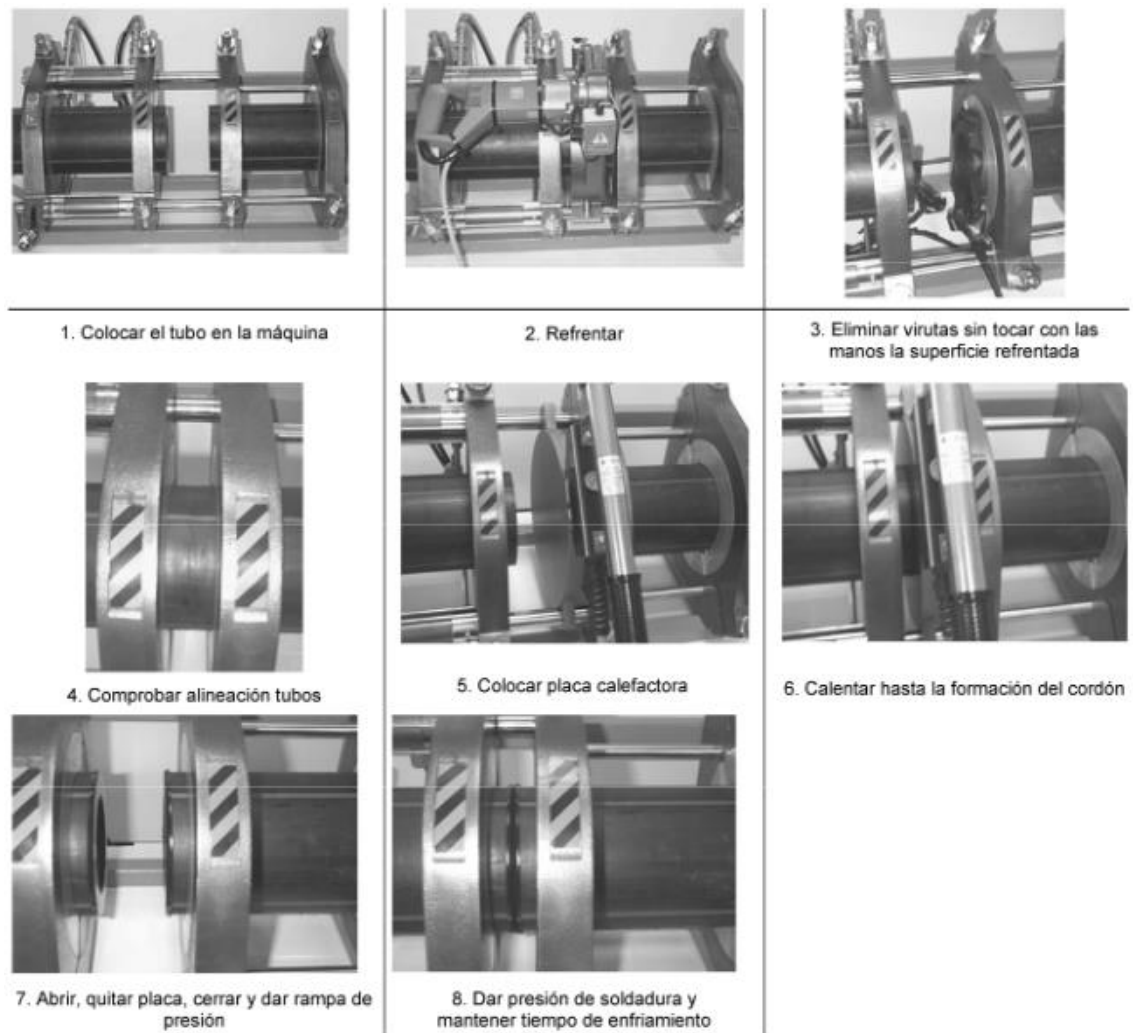


Figura 3: Pasos del procedimiento de unión por soldadura

Este proceso se repite 17 veces por cada tramo de 288 metros. Para las uniones entre tuberías se realizan 15 soldaduras, las dos soldaduras restantes se realizan para unir las valonas a los extremos de las tuberías.

La valona es un accesorio, que tiene el mismo diámetro interior pero que por la parte exterior presenta un diámetro más grande, de forma que sirven de tope para las bridas de sujeción. Es importante tener en consideración colocar la brida de anclaje entre tramos antes de soldar la valona. El elemento se muestra en la siguiente figura.

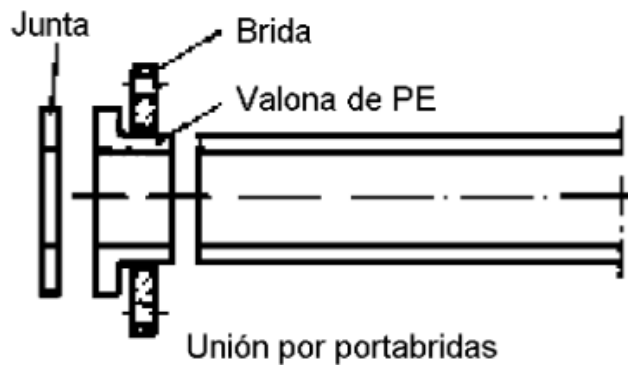


Figura 4: Unión de complemento portabridas

El tramo difusor, a diferencia de la tubería principal, requiere más soldaduras, dos por cada difusor así como por las reducciones de sección. Cada difusor forma parte de un accesorio formado por un anillo de tubería de las dimensiones de la tubería principal al que está unido por soldadura la tubería a la que se fijará el difusor. Debido a esto, los dos primeros diámetros del tramo difusor presentarán 22 soldaduras, dos por cada difusor y una por cada extremo, en los cuales se encuentra las reducciones de sección. Estas reducciones de sección se realizan por unión de un accesorio similar al mostrado en la figura.

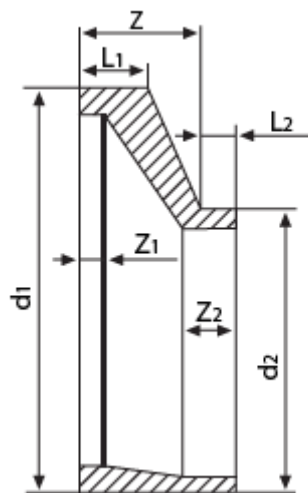


Figura 5: Accesorio de reducción excéntrica

2.4. Acople entre la tubería soldada y los lastres

La zona para el montaje del emisario, tal y como se ha mencionado anteriormente, debe incluir una rampa de lanzamiento para introducir el emisario construido al mar. Para hacer esto posible, se habilitan railes en la rampa sobre los que bajaran los muertos con un accesorio rodante en la base.



Paralelamente al proceso de soldadura de las tuberías, se preparan las bases de los lastres para la colocación de la tubería sobre estos una vez terminada la tubería. Esta preparación consiste en, básicamente, colocar las bases de los lastres sobre los accesorios rodantes convenientemente alineados entre ellos y con una separación de 5.5 metros, en este caso. La base de los lastres tendrá una banda de caucho en una pequeña hendidura en la superficie curva sobre la que se coloca la tubería para evitar deslizamientos de ésta durante el proceso de hundimiento.



Figura 6: Bases de lastres dispuestos para montaje

Una vez finalizadas las soldaduras del tramo en construcción se procede a la colocación de la tubería sobre las bases de los lastres. Este proceso consiste en elevar la tubería mediante cinchas, distribuidas a lo largo de la tubería, enganchadas a los medios mecánicos necesarios, ya sean grúas o retroexcavadoras. Después se procede a colocarla sobre las base de los lastres previamente dispuestos. Es importante tener en consideración la inclinación de los difusores en el momento de realizar este procedimiento.



Figura 7:Procedimiento de montaje de tubería sobre lastres

Posteriormente a la colocación de la tubería sobre los lastres, mediante maquinaria de elevación, se procede a colocar la corona de los mismos. La corona de los lastres tiene en su punto más alto dos perforaciones roscadas en los que se colocan dos garfios desde los que se eleva el elemento y así poder manipularlo. Previamente al apoyo de los lastres sobre la tubería es importante la colocación de la cinta de caucho antideslizante.

Tras la colocación de cada corona de lastres, se realiza la unión entre la corona y la base mediante medios mecánicos. En cada lateral, tal y como se muestra en los planos, cada



lastre dispone de una solapa con una perforación vertical, donde se introduce el perno de anclaje de los lastres. Se trata de un perno con dos extremos roscados donde se roscan las tuercas pertinentes tras colocar las arandelas. Sobre la tuerca superior de la solapa de la corona, se colocará el ánodo de sacrificio (uno por cada lado) en la rosca saliente del perno.



Figura 8: Detalle de junta entre lastres y montaje de ánodos.

Después de la unión de todos los lastres, se prepara la tubería para el lanzamiento de esta. Esta preparación consiste en realizar las operaciones pertinentes para garantizar la estanqueidad de la tubería, y posibilitar la flotabilidad necesaria para el transporte. Para ello en cada extremo de la tubería se coloca una tapa ciega anclada mediante las bridas de unión entre tramos. Se colocan dos tapas, la tapa de tiro, que incluye un gancho desde donde se estirara para su lanzamiento y transporte. Esta tapa incluye una válvula, ya que en el proceso de hundimiento es por donde saldrá el aire de la tubería. La otra tapa es la tapa desde donde se empujará la tubería en el lanzamiento. Para el proceso de hundimiento incluye una válvula para controlar la entrada de agua a la misma. En los tramos difusores, para el transporte y hundimiento controlado, también se coloca una tapa ciega en cada difusor.

2.5. Lanzamiento de la tubería

Se trata de un proceso mediante el que se traslada el tubo montado, en dique seco, al mar. Como se ha explicado previamente, las bases de los lastres sobre las que se coloca la tubería, están situados sobre patines. Los patines son accesorios rodantes que comprenden una pequeña superficie plana con un pequeño eje en la parte inferior para unos ruedines. En la parte frontal y trasera tienen soldadas una barra para engancharlos mediante cuerdas a los lastres, y poder recuperarlos después, ya que los lastres están simplemente apoyados sobre los patines.



Figura 9: Patines

Estos patines ofrecen una fricción suficiente como para no deslizarse por la pendiente. Por este motivo es necesario la presencia de una acción externa que empuje la tubería hasta el mar.

Para este proceso existen varios sistemas, uno de ellos es emplear una barca de arrastre que, cree la acción de empuje estirando la tubería desde el mar. En este caso, se empleará otro sistema. El sistema empleado consiste en la habilitación de una polea sumergida anclada a un muerto, colocada a una distancia de aproximadamente 300 metros de la rampa de lanzamiento. De forma que empleando un cable, se enganchan los extremos, uno a la tapa de tiro, y otro a una máquina rodante, de potencia suficiente, que tire del cable creando un impulso en la tubería hacia el mar. Mediante este método, las fuerzas de impulsión se ejercen desde tierra, por lo que se puede controlar más fácilmente.

Empleando este método, se crean esfuerzos axiales de tracción a lo largo de la tubería que podrían comprometer su integridad. Para evitar esta situación, además se ejercerá una presión sobre el extremo opuesto mediante una máquina rodante, que empuje la tubería en dirección al mar. De esta forma se generará un esfuerzo de compresión axial aliviando el de tracción, mientras ofrece un impulso adicional a la tubería en el proceso de lanzamiento.

Una vez que la totalidad de la tubería se encuentra flotando en el mar, se ancla desde sus extremos (uno a la polea y otro a tierra), hasta que las condiciones marítimas permitan su transporte al emplazamiento de la desaladora, liberando la zona de montaje permitiendo así, la construcción y montaje del siguiente tramo. Para este proceso, la planta desaladora de Al-Ghubrah, cuenta con la ventaja de que está ubicada al lado de un dique, de construcción previa a la desaladora, que ofrece abrigo a la zona marítima en cuestión. Por este motivo, en caso de haber un tramo de tubería montado, obstruyendo el lanzamiento de uno nuevo, existe la opción de ubicarlo a flote al abrigo del mencionado dique.



3. Fondeo del emisario en el lecho marino

El fondeo del emisario es un proceso que requiere tiempo, ya que son elementos de gran peso y tamaño que deben manipularse con cuidado para no comprometer su integridad. Por este motivo, este proceso debe realizarse cuando las condiciones marítimas lo permitan. Debe haber una ventana de tiempo suficiente para realizar el transporte y fondeo de la tubería sin inconvenientes.

3.1. Transporte de la tubería

El primer paso de este proceso es el transporte del emisario recientemente lanzado desde la zona de montaje. Cuando las previsiones del estado del mar permitan su fondeo, el tramo de tubería será remolcado desde la zona de montaje hasta la traza del emisario mediante un cable. Si fuera necesario, una embarcación auxiliar tirará desde el otro extremo para controlar más fácilmente los movimientos del tramo y aumentar el radio de curvatura generado, disminuyendo los esfuerzos.

Al realizar el transporte y el fondeo en tramos independientes, la tubería del tramo transportado estará llena de aire y con tapas que garantizan la estanqueidad de la tubería. De forma que la tubería flota.

3.2. Proceso de colocación de la tubería

El fondeo de la tubería lastrada, y el tramo difusor se analiza en los siguientes puntos, realizándolo con el método de “fondeo progresivo por inundación controlada”, que permitirá transportar la tubería llena de aire hasta las cercanías de su posición definitiva.

Este proceso consiste en fondear el tramo con lastres, apoyándolo en el fondo de la zanja. Para el fondeo de cada tramo, se deberá hacer descender, el tramo remolcado, hasta el fondo para que quede en su posición definitiva y unida al anterior. Dado que el tramo anterior ya ha sido colocado en su emplazamiento definitivo, la unión de los tramos se realizará en el fondo.

Este fondeo se realiza mediante la introducción progresiva de agua por un extremo, a través de las válvulas de agua previstas en la brida ciega. Será necesario que un buzo acompañe a la cabeza del emisario de forma que controle la entrada de agua para que la velocidad de hundimiento sea moderada. Al comienzo es positivo aplicar una carga vertical descendente para ayudar en este proceso de cabeceo.

Posteriormente, en cuanto el agua va entrando en la tubería, se puede retirar la carga. En el extremo contrario al cabeceo, la válvula de aire de la brida ciega permanece cerrada, permanentemente conectada a una bomba que puede introducir aire en la tubería para mantener la presión interior, logrando de este modo dos objetivos:



- Mantener una posición de equilibrio durante todo el tiempo que dure el proceso de unión (es decir, que la tubería no sufra movimientos y permanezca fija durante todo ese periodo).
- evitar la abolladura de la tubería.

En un momento dado, el tubo toca el fondo y su extremo va inclinándose hasta que descansa cierta longitud sobre el lecho marino, mientras que el otro extremo flotará sobre la superficie, generándose una forma S. Como se muestra en la siguiente figura

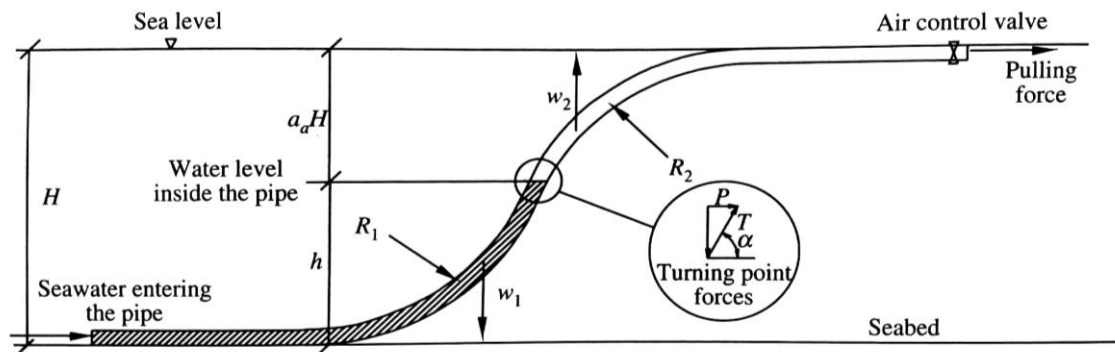


Figura 10: curvatura desarrollada por la tubería en el hundimiento

En este instante se procede a la unión del tramo hundido con el tramo anteriormente fondeado, abriéndose la brida ciega, acercando el extremo y ejecutando la brida de unión de los mismos. Este procedimiento se realiza manualmente por los buzos, con apoyo de la grúa. En caso de que la alta profundidad no permita el descanso del tramo de tubería en el lecho marino, la unión se realizaría levantando el extremo de la tubería ya sumergida ofreciendo una inclinación que permita la unión entre tramos.

La válvula de salida del aire en el extremo emergido debe estar cerrada para mantener fija la posición del nuevo tramo asegurando que la presión interior es mayor o igual que la exterior. Podría ser necesario introducir aire antes de abrir la brida ciega para que, al hacerlo, se mantenga la posición de la tubería (es decir, evitando de este modo que se produzca entrada o salida de agua).

Una vez que ya se han llevado los dos extremos unidos a la posición buscada, se prosigue la inundación del emisario, manteniendo completamente abierta la válvula de agua de la brida ciega y entreabriendo la válvula de aire, con lo que éste va hundiéndose y apoyando en el fondo. Todas estas maniobras deberán ser suaves y suficientemente lentas para que no se generen grandes diferencias de presiones entre el interior y exterior de la tubería.

Dada la gran flexibilidad del material utilizado, se deberá ejecutar con precauciones extremas, tal y como se ha señalado, controlando la posibilidad de abolladura del tubo por causa de la sobrepresión exterior. Se debe tener en cuenta el radio mínimo que puede soportar la tubería.



Respecto a la maquinaria empleada para llevar a cabo este procedimiento, se colocará a la altura de la unión entre tramos, situada en la superficie, una pontona con el material de apoyo necesario. En la pontona se encontrará una grúa móvil sobre cadenas que servirá de apoyo en el proceso de fondeo. La pontona también incluirá el equipo necesario para la operación del equipo de buzos.

Para reducir los esfuerzos generados se aplicará en todo momento un tiro longitudinal en el extremo emergido de la tubería, mediante el barco de arrastre, que aumentaría el radio de curvatura y atenuaría las tensiones producidas.

3.2.1. Uso de flotadores de apoyo

En el caso de que este proceso de fondeo descrito deba realizarse para profundidades elevadas, existe el riesgo de que el radio de curvatura sobrepase límites críticos. Para evitar esta situación, se pueden emplear flotadores de apoyo. Gracias a ello, la tubería sufre tensiones más bajas, facilitando las operaciones marinas, eliminando riesgos y posibilitando el manejo más sencillo de la misma. Este procedimiento haría innecesario el empleo de tiro longitudinal, con lo que se facilita el proceso, especialmente la unión en el fondo.

Este método consiste en la inundación completa de la tubería, mientras ésta se mantiene colgada de unos flotadores, mediante cables. De esta forma, la tubería queda suspendida de estos flotadores, a unos 3 o 5 m de la superficie.

Para alcanzar esta posición, la tubería adquirirá la forma de S, con la virtud de que su geometría será muy suave, ya que su parte más baja estará a muy poca distancia de la superficie.

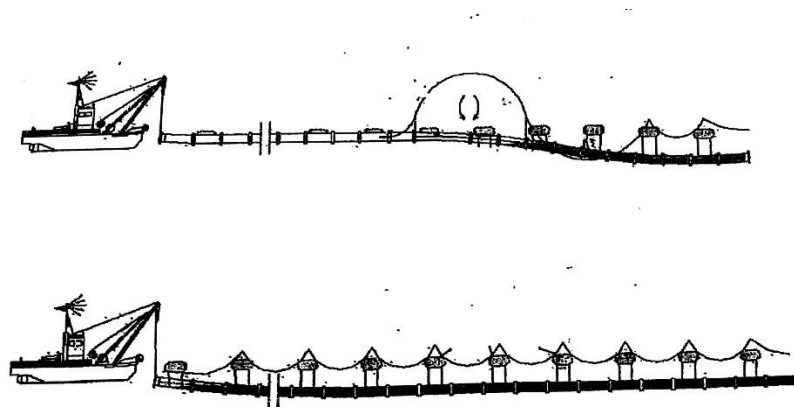


Figura 11: Procedimiento de hundimiento mediante bombas (1)

Una vez que la tubería está en posición horizontal y recta, colgando de los flotadores, se procede a la inundación progresiva de estos flotadores, empezando por un extremo. Cuando un flotador es inundado, la tubería “cabecea” hacia el fondo, tirando del resto de flotadores hacia abajo. Gracias a la poca flotabilidad remanente de estos flotadores, se genera una “S” es muy suave. Al emplearse flotadores neumáticos, hay que controlar



el volumen del aire de su interior, ya que, al hundirse e incrementarse, consiguientemente, la presión exterior, su volumen se reduce.

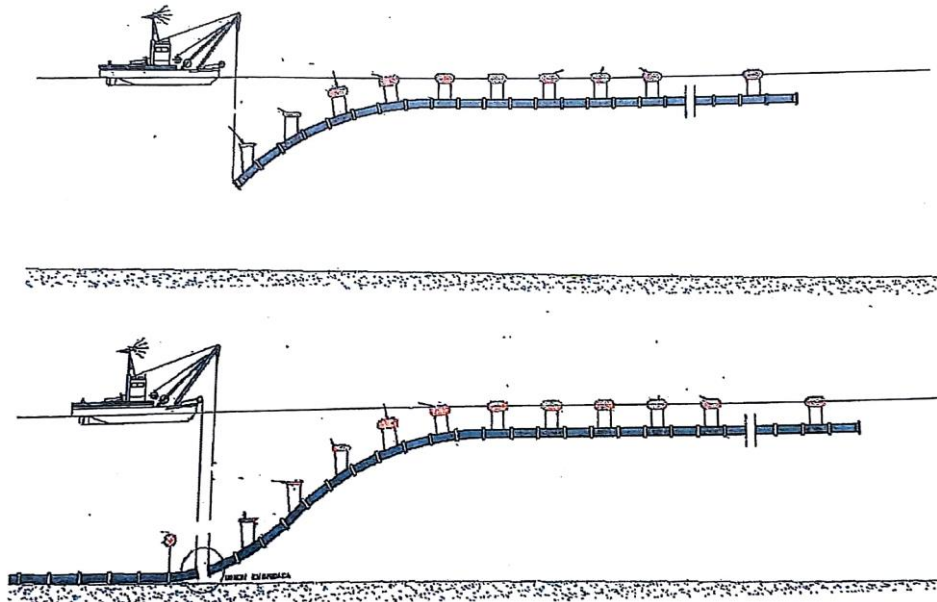


Figura 12: Procedimiento de hundimiento mediante bollas (2)

Se irán inundando flotadores hasta que la tubería descansa en el fondo del mar en suficiente longitud, de forma que se pueda hacer la unión con el tramo que está en el fondo.

Una vez que se ha realizado la unión, se siguen inundando flotadores, de forma progresiva, lo cual da lugar al hundimiento de la misma con el consiguiente avance de la S hasta su posición definitiva.

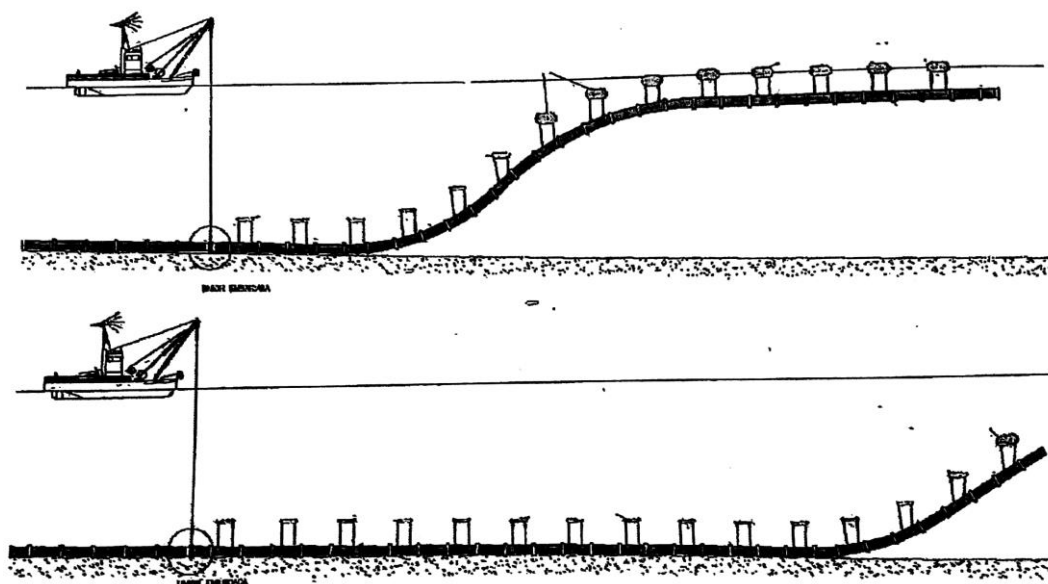


Figura 136: Procedimiento de hundimiento mediante bollas (3)



Una vez concluido el fondeo de la tubería, se verifica el resultado de este, considerando la solución de posibles errores por desplazamientos laterales de alguno de los lastres acontecidos a lo largo del proceso.



4. Dragado de la zanja

Al ser un proyecto académico en una universidad española, el dragado se va a desarrollar bajo referencias de la normativa española. A nivel estatal, las operaciones de dragado y especialmente lo que concierne a las zonas de vertido y gestión del material así como las licencias administrativas, quedan legisladas por distintas leyes y normativas, no existiendo en ningún caso una referencia única. Motivo por el que, este proyecto, se emplean como referencia las *“Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre”*, publicadas por el CEDEX en 1994.

El dragado de una zanja en este proyecto es muy importante para la colocación del emisario por debajo del lecho marino, para que su integridad no se vea comprometida en el tramo del trazado afectado por el oleaje.

Para poder calcular de forma precisa los volúmenes a extraer y delimitar las zonas tanto de dragado como de vertido, es imprescindible tener un buen conocimiento del fondo marino. Esta información no suele estar disponible, por lo que resulta necesario realizar una campaña batimétrica para recabar la información necesaria.

Por otro lado, Antes de proyectar cualquier obra de dragado es necesario disponer de información geotécnica sobre el material a dragar:

- Características físicas y mecánicas del material a dragar.
- Volúmenes reales involucrados en el dragado.
- Grado de uso de los materiales dragados para otro tipo de actividades.

Esta información permitirá seleccionar el equipo de dragado más adecuado, estimando los rendimientos del mismo y las posibles sobreexcavaciones.

El dragado de zanja donde se colocará la tubería se realizará lo largo de los primeros 1500 metros del trazado del emisario proyectado. Posteriormente a la colocación del emisario, se rellenará con el material dragado. De esta forma, la tubería quedará protegida de la acción del oleaje en la zona crítica.

El material de dragado extraído durante estas actividades de dragado al estar compuesto fundamentalmente por material geológico inerte, presenta niveles de contaminación escasamente significativos, por lo que sus impactos sobre el medio marino son mínimos.

La ejecución de la zanja para la futura colocación de la tubería debe realizarse según el perfil teórico previsto. Para comprobarlo, se realizarán batimetrías de la zona dragada, procediéndose al hundimiento del tramo pertinente en caso de que la verificación resulte favorable.



4.1. Elección de la draga

Para comparar los distintos tipos de dragas y seleccionar la más adecuada para realizar el dragado, deben establecerse distintos condicionantes con el fin de poder caracterizar las diferentes opciones para poder compararlas y poder elegir la óptima. Para ello se tienen en cuenta condicionantes como emplazamiento, características del terreno, calados, rendimientos y, principalmente, geometría de la zona a dragar.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los diferentes tipos de dragas y su funcionalidad dependiendo del tipo de terreno a dragar. La tabla se ha obtenido de la “Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas”.

NATURALEZA DEL TERRENO	TIPO DE DRAGA					
	CUCHARA	PALA	ROSARIO	SUCCIÓN ESTACIONARIA	SUCCIÓN ESTACIONARIA CUTTER	SUCCIÓN EN MARCHA
Arena compacta		X	X		X	X
Arena suelta			X	X	X	X
Arena fangosa	X		X	X		X
Fangos	X		X	X		X
Arcilla suelta	X		X		X	
Arcilla plástica	X	X	X		X	
Arcilla compacta		X	X		X	
Arena con grava	X	X	X		X	X
Rocas sin voladura		X	X		X	
Rocas (previa voladura)	X	X	X			

Tabla 1: tabla comparativa de dragas

De acuerdo con lo especificado en el anejo de Geología y Geotecnia, el terreno a dragar se compone principalmente de arenas y gravas. A sabiendas de esto se plantean diferentes posibilidades.

Las dragas de succión en marcha tienen las ventajas de su alto rendimiento así como de su bajo coste, además no requieren instalación, lo que agilizaría el proceso. Sin embargo, no son aptas para dragados localizados, y el calado mínimo es demasiado grande, motivos por los que se descarta.

Las dragas de cuchara presentan ciertas ventajas respecto a la anterior opción como la necesidad de poco calado, o su gran precisión, sin embargo, este proyecto requiere que la zanja se lleve a cabo en el menor tiempo posible, y el bajo rendimiento de esta draga no es conveniente.



Una opción a considerar para este dragado son las dragas de rosario, gracias a su alta precisión y aptitud para dragados en zanja. El inconveniente motivo de que se descarte es que requieren un calado mínimo de 6m., lo que limita mucho su funcionalidad en este proyecto.

La mejor opción, sin duda, son las dragas de pala, ya que, pese a su alto coste, requieren poco calado y son muy aptas para dragado en zanja.

4.2. Dragas de pala

Están constituidas por una pala de empuje frontal o retroexcavadora instalada sobre una pontona. Esta última dispone de un sistema de spuds situados uno a la banda de babor, otro en la banda de estribor a la altura del tercio delantero de la pontona y un tercero centrado en la popa. Los spuds combinados con un conjunto de cabrestantes sujetos a anclas (normalmente entre 4 y 6) permiten:

- Movimientos de la pontona mediante pasos alternativos de los spuds y movimientos de los cabrestantes.
- Cargar parte del peso de la pontona sobre el terreno a través de los spuds, lo que ofrece una reacción a la acción de la pala que no se tendría en el caso de estar la pontona a flote.
- Reducir las escoras de la pontona ante la acción del oleaje y del movimiento de las cargas, facilitando los giros de las máquinas que se hacen sobre un mecanismo a modo de corona que no admite grandes inclinaciones. Las capacidades de los cazos de las palas se determinan en función de la máquina que las acciona y del terreno a excavar, variando entre 2 y 25 m³.

Las características operativas de este tipo de dragas son:

- La profundidad de dragado está limitada a unos 10 metros en el caso de las hidráulicas.
- Realizan el vertido sobre gánguiles abarloados a la pontona. En nuestro caso se realiza el vertido a pocos metros de la zanja. Para después volver a introducirlo en la zanja una vez fondeado el emisario.
- El calado necesario para dragar viene determinado por el calado de la pontona, generalmente en torno a 3 m.
- Pueden dragar abriendo canal en terrenos de poco calado o emergidos.
- No pueden trabajar con Hs >1 m.
- Son muy aptas para dragados en zanja.
- Tienen capacidad para dragar materiales de naturaleza muy variable: desde fangos a rocas blandas, así como grandes bolos, escolleras y estructuras previamente quebrantadas.
- Son equipos que tienen alto coste por metro cúbico dragado.
- Los rendimientos oscilan entre 2.000 y 6.000 m³ /día, estando muy condicionados por la naturaleza del terreno.
- Hay pocas unidades en el mercado.



Figura 14: Dragadora de pala sobre pontón

4.3. Procedimiento de ejecución

Para explicar el procedimiento del dragado a ejecutar, se comienza clasificando el dragado según el criterio descrito por Vicent Esteban Chaparría en el libro de Obras Marítimas.

Según su finalidad, el dragado se puede considerar de primer establecimiento, ya que se ejecuta por primera vez. Atendiendo a la técnica de ejecución y a la ubicación, se considera que se trata de un dragado por acción mecánica (ya que se va a emplear una dragadora de pala), en mar abierto.

El orden de dragado, se realizará teniendo en cuenta que es un proceso paralelo al montaje de la tubería, lo que implica que cada sección del trazado dragado correspondiente a cada tramo a fondear, irá seguido del fondeo de dicho tramo, siempre y cuando esté listo para el fondeo.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente, el dragado comenzará en la zona más próxima a la costa, o sea en la playa. La zanja en la salida del emisario es el punto más complejo de dragar ya que se debe combinar el dragado desde tierra al dragado desde el mar debido a que, el calado es insuficiente para el acceso de la pontón, pero excesivo para el acceso de la retroexcavadora.

Una opción que se considera factible, es la construcción de una ataguía para construir la zanja en seco hasta un calado accesible para la pontón. Para la construcción de la cámara de bombeo y de la salida del emisario desde la misma, se emplearán tablestacas para el soporte de tierras, pudiendo excavar sin problemas el área donde se habilitará dicha cámara. La construcción de la cámara en cuestión no se tiene en cuenta para este proyecto básico, no obstante, dado que el emisario parte de ese punto, se considera importante explicar su presencia. El emisario parte desde la cámara a una cota inferior a la del terreno natural, por este motivo se debe excavar una zanja, y dado que la tubería



accede al océano, el empleo de una ataguía para el dragado de esta zona de transición se considera la mejor opción.

Como se ha mencionado en el anejo de clima marítimo, esta obra está influenciada por la acción de la marea. Por este motivo, el dragado de zanja ocupado por el primer tramo de tubería, a partir del punto final de la ataguía, se realizará mediante medios terrestres con bajamar, y con pontona a partir de que la profundidad con pleamar sea superior a 2.5 metros.

A partir del punto en que la profundidad es superior a 2.5 metros, el dragado se realiza desde la pontona con retroexcavadora. Existe un punto a partir del cual puede haber complicaciones ya que la profundidad de dragado excede los 10 m en el PK 1+440. A partir del punto mencionado será necesario dragar únicamente con bajamar.

En el proceso de hundimiento de cada tramo de tubería, previamente al apoyo de los lastres, se procederá al dragado de materiales sueltos de la superficie de apoyo mediante una draga manual de succión. Este procedimiento será llevado a cabo por el equipo de buzos responsable del apoyo de hundimiento de la tubería.

La sección de la zanja, como se ha especificado en anejos anteriores es de 4 metros de ancho en su base, con una inclinación de 1V:2H, como se muestra en la figura.

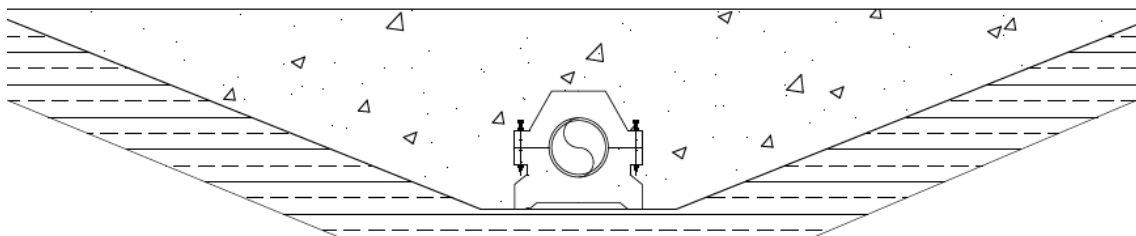


Figura 15: sección de zanja

En cumplimiento de las proporciones de las medidas, se han efectuado los cálculos de los volúmenes de dragado a extraer separado en tramos. En la siguiente tabla se muestran los volúmenes resultantes del cálculo.



Tramo en P.K	Profundidad lecho marino	Profundidad Zanja	Altura Zanja	Área Zanja	Volumen a extraer
0 - 288	-2	-5	3	30	7974,72
288 - 576	-5,1	-7	1,9	14,82	6512,48
576 - 864	-5,97	-8,5	2,53	22,9218	5434,8192
864 - 1152	-6,64	-9,5	2,86	27,7992	7303,824
1152 - 1440	-8,9	-10	1,1	6,82	5880,78
1500	-10,7	-10,7	-	-	Fin Zanja
				Volumen total (m3)	33619,224

Tabla 2: distribución de volúmenes a dragar, Volumen total

El volumen total a extraer será de **33.620 m³**.

4.4. Material de relleno

A lo largo del dragado, todo el material extraído se depositará en paralelo a la zanja creando un montículo con pendiente similar a la de la zanja. Lo idóneo sería que entre el punto más alto de la zanja y el punto más bajo del terraplén haya al menos 4 metros de distancia, para evitar que, debido al movimiento del mar, el terreno extraído se introduzca de nuevo en la zanja.

Una vez completado el proceso de hundimiento cada tramo de tubería y verificado por el cliente, se procede al relleno de la zanja con el material extraído y ubicado al lado. Lo ideal es que el nivel del lecho marino resulte tan homogéneo como estaba antes de iniciar las operaciones de dragado, sin embargo, al ser un tipo de operaciones de alta complejidad, se considera admisible cierta desigualdad.

Empleando este método, implica un gran ahorro económico en gánguiles, ya que el material extraído se deposita en el lecho marino. Además, considerando el medio ambiente, es positivo que el material de relleno sea el mismo que el extraído.



5. Operaciones posteriores

En este apartado se explicarán brevemente las operaciones requeridas para el reacondicionamiento de las playas afectadas por la habilitación del emisario submarino.

Como se ha explicado anteriormente, para la colocación del emisario en el primer tramo de costa, se colocará una ataguía, a partir de donde comenzará la zanja que posteriormente albergará al emisario. Una vez colocado el emisario, se procederá al relleno de la zanja, así como de la retirada de las tablestacas empleadas en la ataguía. El material de relleno será, preferiblemente, de la misma naturaleza que el extraído. Una vez realizado el relleno, se procederá al compactado del terreno previo nivelado.

Además de las actividades de relleno de la zanja, se debe tener en cuenta que todo el procedimiento de habilitación del emisario, provoca cambios en el medio marítimo terrestre, incrementando la erosión en las playas en cuestión o sedimentación. Por este motivo, para este proyecto se plantea la necesidad una operación de regeneración de playas con aporte de material en el emplazamiento afectado.