ANEJO 21. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 3
2. NORMATIVA DE APLICACIÓN 3
3. TUBERÍAS PEAD 4
3.1 ACOPIO Y MANIPULACIÓN EN OBRA 4
3.2 SOLDADURA A TOPE 4
4. TRAMO TERRESTRE 5
4.1 INSTALACIÓN DE TUBOS ENTERRADOS 5
5. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN PHD 6
5.1 ESTUDIO DEL TRAZADO EN PLANTA Y PERFIL 6
5.1.1 Topografía tramo terrestre 7
5.1.2 Batimetría fondo marino 8
5.2 ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO TERRESTRE 9
5.2.1 Caracterización estratigráfica del subsuelo 9
5.2.2 Caracterización geomecánica de los niveles identificados 12
5.2.3 Excavabilidad 13
5.3 ESTUDIO GEOMORFOLOGÍA MARINA 15
5.4 ESTUDIO BIOCENOSIS 18
5.5 CONSIDERACIONES previas SOBRE LA VIABILIDAD DE LA PHD COMO TÉCNICA DE PERFORACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DEL tramo de transición terrestre-marino DEL EMISARIO. 19
5.6 DISEÑO DE LA PHD A EJECUTAR 20
5.6.1 Emplazamiento y zonas auxiliares de obra 20
5.6.2 Punto de salida al fondo marino 20
5.6.3 Trazado en planta y perfil longitudinal 21
5.6.4 Diámetro de la perforación 22
5.6.5 Tipo tubería a instalar 22

5.6.6 Equipo perforación a emplear 23

5.7 PROCESO CONSTRUCTIVO PHD 24

5.7.1 Generalidades 24

5.7.2 Proceso perforación 24

5.7.3 Características de la bentonita 25

5.7.4 Sistema de navegación 25

5.7.5 Emplazamiento del tramo durante el proceso de soldadura para su posterior botadura 26

5.7.6 Proceso de hundimiento 27

5.7.7 Procedimiento de trabajo 31

5.7.8 Gestión de residuos 32

5.7.9 Campaña ambiental previa 33

5.7.10 Campaña ambiental durante la ejecución de las obras 33

6. TRAMO MARINO APOYADO EN EL FONDO 33

6.1.1 Tipo tubería a instalar 33

6.1.2 Emplazamiento del tramo durante el proceso de soldadura para su posterior botadura 33

6.1.3 Preparación y lastrado de la tubería de polietileno 34

6.1.4 Plataforma de unión de tubos 34

6.1.5 Rampa de botadura y amarre provisional 35

6.1.6 Plan de hundimiento 35

6.1.7 Radio de curvatura de la tubería durante el hundimiento 37

6.1.8 Emplazamiento de la tubería y comprobaciones antes del hundimiento 37

7. COLOCACIÓN DE LAS TUBERÍA DIFUSORA 38

8. REVISIÓN DE LA TUBERÍA COLOCADA 38

ANEJO 21. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se establece una serie de recomendaciones en lo que se refiere a las condiciones que, con carácter general deben seguirse para la instalación de la tubería hasta su puesta en servicio. En nuestro caso se proyectan las siguientes actuaciones:

- Acopio y manipulación de tuberías en obra
- Proceso de unión de tuberías
- Instalación de tubería en tramo terrestre
- Instalación de tubería en tramo marino, diferenciando entre:
    - Tramo en PHD
    - Tramo apoyado en fondo marino
- Instalación de tramo de difusores

También se estudia la viabilidad de la técnica de perforación PHD a partir de los estudios de campo llevados a cabo por el proyectista recogidos en el Anejo 3 del presente proyecto.

2. NORMATIVA DE APLICACIÓN

En lo relativo a normativa de aplicación para la instalación de tuberías puede seguirse lo especificado en la norma UNE-EN 805:2000.

En particular, para las tuberías de polietileno PE se tendrá en cuenta las normas:

- UNE 53394:1992 IN
- ASTM D2774-72
- EN 13244-6: 1998

En lo relativo a la ejecución de elementos estructurales de hormigón armado será de aplicación la EHE-08.

En lo relativo a los trabajos de movimientos de tierras, caracterización de materiales granulares y rellenos con materiales granulares se estará a lo dispuesto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

En lo relativo a los elementos de acero inoxidable se estará a lo dispuesto en la UNE-EN 10088 y UNE-EN-ISO 3506-2.

El resto de elementos y materiales no indicados en este apartado estarán a lo dispuesto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del presente Proyecto y a las indicaciones de la Dirección de Obra.

3. TUBERÍAS PEAD

La tubería deberá llevar marcado:

- Nombre del suministrador, fabricante o nombre comercial.
- La identificación del año y mes de fabricación.
- Tipo de polietileno empleado.
- Diámetro nominal, DN.
- Presión nominal, PN.
- Espesor nominal, e (no necesariamente en las piezas especiales).
- Referencia a la norma UNE correspondiente.
- Marcado de conformidad con la norma UNE-EN 12201.

El tubo debe de tener banda marrón (no puede tener banda azul).

3.1 ACOPIO Y MANIPULACIÓN EN OBRA

El suministro de tubos de PE se realiza en tramos de 6 a 12 metros de longitud, por cuestiones de capacidad de transporte terrestre. Los tubos no deberán sujetarse por los extremos para manipularlos, como mínimo se deberá sujetar el 50% de su longitud en la zona central. No manipular tubos utilizando cables o cadenas metálicas.

Respecto al almacenamiento, habrá que limpiar el terreno de acopio y evitar contacto con piedras o elementos punzantes. Se recomienda una altura de acopio en función de la relación diámetro/espesor – SDR.

SDR 33	SDR 26	SDR < 26
h < 2,1 m	h < 2,8 m	h < 3,0 m

3.2 SOLDADURA A TOPE

Las uniones de los tubos de PEAD se harán mediante soldadura a tope, y la instalación y manejo se efectuarán según lo indicado en la norma española UNE 53394 y la norma europea DVS 2207-1 por operario especializado.

En caso de estar justificado, será posible el empleo de manguitos electrosoldables, siendo de aplicación la normativa vigente al respecto.

Se deberá realizar un seguimiento de los parámetros de soldadura y registrarlos en el correspondiente documento. Debe existir una trazabilidad de las soldaduras. La máquina para soldadura a tope estará inspeccionada y ajustadas desde hace menos de un año. La documentación de la máquina y de sus inspecciones se adjuntarán a

los registros de soldadura. Se anexa ejemplo de documento de control de las soldaduras a tope, este documento u otro propuesto deberá ser aprobado por la DF.

En ningún caso se efectuarán uniones mecánicas, debido a que los esfuerzos de tracción ejercidos por la tubería tras su montaje pueden hacer que el sistema no sea estanco. Por lo que las bridas de doble cámara están prohibidas en esta instalación.

Para intercalar elementos singulares en la instalación, como válvulas o T de registro, se colocará en la tubería un porta-brida de polietileno, soldado a la tubería a tope donde antes se ha alojado una brida loca de la medida adecuada al elemento a unir a la tubería. Serán de 316L.

4. TRAMO TERRESTRE

4.1 INSTALACIÓN DE TUBOS ENTERRADOS

La profundidad mínima de enterramiento será de 1,0 m y las pendientes serán de 0,4 al 0,5 % cuando el efluente vaya en dirección descendente y del 0,2 % en recorrido ascendente.

Las zanjas se excavarán entibadas, al ser las profundidades superiores a 1,50 m, para mantener la estabilidad de la misma.

Las zanjas se ejecutarán mecánicamente, quedarán alineadas en planta y con la rasante uniforme, de acuerdo con lo indicado en el proyecto

Los productos procedentes de la excavación aprovechables para el relleno posterior se depositarán en caballeros situados a un solo lado de la zanja, dejando una banqueta del ancho necesario para evitar su caída, como mínimo de 60 cm o un metro. La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones deberá removerse, recomendándose su acopio y posterior reposición en la traza de la tubería, al objeto de paliar el impacto ambiental que la misma haya podido producir.

Los tubos no deben apoyarse directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre camas o lechos, los cuales deben tener un espesor mínimo bajo la generatriz inferior del tubo, el espesor de esta capa queda definida en los planos constructivos del proyecto.

Con carácter general se recomienda que el material granular a emplear sea no plástico, exento de materias orgánicas y con tamaño máximo de 25 mm, pudiendo utilizarse arenas gruesas o gravas preferentemente rodadas.

Las camas granulares hay que realizarlas en dos etapas. En la primera se ejecuta la parte inferior de la cama, con superficie plana, sobre la que se colocan los tubos, acoplados y acuñados. En una segunda etapa se realiza el resto de la cama rellenando a ambos lados del tubo hasta alcanzar el ángulo de apoyo de 90º.

En ambas etapas los rellenos se efectuarán por capas compactadas mecánicamente. Un espesor razonable para cada capa es de 20 a 25 cm. Y los grados de compactación serán tales que la densidad resulte como mínimo el 95 % de la máxima del ensayo Proctor modificado.

5. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN PHD

Como opción prioritaria para el tramo de transición entre la zona terrestre y la zona marina se plantea la técnica de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Dicha técnica presenta ventajas técnicas y de afección medio ambiental respecto a sistemas convencionales de tendido de tuberías en fondo marino mediante la apertura de zanja a cielo abierto.

Para estudiar la viabilidad de dicha técnica se han realizado una serie de trabajos de campo que pretenden evaluar la geología y geomorfología del entorno para estudiar la viabilidad del proceso constructivo de la PHD. Se han llevado a cabo las siguientes campañas:

- Campaña topográfica terrestre y batimétrica marina. Se aporta en el *Apéndice nº 1: Memoria topográfica y cartográfica* del *Anejo 2. Cartografía, topografía y batimetría.*
- Campaña de localización de servicios a través de la plataforma digital INKOLAN y petición de servicios existentes a los servicios municipales de gestión y explotación de servicios.
- Campaña geológica-geotécnica terrestre. Se aporta en el *Apéndice nº 1: Estudio geotécnico del tramo terrestre del emisario* del *Anejo 3. Estudios de campo asociados a la geología y geomorfología y estudio de viabilidad de la PHD*.
- Campaña geomorfológica marina, de biocenosis y batimetría marina. Se incluye en el *Apéndice 2. Estudio geofísico y batimétrico del tramo marino del emisario* del citado *Anejo 3* del presente proyecto.

A continuación, se realiza una evaluación de la viabilidad de la técnica de la PHD a partir de los resultados obtenidos de cada uno de los trabajos de campo efectuados.

5.1 ESTUDIO DEL TRAZADO EN PLANTA Y PERFIL

Se ha realizado un levantamiento topográfico de detalle del ámbito terrestre y una campaña de batimetría marina, ambos en el ámbito de estudio previsto.

Estos trabajos han permitido identificar con el grado de detalle suficiente las características físicas del terreno en el último tramo terrestre previo al inicio del tramo marino, así como el perfil batimétrico de la costa hasta el punto donde se prevé llevar a cabo el tendido del futuro emisario.

También se han localizado los servicios a través de la plataforma digital INKOLAN y petición de servicios existentes a los servicios municipales de gestión y explotación de servicios.

5.1.1 Topografía tramo terrestre

El emisario alcanza la línea de costa a través de la playa des Geperut. Lo hace tras alcanzar el estacionamiento no pavimentado para vehículos ubicado junto a dicha playa y cruce de la Av. Jaume I.

Se estudia el entorno y se identifica la siguiente área como posible zona para iniciar la PHD y implantar los diferentes equipos que forman la operativa, concluyendo que existe espacio físico suficiente para la implantación de todos los equipos.

Imagen 1. Vista desde el Carrer Mossèn Joan Ensenyat del estacionamiento donde se ubicarán los equipos de la PHD.

Por lo que respecta a servicios existentes en el entorno, se comprueba que no existirían interferencias ya que, si bien existen servicios enterrados de abastecimiento de agua, saneamiento, electricidad e iluminación en la Avinguda de Jaume I, la cota que habrá alcanzado en ese punto la perforación hará que dichas instalaciones queden por encima y no se produzcan interferencias.

Imagen 2. Vista de la Avinguda de Jaume I con registros de algunos de los servicios existentes.

5.1.2 Batimetría fondo marino

El fondo marino presenta una pendiente tendida y homogénea. No se identifican cambios abruptos del perfil que favorezcan la salida de la PHD sin necesidad de realizar el último tramo a contrapendiente.

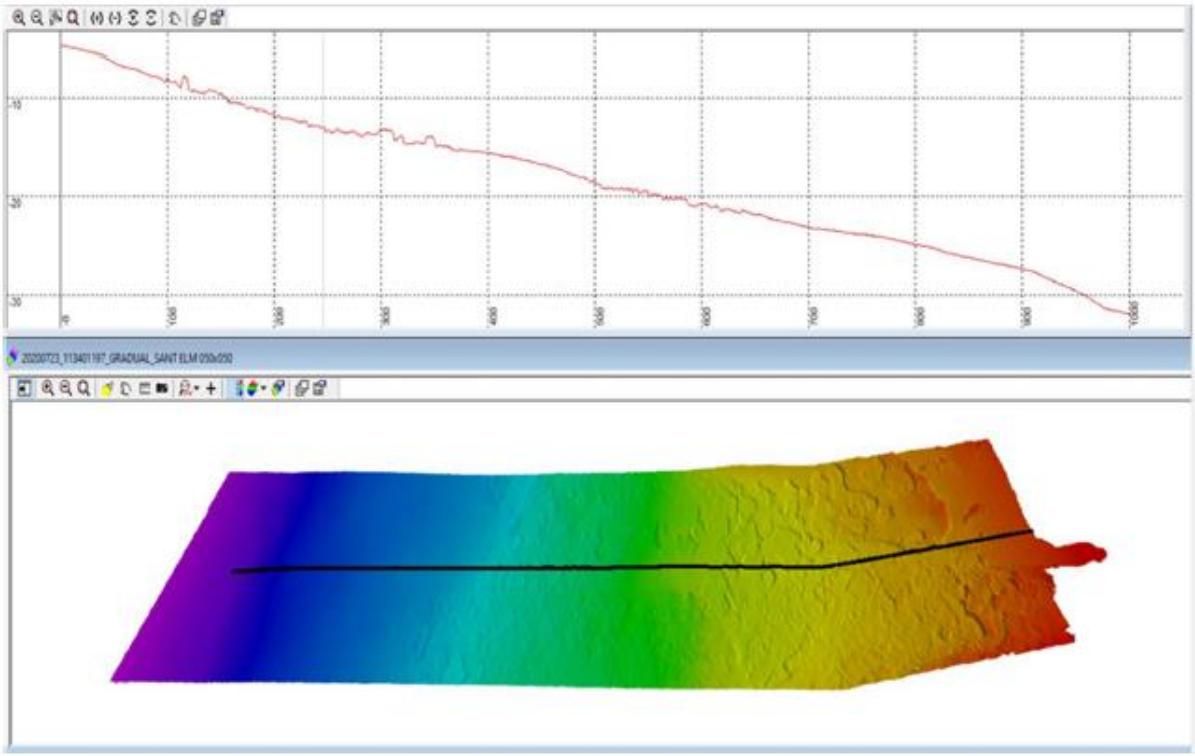


Ilustración 1. Vista en 3D del levantamiento y perfil longitudinal.

5.2 ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO TERRESTRE

La información que se expone a continuación se extrae del estudio geotécnico realizado, aportado de forma íntegra en el *Apéndice nº 1: Estudio geotécnico del tramo terrestre del emisario* del *Anejo 3. Estudios de campo asociados a la geología y geomorfología para el estudio de viabilidad de la PHD* del presente proyecto.

El estudio de campo ha consistido en la ejecución de un sondeo mecánico de reconocimiento con recuperación continua de testigo hasta la profundidad de 12m (con recuperación y ensayo de muestras en laboratorio de mecánica de suelos), así como un reconocimiento directo de los afloramientos rocosos presentes en la playa des Geperut (punto de conexión con el tramo marino).

El sondeo de reconocimiento se emplaza a unos 112m de la línea de costa, en el camino que queda por debajo de la carretera de Sant Elm a Sa Racó, en la vaguada del Torrent de Son Berriol.

El punto del sondeo se ubica en el entorno del inicio de la PHD.

Para determinar la viabilidad de la PHD se estudia en el informe:

- Caracterización estratigráfica del subsuelo en el punto de sondeo y parametrización geotécnica.
- Verificación del nivel freático en el sondeo.
- Caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos en la playa des Geperut
- Caracterización de la dureza del subsuelo frentes a su excavabilidad.
- Recomendación sobre revestimiento de perforaciones horizontales.

5.2.1 Caracterización estratigráfica del subsuelo

Se diferencian tres niveles estratigráficos:

NIVEL	DESCRIPCIÓN
COB	Cobertura de tierras varias parcialmente edafitizadas, incorporando limo arenoso con cantos de caliza y calcarenita
ARM	Arcilla margosa, algo arenosa, de tonalidad marrón y ocre, con pequeños cantos angulosos de calcarenita
CAL	Caliza tipo grainstone de tonalidad gris-oscuro, con abundante presencia de máficos. Grado de alteración II s/ISRM. El testigo rocoso se presenta de forma casi continua. RQD >25%. Muy abrasiva ante la perforación del sondeo → probable presencia de cuarzo/sílice

El perfil obtenido es el siguiente:

Imagen 3. Punto de sondeo.

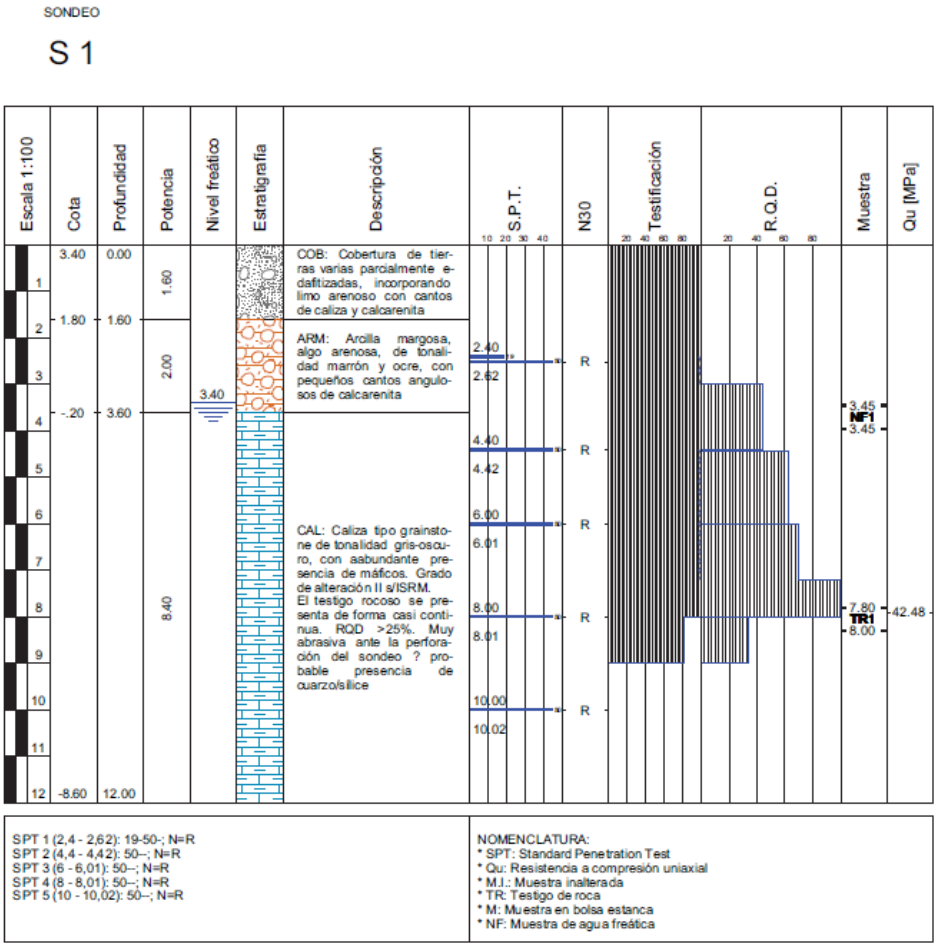


Ilustración 2. Columnas litológicas.

Imagen 4. Caja porta testigos. Sondeo 1, cajas 2 y 3.

De la inspección ocular realizada a los afloramientos rocosos de la playa des Geperut se extrae la siguiente información:

En el sector noroeste de la playa aflora una formación de caliza arenosa/calcarenitas con betas de calcita (nivel CAC) que difiere de las calizas (nivel CAL) detectadas en el sondeo S1. Probablemente ambas litologías correspondan a la misma unidad geológica del Burgigaliense-Langiense, si bien responden a tramos distintos de la serie con un comportamiento geomecánico distinto, al tratarse en el caso de las calcarenitas de la playa (CAC), de una roca relativamente más blanda, con menor RQD (<25%), y por ende un valor del RMR más bajo. Las calcarenitas del nivel CAC pueden considerarse de grado de alteración III s/ISRM.

Las calcarenitas (CAC) presentan estratificación laminada con buzamiento aproximado 137/30 SO (rumbo de plano de capa 137; buzamiento de 30º hacia el suroeste). Los resultados obtenidos del sondeo y las inspecciones realizadas van en concordancia con el contexto geológico cartografiado por el IGME:

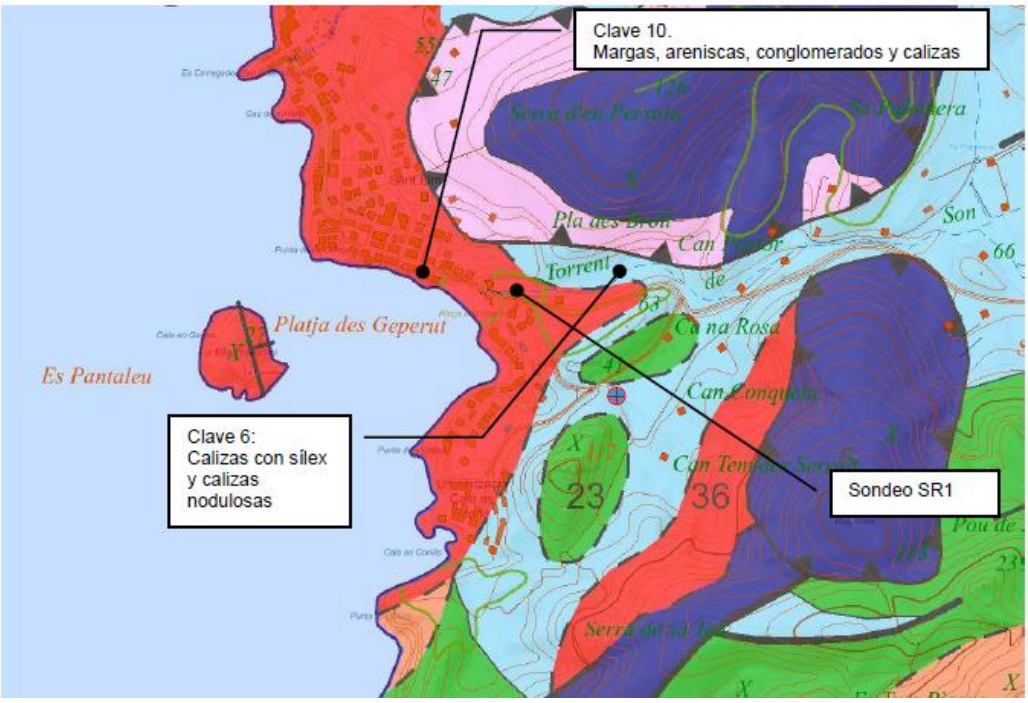


Imagen 5. Contexto geológico según cartografía digital del IGME.

5.2.2 Caracterización geomecánica de los niveles identificados

La clasificación geomecánica de las unidades CAL y CAC se obtiene valorando el índice RMR de Bieniawsky (1989):

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA
RMR Bieniawsky (1989)

Parámetros de clasificación

									Valoración CAL	Valoración CAA
1	Resistencia a la compresión Kp/cm²	>2500	1000-2500	500-1000	250 - 500	50-250	10-50	<10		
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0	4	4
2	Indice de calidad R.Q.D (%)	90 - 100	75 – 90	50 - 75	25 - 50	< 25				
	Valoración	20	17	13	6	3			13	3
3	Separación entre juntas	> 2m	0.6 – 2m	0.2 – 0.6 m	0.06 – 0.2 m	< 0.06m				
	Valoración	20	15	10	8	5			15	8
4	Estado de las juntas	Muy rugosas. Discontinuas sin separación. Bordes sanos.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1mm. Bordes duros	Ligeramente rugosas. Abertura <1mm. Borde blando	Espejos de falla o con relleno <5mm o abiertas 2-5 mm. Diad. continuas	Relleno blando > 5mm ó abertura > 5mm. Diaclasas continuas.				
	Valoración	30	25	20	10	0			20	10
5	Agua freática	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo				
	Valoración	15	10	7	4	0			0	0
								RMR=	52	25

Ilustración 3. Índice RMR de Bieniawsky (1989).

5.2.3 Excavabilidad

Se recurre a la clasificación propuesta por Manuel Romana (1981 – 1983), de carácter simplificado y basada en los parámetros resistencia a compresión simple RC y el RQD. La versión actualizada de 1983, considera además la abrasividad. Hace una consideración de la excavabilidad de los terrenos mediante medios mecánicos:

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA

	RC (MPa)	MATERIAL	RESISTENCIA
	< 0,6	Suelo	–
	0,6 - 0,2	Transición	–
	2 - 6	Roca	Muy baja
	6 - 20	Roca	Baja
CAL / CAC	20 - 60	Roca	Media
	60 - 200	Roca	Alta
	> 200	Roca	Muy alta

CALIDAD DEL MACIZO

RQD (%)	CALIDAD DEL MACIZO
0 - 25	Muy mala
25 - 50	CAC Mala
50 - 75	CAL Mediana
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

ABRASIVIDAD

CUARZO EQUIVALENTE (%)	VIABILIDAD DE LA EXCAVACIÓN MECÁNICA
< 40 CAC	Viable económicamente
40 - 60 CAL	Posible. Los costes crecen con el contenido en cuarzo equivalente
60 - 80	Posible. Costes altos, rendimientos bajos
> 80	Inviable económicamente

Ilustración 4.Adaptado de López Jimeno et al. (1997): "Manual de túneles y obras subterráneas". Entorno Gráfico, Madrid. 1082 pp.

Siguiendo esta metodología, se establece la siguiente gráfica de excavabilidad:

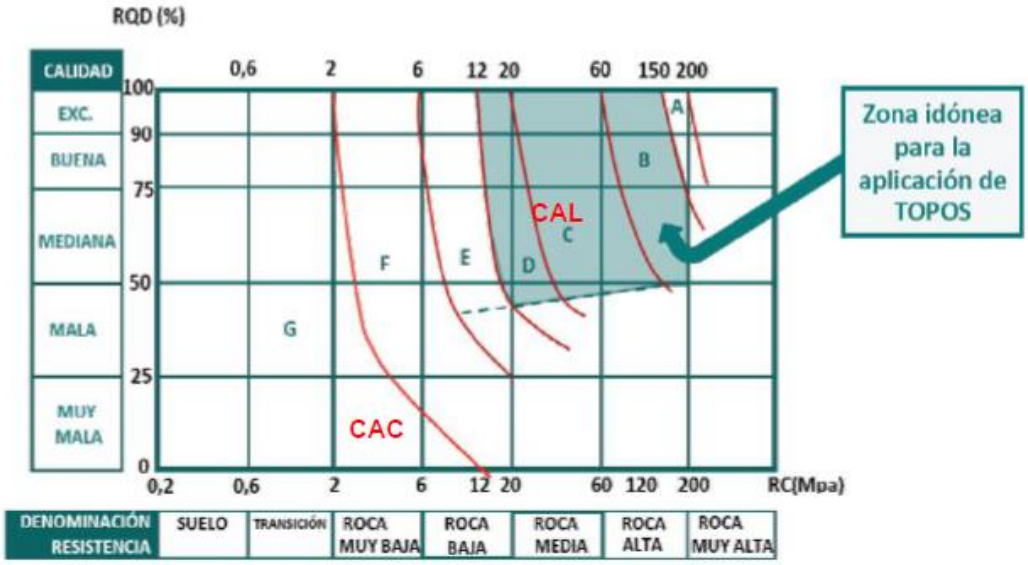


Ilustración 5. Adaptado de López Jimeno et al. (1997): "Manual de túneles y obras subterráneas". Entorno Gráfico, Madrid. 1082 pp.

En el mapa anterior se emplaza la situación de las unidades CAC y CAL, considerando valores respectivos del RQD de 0% y 62%, y una resistencia característica de la roca matriz intacta de Rc=42 MPa para CAL y Rc=30 MPa para nivel CAC.

La modificación del método de 2003 establece una propuesta de excavación en base al RMR de Bieniawsky, adecuadas para túneles de anchura comprendida entre los 10 y 14m, por lo que sirva aquí como una valoración orientativa.

En la figura siguiente se mapea la posición de las unidades CAC y CAL, con valores RMR respectivos de 25 y 52.

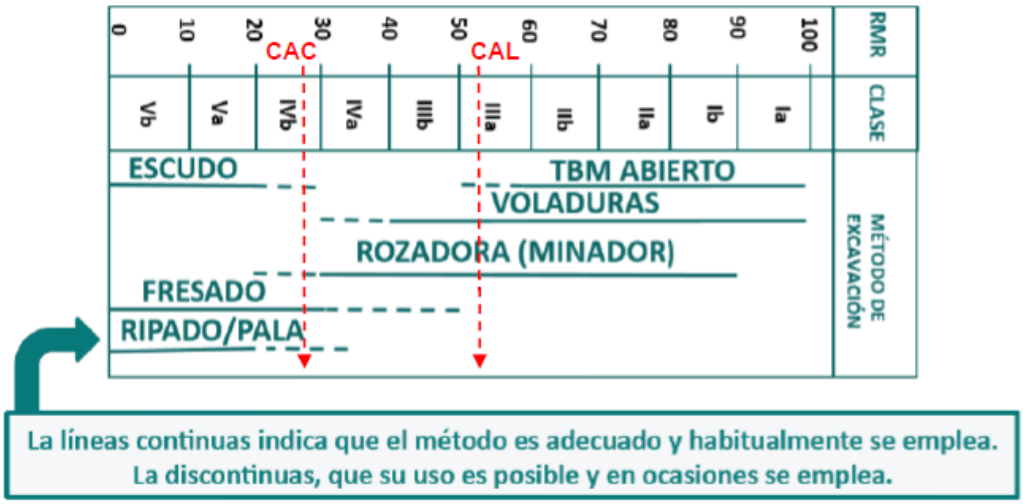


Ilustración 6. Adaptado de Romana Ruiz, M. (2003): "Nuevas recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles y boquillas".

5.3 ESTUDIO GEOMORFOLOGÍA MARINA

En el *Anejo 3. Estudios de campo asociados a la geología y geomorfología y estudio de viabilidad de la PHD* del presente proyecto se adjunta el *Apéndice 2. Estudio geofísico y batimétrico del tramo marino del emisario.* Del mismo se extrae la información mostrada a continuación.

Los resultados obtenidos con el sonar de barrido lateral identifican los siguientes tipos de fondo:

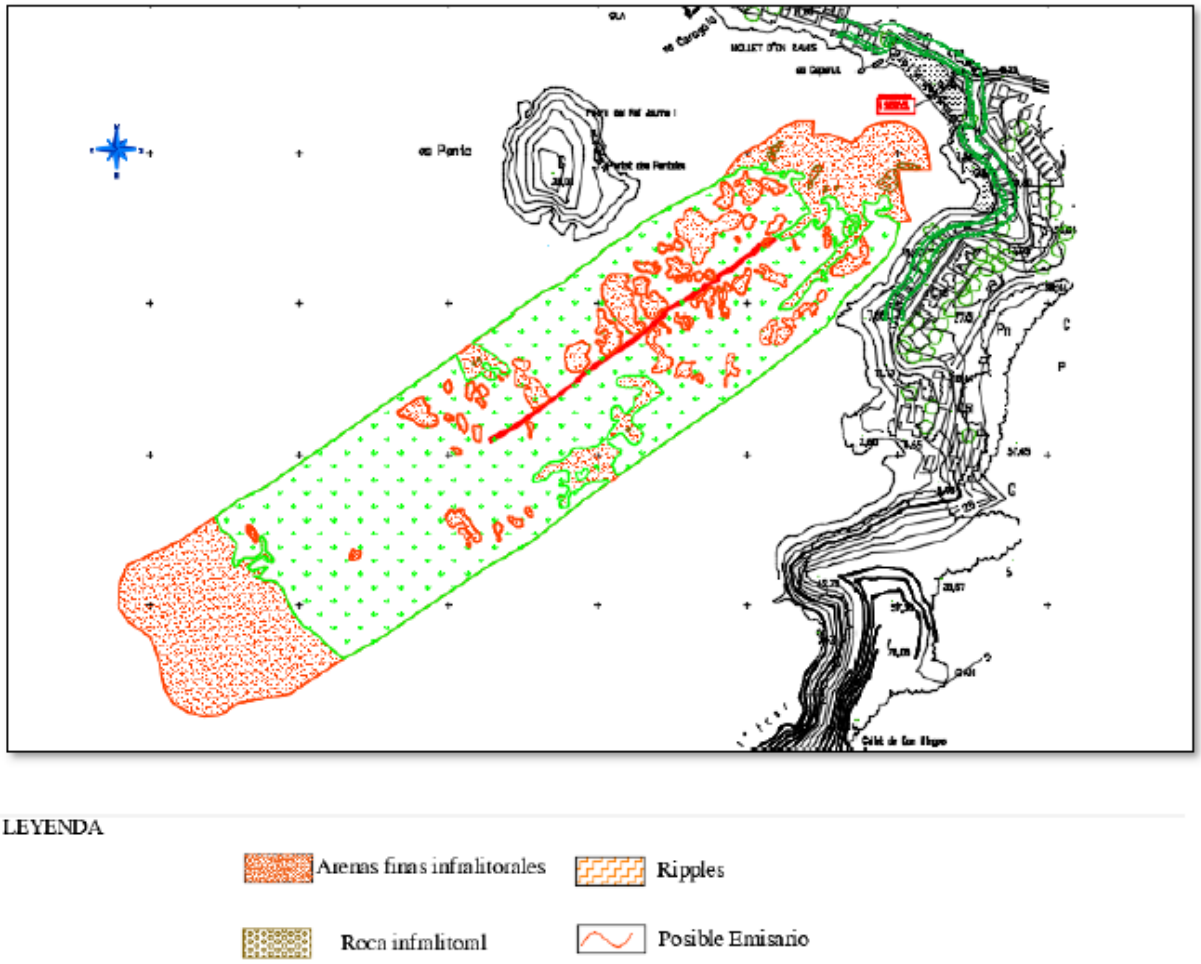


Ilustración 7. Plano geomorfológico de Sant Elm.

Se identifican:

- Fondos arenosos, los cuales se observan en mayor grado a medida que se va alejando de la costa, hacia mar adentro.
- Afloramientos rocosos de tipo calcareníticos, apareciendo de forma reducida en la zona de estudio.
- Posidonia oceánica, apareciendo en gran medida y provistas de surcos o parches de arena.

Se ha realizado una caracterización geofísica de los espesores de sedimento existentes en el ámbito de estudio. Los materiales no consolidados presentes en el área de estudio forman parte de los rellenos sedimentarios procedentes de etapas y episodios de sedimentación y erosión.

Por lo general el área estudiada presenta espesores de sedimentos no consolidado bastantes irregulares y heterogenias dadas las condiciones sedimentarias e hidrodinámicas, así como la presencia de un sustrato rocoso muy irregular condicionado las formas de rellenos de la zona prospectada. La zona estudiada ha pertenecido a ambientes sedimentarios de tipo litoral e infra litoral con la presencia de algunas ramblas cercanas, todo ello hace que los paquetes sedimentarios sufran cambios drásticos en tipo y forma de deposición de los sedimentos en el

plano vertical como horizontal, consecuencia de los cambios en el nivel del mar cambios en los niveles del sustrato rocoso y su irregularidad, dando lugar a rellenos sedimentarios bastantes heterogéneos.

También es de destacar la presencia de áreas rocosas de tipo calcarenítica característica de toda la costa de las islas baleares y que se encuentran a distintas profundidades en la actualidad, así como con grandes áreas aflorantes por encima del nivel del mar.

Se puede distinguir una zona de espesores mínimos situados en los alrededores de los afloramientos o casi afloramiento o gravas, donde apenas se superan los 0.5 metros de potencia. Consecuencia de la presencia de la roca Calcarenítica y/o gravas próximas al lecho marino, así como de la presencia de clastos y gravas resultantes de la misma de forma natural por la erosión.

Esta heterogeneidad en los espesores detectados es propia de las características del fondo marino y la naturaleza de la zona. La presencia de restos de clastos y afloramientos puntuales o en forma de terrazas de la roca Calcarenítica hace posible que las impedancias y la dispersión sean muy dispares de un punto a otro en un área relativamente pequeña.

En la parte más profunda de la zona de estudio, hacia mar a dentro los espesores detectados van aumentado en forma de cuña con un talud bastante suave, alcanzando valores máximos detectados de unos 4m, potencias compuestas esencialmente de materiales arenosos y finos.

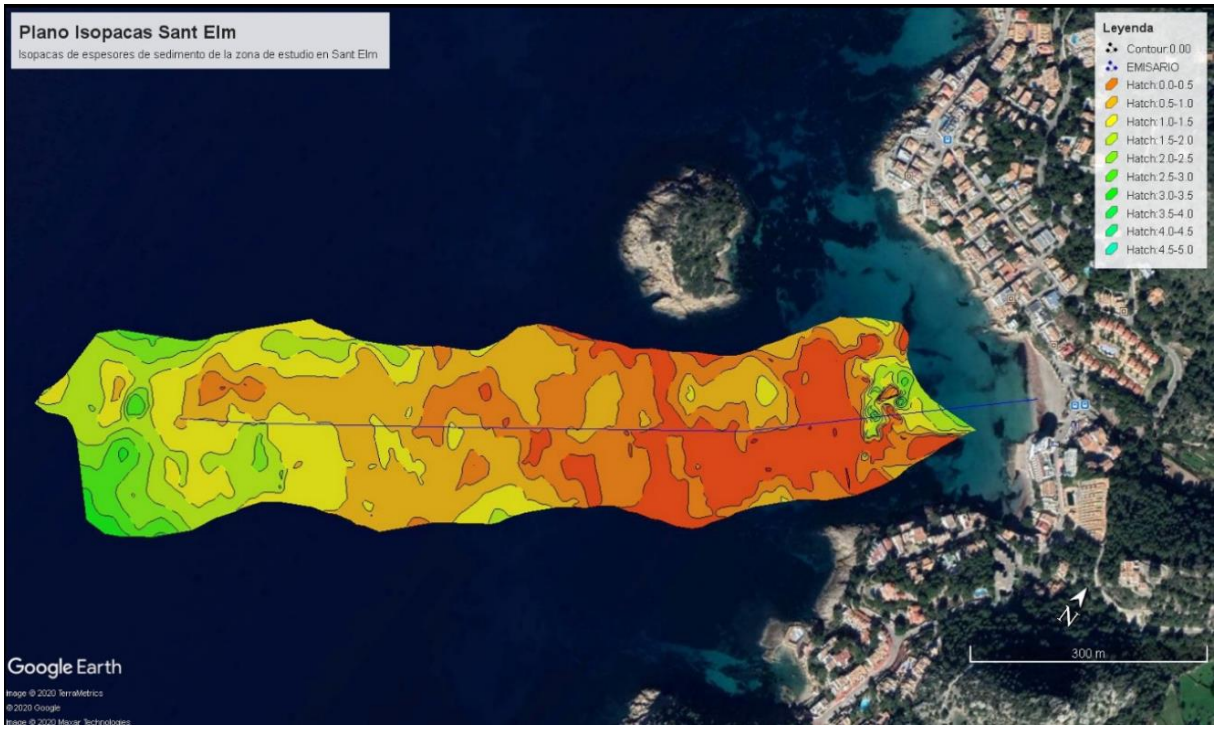


Ilustración 8. Plano de isópacas de espesor de sedimento.

De manera general, en la zona de estudio se observan espesores de sedimento no consolidado que alcanzan máximos de unos 4 metros, habiendo áreas extensas con afloramientos rocosos en la parte central como queda evidente en el plano de isopacas.

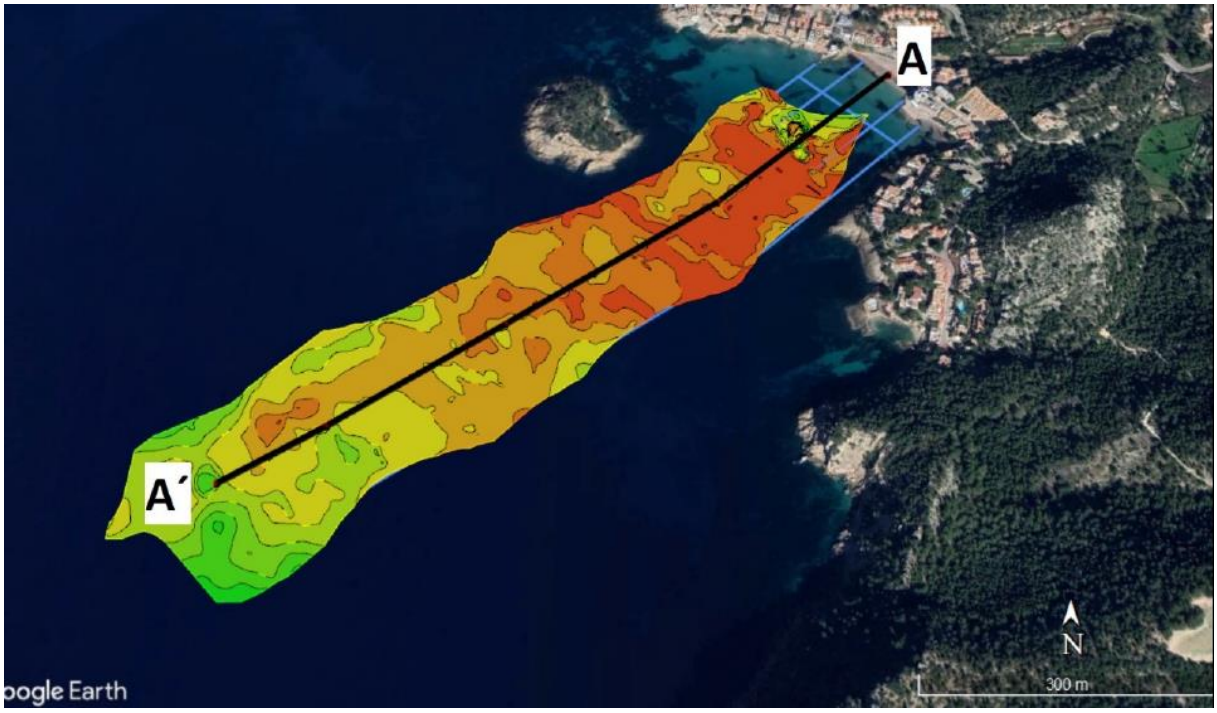


Ilustración 9. Localización del perfil tipo A-A' sobre el mapa de isópacas.

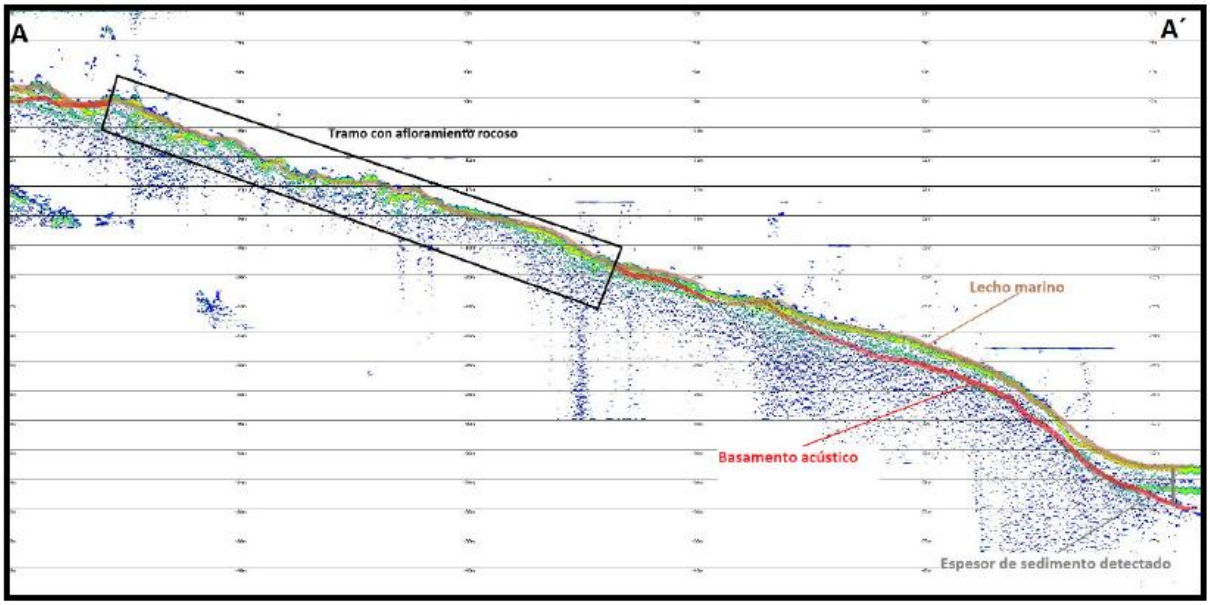


Ilustración 10. Perfil sísmico tipo A-A' de la zona prospectada.

Los afloramientos rocosos tipo calcareníticos se intuye que corresponden a las mismas observaciones realizadas en la campaña geotécnica terrestre y por tanto es de esperar un comportamiento similar del subsuelo frente a la perforación. No obstante, se desconoce la presencia de cualquier otro nivel en el ámbito de la perforación de la PHD y se recomienda realizar una tomografía eléctrica en fase de ejecución de obra para determinar con mayor grado de detalle la estratigrafía existente a lo largo del recorrido previsto de la PHD.

5.4 ESTUDIO BIOCENOSIS

La campaña de sonar de barrido lateral también ha permitido realizar una identificación de la biocenosis del ámbito de estudio.

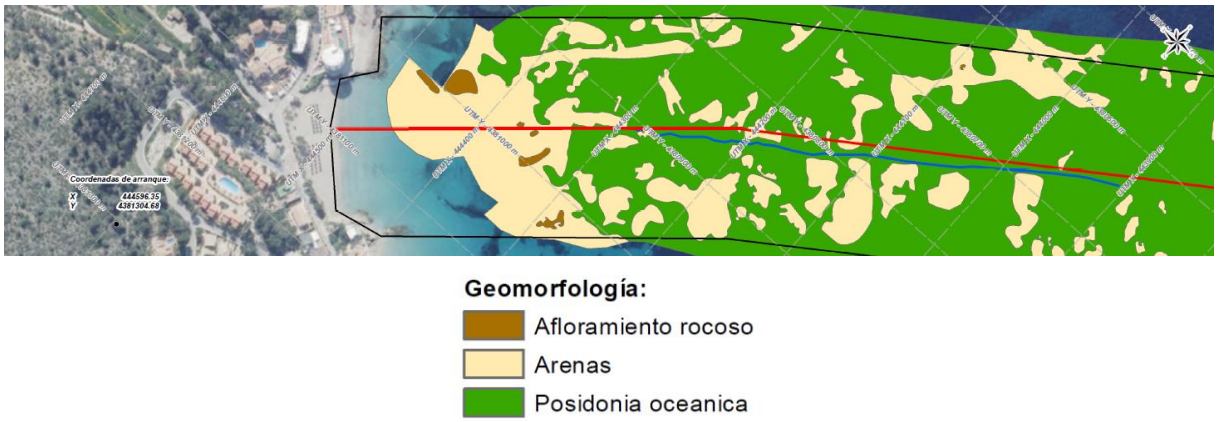


Ilustración 11. Geomorfología (Sonar de barrido lateral).

Se ha identificado posidonia oceánica en gran medida provistas de surcos o parches de arena:

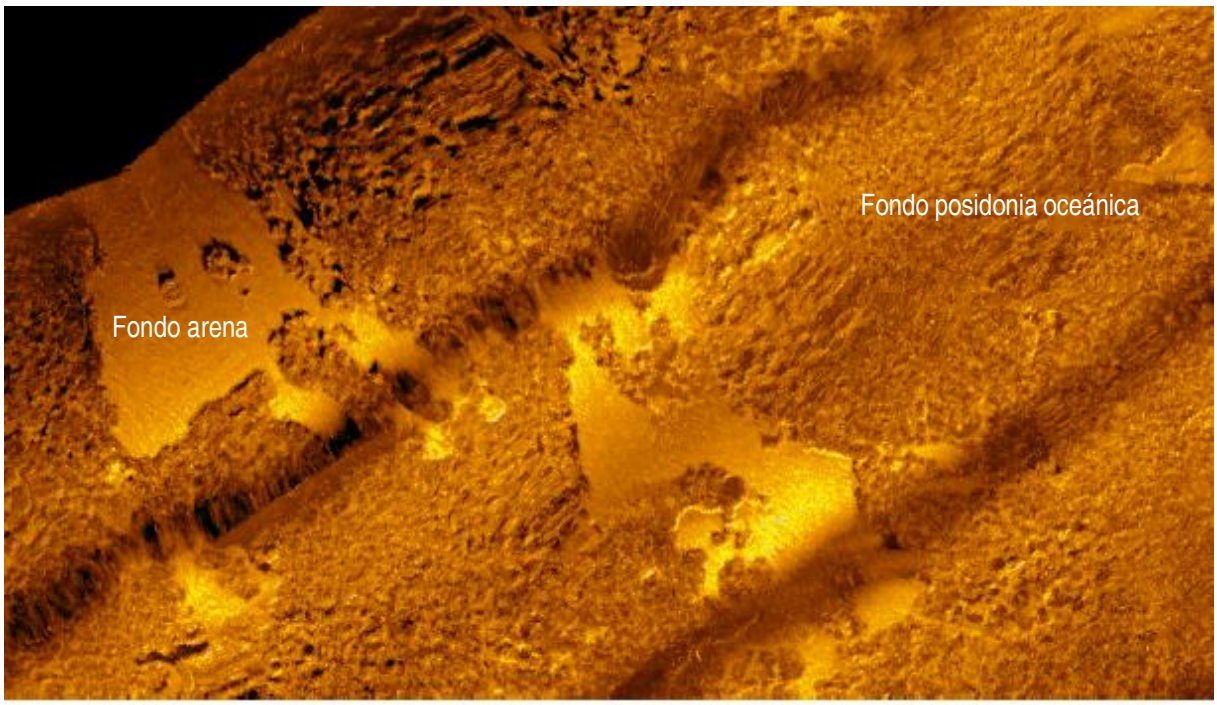


Imagen 6. Registro de SBL con posidonia marina y parches de arena.

5.5 CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE LA VIABILIDAD DE LA PHD COMO TÉCNICA DE PERFORACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DEL TRAMO DE TRANSICIÓN TERRESTRE-MARINO DEL EMISARIO.

Se realizan las siguientes consideraciones sobre la viabilidad de la técnica de la PHD para ejecutar el tramo de transición terrestre-marino del emisario de Sant Elm:

- Los sustratos geológicos identificados, según lo indicado en las conclusiones del apartado *5.2.3 Excavabilidad*, son adecuados para la perforación por rotación según la clasificación propuesta por Manuel Romana (1981 – 1983), si bien se deberán tener en consideración los aspectos comentados en los apartados siguientes, así como a lo especificado en el apartado *9. Excavabilidad de las unidades rocosas EOL/CAL* del *Apéndice nº 1: Estudio geotécnico del tramo terrestre del emisario* del *Anejo 3. Estudios de campo asociados a la geología y geomorfología para el estudio de viabilidad de la PHD*.
- La predecible pérdida de protagonismo del nivel CAL, de mayor dureza supondría bajos rendimientos de perforación y mayor desgaste de útiles conforme vaya avanzando la perforación en la zona marina. Por otro lado, se espera que el nivel CAC, de menor dureza, aumente su presencia.

- Se espera reducida probabilidad de derrumbes puntuales debido al reducido diámetro de perforación, pese a la poca inclinación del buzamiento que aflora en superficie.
- Elevada presencia de praderas de *posidonia oceánica* a lo largo de toda la traza del emisario. La ejecución de una PHD en el primer tramo del emisario minimiza las afecciones a la biocenosis y éstas únicamente se concentrarán en el punto de salida de la PHD al fondo marino.
- Minimización de la afección superficial en el último tramo terrestre previo a la llegada del emisario a la línea de Costa.
- Existe viabilidad física para la implantación del equipo completo necesario para llevar a cabo la técnica de la PHD.

Estas consideraciones permiten pensar en la viabilidad de la técnica de la PHD en el presente proyecto y por ende, se propone como proceso constructivo para ejecutar el tramo de transición entre la zona terrestre y la marina.

En el apartado siguiente pasa a diseñarse el alcance de dicha técnica, estudiando con más detalle los siguientes puntos:

- Emplazamiento y zonas auxiliares de obra
- Punto de salida al fondo marino
- Trazado en planta y perfil longitudinal
- Diámetro de la perforación
- Tipo de tubería a instalar
- Equipo de perforación a emplear

5.6 DISEÑO DE LA PHD A EJECUTAR

5.6.1 Emplazamiento y zonas auxiliares de obra

La implantación de una PHD precisa de una superficie aproximada de 500 m2. Existe disponibilidad de espacio en el mismo estacionamiento de tierra existente adosado a la Av. Jaume I.

En el apartado 5.1.1 del presente anejo se ha propuesto una zona para el emplazamiento de los equipos de la PHD. No obstante, el contratista deberá realizar una propuesta de implantación de instalaciones para solicitar y obtener autorización a las administraciones implicadas.

5.6.2 Punto de salida al fondo marino

A partir del estudio combinado del perfil sísmico y del estudio de la biocenosis se puede estimar el punto más adecuado para la salida de la PHD al fondo marino. Como criterios generales se ha tenido en consideración los siguientes aspectos:

- Salida al fondo marino en zonas sin presencia de *posidonia oceánica* u otra comunidad bentónica destacable.
- Salida al fondo marino con la menor potencia de sedimento no consolidado posible para minimizar los trabajos de dragado marino.
- Salida al fondo marino por frentes de terreno con el mayor desnivel posible con objeto de evitar situaciones de derrumbes en el extremo final de la perforación.

En este caso concreto, dada la elevada presencia de posidonia a lo largo de todo el trazado ha primado en la elección de la salida de la PHD la mínima presencia de potencia de sedimentos no consolidados y el mayor desnivel posible. Las pendientes de todo el perfil longitudinal del fondo marino son bastante suaves y no se detectan cortes en el terreno que puedan aprovecharse para generar una cala de PHD ortogonal al frente.

No obstante, se propone el entorno de la cota -20 para generar la salida. En esta zona se identifica un espesor reducido de sedimento y el sustrato rocoso fuerza ligeramente la pendiente.

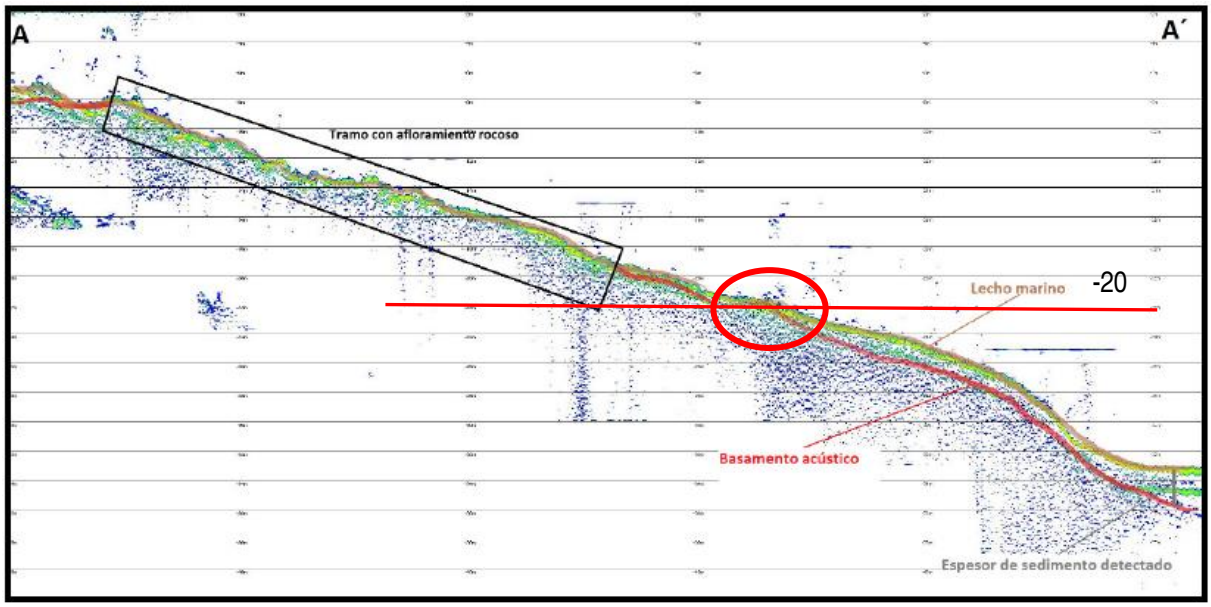


Ilustración 12. Perfil sísmico tipo A-A' de la zona prospectada con punto de salida.

5.6.3 Trazado en planta y perfil longitudinal

El trazado en planta de la PHD se propone totalmente en línea recta desde su inicio hasta la salida al fondo marino. Será en el punto de conexión entre el tramo terrestre y el inicio de la PHD donde la dirección del emisario sufrirá un giro de aproximadamente 60º con el que se continuará en línea recta hasta los difusores.

El perfil longitudinal proyectado de la PHD deberá formar un punto bajo a lo largo del trazado de la PHD con la intención de encarar la cala de la perforación lo más ortogonal posible al frente que formará el estrato rocoso en el fondo marino.

La pendiente ascendente que se generará en el tramo de la PHD será la mínima exigible y no superará los valores máximos calculados en el *Anejo 10. Cálculos Hidráulicos* del presente proyecto.

A continuación, se presenta propuesta de trazado en planta y en alzado. Esta información se define con mayor detalle en el *Documento 2. Planos* del presente proyecto.

5.6.4 Diámetro de la perforación

Tal y como se justificará en el apartado siguiente *5.6.5 Tipo tubería a instalar*, la conducción que albergará la perforación de la PHD será un tubo de PEAD de DN250. Se realizará una perforación cuyo diámetro interior libre sea al menos un 50% mayor que el diámetro estricto de la tubería, es decir 375 mm.

5.6.5 Tipo tubería a instalar

En el proceso de colocación de la tubería en el interior de la perforación, ésta puede sufrir rozaduras contra las paredes del propio túnel. Por eso, el polietileno a emplear en este caso debe ser RC resistente a la fisuración.

La tubería en el tramo PHD puede estar sometida a rozamientos, arañazos, punzonamientos y otros sufrimientos importantes, tanto en la colocación como en su uso, imposibles de cuantificar una vez instalada la tubería.

Long. PHD	825	m					
	PN10 - SDR7,4						
DN (mm)	esp (mm)	Dint (mm)	Área (mm2)	Máx. Tensión que puede recibir (TN)	Peso tubería/ml (kg)	Peso total tubería (TN)	Coef.
200	14,70	170,60	9.236,28	21,24	8,77	7,24	2,93
225	16,60	191,80	11.733,85	26,99	11,15	9,20	
250	18,40	213,20	14.451,33	33,24	13,73	11,33	
280	20,60	238,80	18.120,71	41,68	17,21	14,20	
	PN25 - SDR13,6						
DN (mm)	esp (mm)	Dint (mm)	Área (mm2)	Máx. Tensión que puede recibir (TN)	Peso tubería/ml (kg)	Peso total tubería (TN)	Coef.
200	27,40	145,20	17.215,93	39,60	16,36	13,49	2,93
225	30,80	163,40	21.771,24	50,07	20,68	17,06	
250	34,20	181,60	26.860,62	61,78	25,52	21,05	
280	38,30	203,40	33.690,44	77,49	32,01	26,40	

La tubería a instalar en el interior de la perforación será un tubo de PEAD 100 RC PN25 SDR 7,4 DN250 (espesor 34,2 mm). Esta tubería presenta un diámetro interior libre de 181,60 mm, ligeramente superior a una tubería PEAD 100 PN10 SDR 17 DN200, que dispone de un diámetro interior libre de 176.20 mm y por tanto no se pierde capacidad hidráulica. El mayor espesor le aporta una mayor capacidad de soportar tensiones de tracción. En el caso de la tubería propuesta se pueden alcanzar valores de tensión cercanos a las 60 Tn antes de alcanzar la tensión de tracción a la fluencia.

5.6.6 Equipo perforación a emplear

Se estima que la potencia de la máquina de perforación necesaria deberá tener una potencia comprendida entre las 50 y 100 Tn de tiro.

La potencia de tiro de la máquina se limitará para evitar alcanzar los valores de tensión de tracción a la fluencia de la tubería elegida.

El dimensionamiento de la maquinaria de PHD se realiza por las características de la perforación y no exclusivamente por el tubo a introducir. La potencia seleccionada se propone en connivencia con empresas especializadas de PHD. Las máquinas más habituales en el mercado son las de 50 Tn o 100 Tn y el criterio de elección es en base a la perforación, según se ha dicho.

La situación más crítica a la que se puede enfrentar la tubería es durante el proceso de tiro de la misma por el interior de la perforación, ya que por algún motivo no previsto se puede quedar enganchada (posibles desmoronamientos, etc). Ante esta situación, el punto débil es la unión de soldadura entre tubos y por tanto la limitación de potencia de la máquina se debe estudiar frente a esta acción. Si el diámetro aumenta la tracción necesaria será mayor pero nunca será limitante en condiciones normales de trabajo.

- Por otro lado, la empresa encargada de la perforación deber redacte un manual de la instalación detallando, entre otros puntos, los referidos a las fuerzas de tracción necesaria.
- Manual de instalación
- La empresa que realice el trabajo de la perforación deberá preparar un manual de instalación detallando todos los procedimientos requeridos para realizar el trabajo. En él se debe incluir:
- El método de instalación, incluyendo el equipo, la terminación del tubo, la inspección y los ensayos y todos los parámetros necesarios de acuerdo a los requisitos del método de instalación.
- El cálculo de las fuerzas de tracción necesarias para hacer avanzar un escariador o tirar del tubo, en función del diámetro del tubo, del tipo de suelo y de la profundidad del sistema enterrado.
- El diámetro exterior máximo del tubo respecto al diámetro del escariador.
- La fuerza de tracción máxima permitida sobre el tubo, declarada por el fabricante del tubo en función de la temperatura. En general, la fuerza de tracción máxima se calcula para limitar el esfuerzo máximo al 50 % a lo sumo dele límite de elasticidad del material.
- El radio de curvatura mínimo durante la instalación, declarado por el fabricante del tubo en función de la SDR y de la temperatura, y la longitud mínima asociada del pozo de inserción en función de la profundidad de la excavación.
- Los detalles del tipo de accesorios a utilizar.

El instalador debe proporcionar un registro detallado de la trayectoria de perforación según lo instalado, junto con la precisión con la que se proporciona esta información.

5.7 PROCESO CONSTRUCTIVO PHD

5.7.1 Generalidades

La técnica PHD utiliza una máquina en la que se giran y empujan varillas flexibles, propulsando a través del suelo un dispositivo de corte que generalmente está en posición oblicua. La direccionalidad se logra mediante la reacción de la cabeza inclinada contra el suelo cuando se empuja sin rotación. Con la ayuda de un dispositivo de localización, esta técnica permite que se establezca una perforación piloto con una dirección y una pendiente planificadas, tras lo cual se va ampliando el diámetro del túnel al ir retirando un escariador giratorio.

5.7.2 Proceso perforación

Para conseguir la perforación necesaria para la introducción posterior de la tubería se realizará un primer escariado (perforación piloto) de diámetro menor al necesario. En esta fase el objetivo es introducir un varillaje según el trazado previsto diseñado inicialmente, conectando la cata de entrada con la de salida. Es la fase más importante del proceso, ya que se deberán tener en cuenta los parámetros del diseño realizados.

Al finalizar la perforación piloto se topografiará el punto de salida, para verificar exactamente la posición y situación, para verificarlo y si es correcto proceder a los trabajos de ensanche.

El diámetro final de la perforación se conseguirá con un segundo o tercer escariado, en función de las características del equipo empleado. El primer escariado se realizará a empuje desde el lado de tierra hacia el mar. Debido al diámetro necesario se podrá realizar la perforación definitiva tanto a empuje como a tiro, según la información recopilada del terreno durante la perforación del primer escariado.

La fracturación que presentan las calcarenitas que se travesarán recomienda el uso de bentonita durante todo el proceso de perforación. Dicha bentonita ayudará a la contención de las paredes de la perforación durante la ejecución de la misma.

La instalación de PHD deberá incluir los equipos necesarios para la inyección de bentonita y su posterior gestión y tratamiento.

Una vez abierto el diámetro adecuado, es necesario, como tarea previa a la instalación del tubo, una limpieza del túnel, verificando el diámetro de ensanche para garantizar que no existen untos con menor abertura.

Hasta una profundidad de 3.6 metros respecto la rasante desde donde se iniciará la PHD existen dos niveles geológicos que presentan poca consistencia frente a las perforaciones. Por ello será necesario disponer de un encamisado metálico (casing) que estabilice la perforación a lo largo de ambos niveles.

5.7.3 Características de la bentonita

La bentonita es una roca compuesta especialmente por minerales del grupo de las esméticas. Las funciones que debe cumplir el lodo son:

- Extracción del detritus y limpieza del fondo del pozo
- Enfriamiento de la herramienta de perforación
- Control de presiones de formación y estabilización de las paredes
- Mantenimiento en suspensión del detritus
- Transmisión de potencia hidráulica al tricono
- Permitir la adición de agentes densificantes

Los principales parámetros del fluido de perforación son:

- Densidad: 1.05 g/cm3
- Filtrado: <25 ml
- Viscosidad: 60-70 s (embudo Marsh)
- Valor PH: Preferible 8. Correcto a partir de 7.2
- Contenido de sólidos: Máximo un 20%

5.7.4 Sistema de navegación

La perforación se controla en alineación y altura en tiempo real. Esto permite poder corregir la trayectoria en el mismo momento en que se detecta un problema.

El sistema de navegación que se emplea precisa del tendido de un cable de 6 mm de sección de cobre por la vertical del trazado de la perforación a seguir, cerrando el bucle para poder utilizar la posición del mismo como referencia para la perforación piloto.

Dicho cable será tendido por el fondo marino, topografiando las coordenadas de la instalación del mismo, llegando hasta la oficina de navegación de la máquina, donde se controlará su continuidad para realizar la perforación.

Este cable formará un circuito cerrado que genera un campo magnético controlado que permite localizar en todo momento la sonda acoplada al cabezal de perforación. El operador, navegador, actuará como en el caso anterior definiendo las maniobras a adoptar para garantizar el buen desarrollo de la perforación siguiendo el trazado previsto hasta la salida en el punto predefinido.

Para la localización del cabezal de perforación, será necesario el tendido del cable anteriormente descrito. Este cable será alimentado por corriente eléctrica (AC) para generar un campo magnético. El cabezal de perforación,

al igual que el sistema del cable, también será alimentado por un cable dentro del varillaje, de forma que el cabezal pueda situarse dentro del campo magnético generado y por lo tanto, conocer su posición.

5.7.5 Emplazamiento del tramo durante el proceso de soldadura para su posterior botadura

El tramo de tubería submarina, de 1.230 m de longitud y que comienza en el PK 1+391 se dispondrá siguiendo el trazado del Carrer San Telmo a s'Arracó, carretera que pasa junto a la EDAR de Sant Elm, según la siguiente imagen:

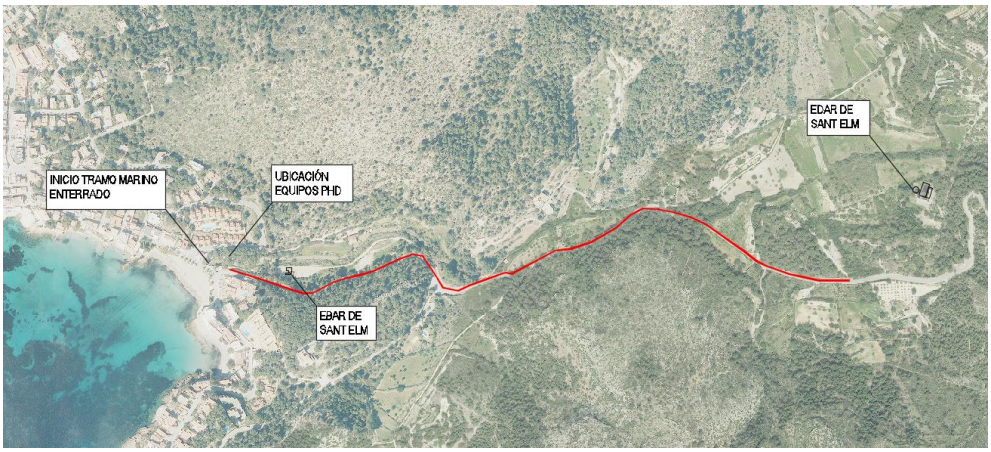


Imagen 7. Tramo terrestre ocupado por tubería submarina.

Se compondrá de 2 tramos, uno de 829 correspondiente a la PHD y otro de 401 m del tramo apoyado sobre el lecho marino. El tramo de la conducción a colocar podrá realizarse en dos tramos de manera que la longitud total necesaria a disponer sea del orden de la mitad, o en 3 tramos coincidiendo con la longitud del tramo apoyado indicado anteriormente. Esta decisión vendrá adoptada por el Director de Obra y se deberá prever una conexión mecánica embridada marina para la unión de los tramos.

La primera parte del tramo submarino quedaría acopiada, por tanto, al inicio de la carretera que pasa junto al estacionamiento no pavimentado para vehículos donde se ubicarán los equipos PHD.

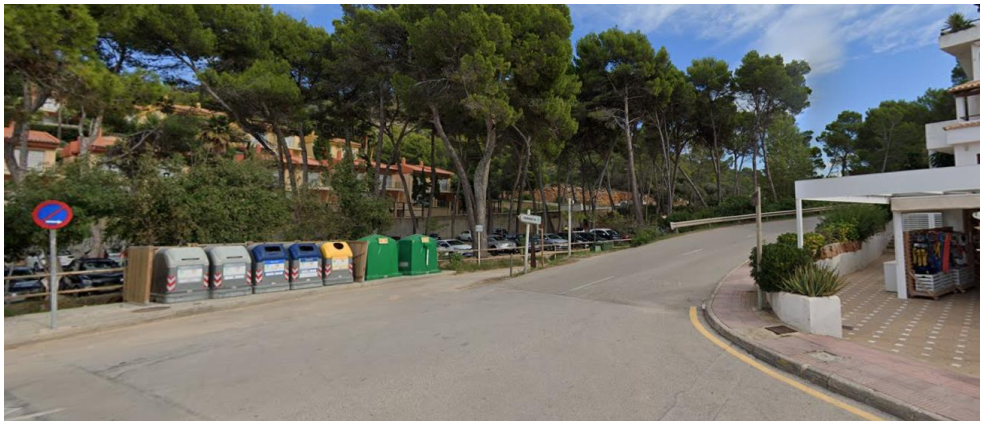


Imagen 8. Ubicación equipos PHD en estacionamiento y carretera para acopio de tubería.

Dicha carretera tiene una anchura de 5 m aproximadamente, por lo que se podrá disponer la tubería en un lateral de la carretera, debidamente protegida y señalizada, sin necesidad de cortar el tráfico por completo. Con una señalización adecuada se podría seguir utilizando la carretera en ambos sentidos de forma alterna.

En fase de obra se deberá evaluar, en cada uno de los tramos, las medidas necesarias para reducir al mínimo imprescindible los cortes de tráfico en las diferentes vías, así como la afectación a las distintas intersecciones por las que discurrirá la misma y accesos a las distintas fincas.

5.7.6 Proceso de hundimiento

Previo al traslado, hundimiento y colocación de la tubería, es indispensable elaborar un plan detallado de todas las operaciones necesarias para llevar cabo de forma satisfactoria el hundimiento de la tubería teniendo en cuenta todas las situaciones relevantes que puedan suceder durante la instalación. El Plan debe elaborarlo un especialista experimentado dependiente de la empresa responsable de ejecutar los trabajos, teniendo en cuenta los recursos disponibles y las condiciones particulares del proyecto y del lugar. El plan debe también prever los procedimientos a emplear en caso de que surja una emergencia.

El plan debe estar basado en cálculos para asegurar la instalación segura de la tubería, y como mínimo se deben de haber calculado y justificado los siguientes parámetros:

- Radios de curvatura en superficie y en el fondo, tensiones de flexión, fuerzas de tracción sobre la tubería
- Riesgo de pandeo, presión de pandeo y ovalamiento. Pandeo por flexión
- Presión del aire, presión máxima y capacidad del compresor.
- Velocidades de descenso y tiempo total del proceso (máximo 15 minutos)
- Cuando la tubería esté preparada, se llevará flotando a la línea de hundimiento. La operación de hundimiento deberá hacerse en un día de calma, sin oleaje ni viento. En ningún caso la altura de las olas debe sobrepasar 0,5 m durante la inmersión de la tubería. La tubería se colocará en la alineación correcta con ayuda de varias embarcaciones o pequeños botes. Previamente se habrá señalado esta línea con boyas situadas topográficamente (GPS).

La operación de colocación de la tubería en el interior del tubo es una operación continua, no tiene paradas y es una operación que puede prolongarse durante más de 48 horas. Es necesario que exista una previsión del tiempo buena a una semana vista. Esta operación queda totalmente condicionada a la meteorología.

La tubería se hundirá por su extremo más cercano a la costa.

En primer lugar, se hundirá el extremo cercano a la costa y se conectará convenientemente al varillaje instalado en la PHD. El extremo ubicado en el lado mar quedará en tensión, sujeto por una embarcación auxiliar. El

hundimiento se controlará mediante el control adecuado de la presión del aire (con un compresor) en el extremo exterior de la tubería y la aplicación de una fuerza de tracción en el mismo generada por la embarcación auxiliar.

Antes de proceder al embridado del extremo interior de la tubería, la presión interna del aire en el extremo exterior ha de ajustarse con la presión a la profundidad de conexión (por ejemplo, +1,5 bar si la profundidad inicial es 15 m). Para ello se utilizará el compresor.

Para hundir la tubería se tendrá que llenar de agua.

El extremo de la tubería que queda en el lado mar y que una vez instalada la tubería quedará en la boca de salida de la perforación estará siempre enganchada desde una embarcación de tiro que le aportará la tensión necesaria para que la figura de la tubería no varíe y haya riesgo de pandeo.

Para facilitar la alineación de la tubería durante su introducción en la perforación se colocarán varias eslingas a que funcionarán a modo de pasadores por los que pasará la tubería por su interior. Dichos pasadores estarán lastrados con un muerto de hormigón que garantice su estabilidad durante el proceso de tiro de la tubería.

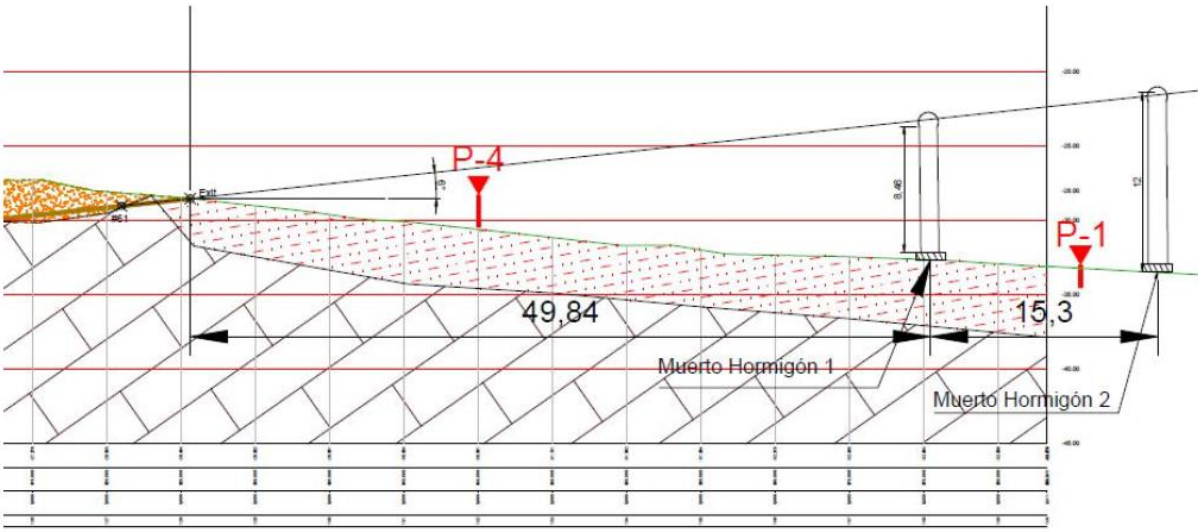
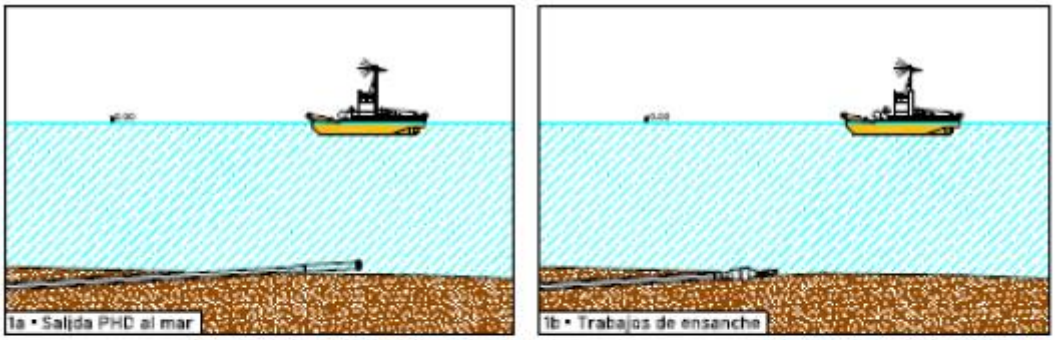
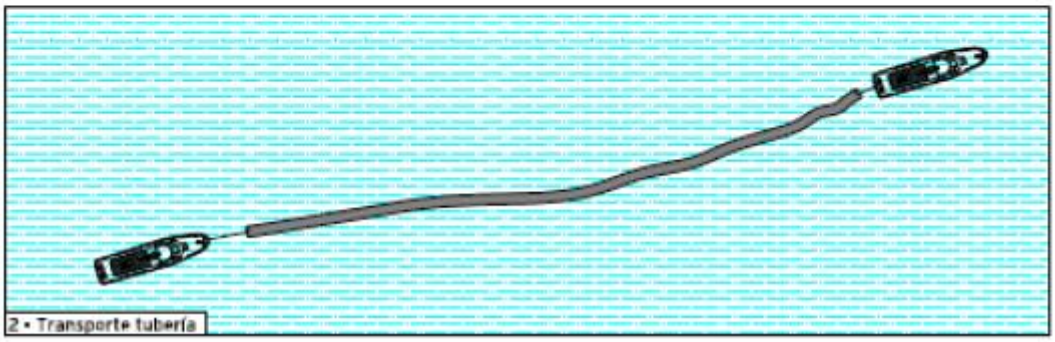
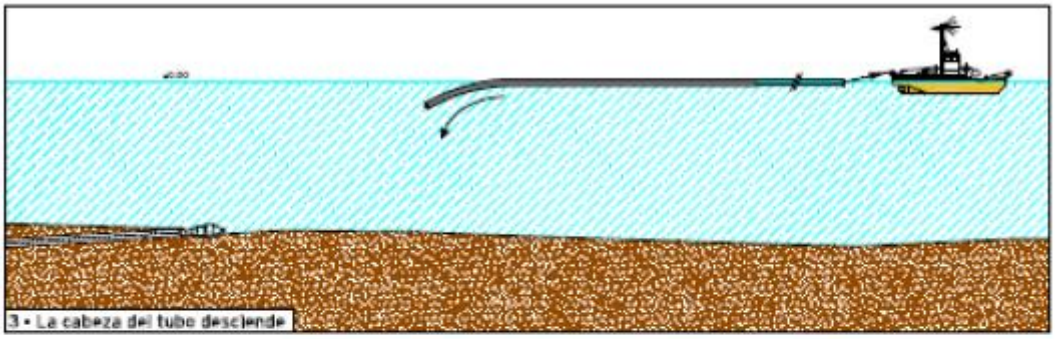


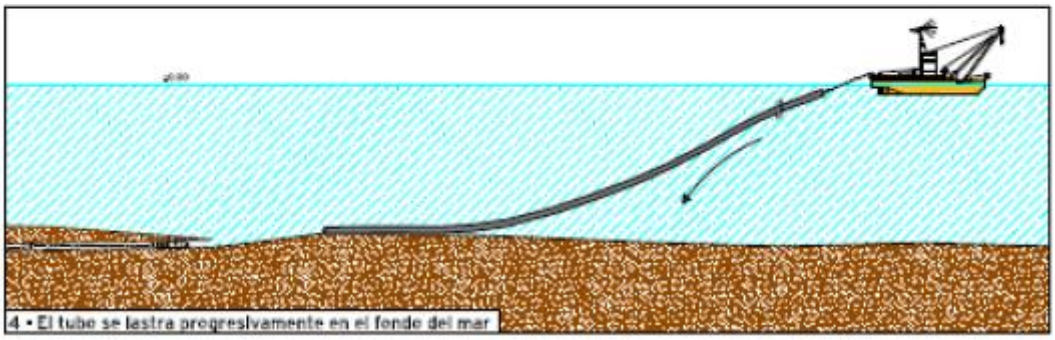
Ilustración 13. Introducción de la tubería en la perforación.

En las imágenes siguientes se muestra el proceso constructivo de colocación de la tubería en el interior de la PHD.


1a • Salida PHD al mar
1b • Trabajos de ensanche


2 • Transporte tubería


3 • La cabeza del tubo desciende


4 • El tubo se lastra progresivamente en el fondo del mar

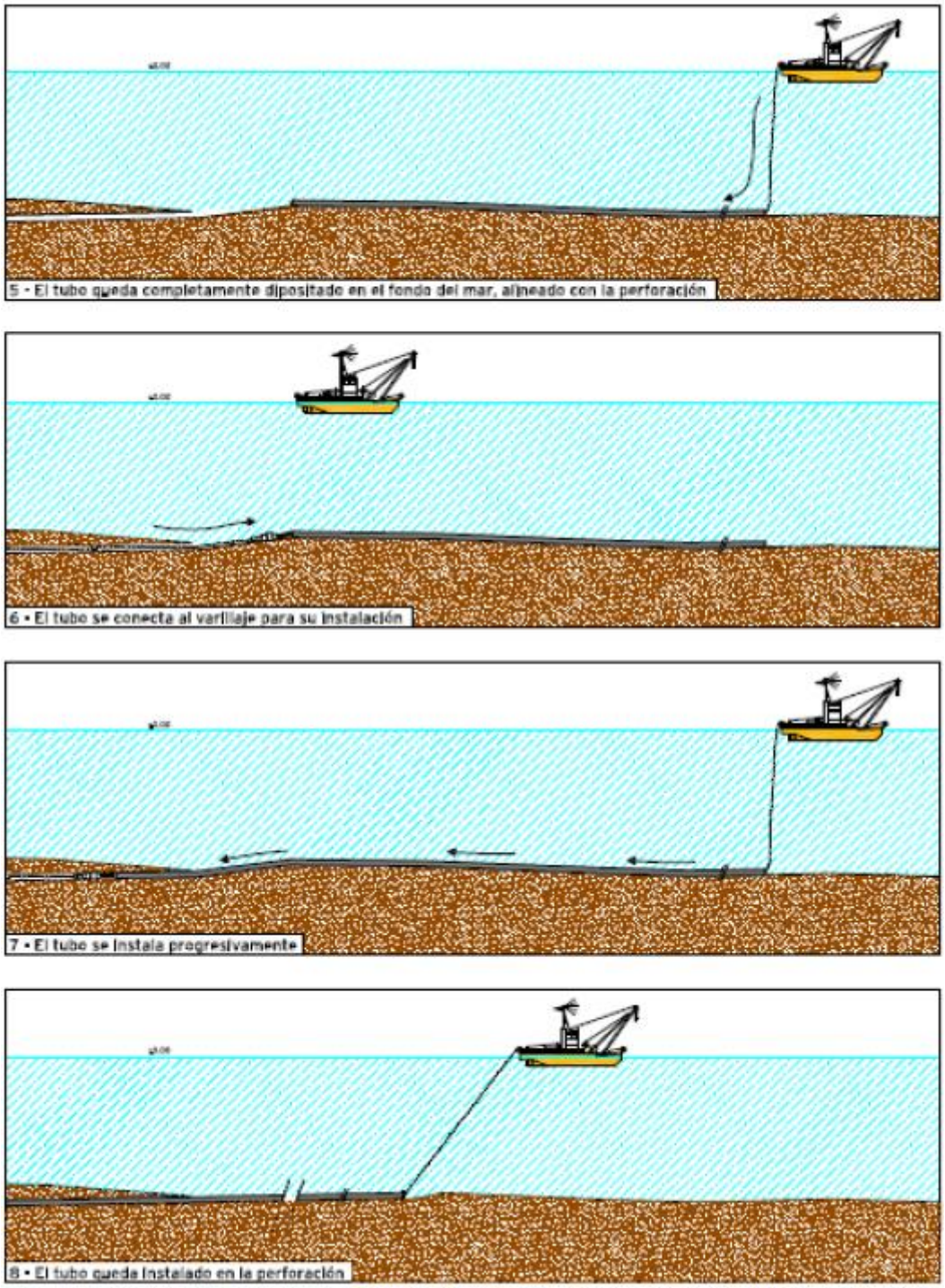


Ilustración 14. Proceso constructivo de colocación de la tubería en el interior de la PHD.

5.7.7 Procedimiento de trabajo

El contratista deberá elaborar un Procedimiento de Trabajo para la PHD y colocación de la tubería. En este documento debe venir definido de forma clara y concisa toda la metodología, materiales y procesos a llevar a cabo durante la ejecución de la PHD. Deberá venir definido:

- Campaña geotécnica específica
- Elección del equipo de perforación y de todos los equipos auxiliares (incluido el equipo de tratamiento de lodos) elegido a partir de los datos del estudio geotécnico. Los equipos deberán venir identificados y se deberá adjuntar la documentación que acredite que dichos equipos están en condiciones de poder llevar a cabo los trabajos.
- Ubicación exacta del equipo completo.
- Descripción de todos los trabajos a realizar
- Propiedades de la lechada de bentonita:
  - Densidad
  - Viscosidad
  - Valor pH
  - Volumen de circulación
  - Contenido de sólidos
- Definición del número de pasadas previstas del escariador
- Protocolo de actuación en caso de problemas sobrevenidos: cavernas, graveras, pérdidas de bentonita…
- Protocolo de control de volúmenes de lechada de bentonita y de cemento.
- Control medioambiental a llevar a cabo.
- Gestión de los residuos a llevar a cabo (coherente con el Plan de Gestión de Residuos a presentar por la constructora)
- Planes de colocación de la tubería en PHD, apoyada en lecho marino y tramo de difusores, según definición del apartado 2.2
- Cualquier otra información que se considere necesaria para la correcta definición del procedimiento.
- Protocolo ante situaciones sobrevenidas:
  - Pérdida de retorno de fluido
  - Cambio de geología
  - Atasco de varillaje
  - Rotura de tubo
  - Hundimiento de perforación

5.7.8 Gestión de residuos

La perforación se realiza mediante el empleo de bentonita que permite la contención de la perforación una vez perforada y el arrastre de los detritus hacia la boca de la perforación. La bentonita se inyecta a presión en el extremo de la perforación por el interior del varillaje.

La mezcla de la bentonita y el detritus forma un lodo de perforación que debe ser tratado.

El volumen estimado necesario de bentonita es 3 veces el volumen teórico de la perforación, si bien, dada la gran cantidad de situaciones sobrevenidas que pueden darse el volumen final empleado puede distar mucho de esta estimación.

Una vez se inyecta el lodo en el extremo de la perforación, éste empuja al lodo que ya se encuentra en su interior y es arrastrado hasta la salida del túnel, donde se instala la balsa de recogida de lodo y desde donde se lleva hasta las instalaciones auxiliares de tratamiento de lodos.

Los lodos pueden recogerse desde el lado tierra, mediante balsa de recogida a la boca del túnel o desde el lado mar, realizando en el fondo del mar, junto a la salida de la PHD un perímetro de almacenamiento de lodos que serán posteriormente succionados y llevados hasta la planta de tratamiento de lodos

Los lodos recogidos en la balsa se llevan hasta un equipo de centrifugado cuyo objetivo es separar de la mezcla la bentonita de los detritus de la perforación con objeto de poder reutilizar la bentonita.

El detritus, se separa del lodo y son acopiados en contenedores para permitir su transporte a vertedero. Este residuo es un material inerte que puede transportarse con facilidad.

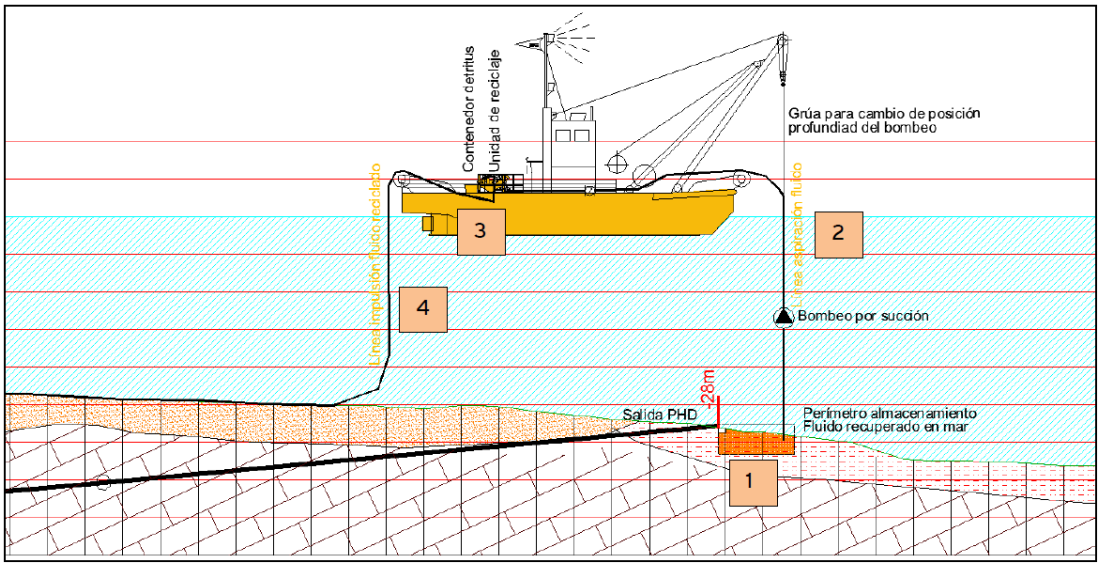


Ilustración 15. Proceso de succión de lodos en extremo de perforación.

5.7.9 Campaña ambiental previa

Previo al inicio de los trabajos, con objeto de disponer de unos valores de referencia para determinar una posible afección a las praderas de posidonia existentes en el entorno, sería necesario definir el alcance de la campaña ambiental durante la ejecución de las obras.

Esta campaña debería estar formada por:

- Cartografiado del fondo marino: Identificación del medio natural marcando la existencia de claros de arena.

- Inspección visual del trazado: Se realiza una valoración de la zona de estudio para optimizar las inmersiones posteriores. Se cubre un área de 5 m de anchura a cada lado del trazado emisario. Cada transecto, se realiza por una pareja de buceadores.

- Disposición de trampas de arena: Debido al dragado necesario, se instalarían en las praderas de posidonia cercanas que forman comunidades destacables trampas de arena que permitan determinar el grado de aterramiento que sufren los individuos debido a los trabajos de retirada de la instalación.

- Caracterización de las aguas marinas: Con el objeto de realizar durante los trabajos de dragado un control sobre la calidad del agua en el entorno de trabajo se caracterizaría el agua estudiando los siguientes parámetros:

  Analítica fisicoquímica de las muestras de agua marina.

  Perfil termohalino con el objeto de controlar el seguimiento de la turbidez asociada a los trabajos de retirada del emisario.

5.7.10 Campaña ambiental durante la ejecución de las obras

Durante la ejecución de las obras debe llevarse a cabo un seguimiento periódico sobre las medidas de control ambiental dispuestas. El seguimiento ambiental permitirá evaluar posibles afecciones a la biocenosis existente.

6. TRAMO MARINO APOYADO EN EL FONDO

6.1.1 Tipo tubería a instalar

La tubería a instalar apoyada en el lecho marino será un tubo de PEAD 100 PN10 SDR 17 DN200, con espesor 11,90 mm y diámetro interior 176,20 mm.

6.1.2 Emplazamiento del tramo durante el proceso de soldadura para su posterior botadura

Como se ha dicho en el apartado 5.7.5 de este documento, tanto el tramo de tubería submarina correspondiente a la PHD como el tramo apoyado se dispondrán siguiendo el trazado del Carrer San Telmo a s'Arracó, carretera que pasa junto a la EDAR de Sant Elm.

6.1.3 Preparación y lastrado de la tubería de polietileno

Consiste en la construcción de la parte apoyada de la conducción por tramos de entre 150 y 500 m de largo. En función del sitio disponible el proceso es el siguiente.

Se deberá de disponer en tierra de una superficie de trabajo suficiente para poder elaborar tramos de tubería de la longitud requerida, mediante la ejecución de las soldaduras necesarias y la colocación de los lastres.

La soldadura de los tubos se llevará a cabo mediante el método de termofusión a tope. En los extremos de cada tramo se dispondrán de tapas ciegas a las que se les insertará un picaje con una válvula de cierre que permita la entrada de agua y/o salida de aire.

Las soldaduras deberán ensayarse a tracción, cortando in situ soldaduras ejecutadas y ensayándolas en laboratorios acreditados. El plan de calidad y el Director de Obra definirán el número de ensayos a realizar. También se hará una prueba de estanqueidad a cada uno de los tramos.

Respecto a la colocación de la nueva conducción, en plataforma junto al mar primero se van soldando los tubos, piezas especiales. Se transportan los tramos hasta el lugar del fondeo con las bridas dejando entrar el agua por uno de los extremos de forma controlada. Se empalma al tramo anteriormente fondeado por medios submarinos.

Se ha previsto que los lastres se prefabriquen en factoría con control intenso de ejecución. Los lastres de hormigón armado se pueden colocar en tierra antes de lanzar al mar la tubería, o en una pontona. Deben sujetarse correctamente a la tubería para impedir deslizamientos durante la instalación. Se aplicará a los tornillos el momento de torsión necesario para garantizar el agarre. Para asegurar el agarre y no dañar la superficie de la tubería, se colocarán láminas de caucho o neopreno entre cada lastre y la tubería.

Las distancias entre lastres deben ser las indicadas en los planos, para cada tramo de tubería.

Las tuberías pueden almacenarse flotando en el mar, en un lugar protegido del viento y del oleaje, y deberán quedar bien ancladas.

6.1.4 Plataforma de unión de tubos

Los tubos, de unos 12 m de longitud, se almacenarán en horizontal y para evitar su ovalización no se apilarán más de 3 alturas, se moverán periódicamente o se rigidizarán con algunas aspas.

De la zona de almacenamiento se trasladarán a la plataforma de unión donde se habrá dispuesto la máquina de soldadura (por termofusión).

La soldadura se realiza en la misma línea de formación del tubo con una máquina especial que en sucesivas operaciones:

- Abraza y enfrenta los tubos.
- Mecaniza y prepara para la soldadura los extremos.
- Calienta los extremos.
- Suelda a tope.

Todos los elementos empleados en estas operaciones estarán resguardados bajo un cobertizo que los aísle de las inclemencias del tiempo, viento, etc.

Los lastres se habrán construido en una explanada adyacente y se transportarán hasta la plataforma para ser colocados sobre el emisario según se esquematiza en los planos del proyecto. Estos lastres dispondrán en su contacto con el tubo de unas juntas de neopreno tipo ATLAS que permitan su apriete y eviten su deslizamiento a lo largo del tubo.

Los lastres estarán calculados en dimensiones y peso para que una vez colocados todos en el tramo, estando éste con las tapas ciegas y sin agua, se hunda hasta la mitad de la generatriz.

El movimiento del tubo se realizará mediante trácteles situados en la cabeza de la plataforma. Para evitar rozamientos y problemas durante la botadura, los lastres rodarán sobre unas vigas en U dispuestas en la solera de la plataforma.

Al acabado de cada una de las barras, de 120 m de longitud máxima, se procede a la colocación de las tapas ciegas de sus extremos y seguidamente a las pruebas de estanqueidad.

Los elementos de rodadura se recuperarán una vez efectuada la botadura. Antes de esta operación deberá realizarse la prueba hidráulica de los tubos hasta su carga teórica de trabajo.

En esta fase los elementos auxiliares principales serán: camiones para transporte, grúa para manipulación de tubos, lastres, rodillos y trácteles.

6.1.5 Rampa de botadura y amarre provisional

La obra civil necesaria es mínima dada la gran flexibilidad del tubo.

Dada la escasa carrera de marea de la zona, se puede efectuar la operación de botadura de los tramos en cualquier momento del día sin tener que esperar a una marea ascendente. Una vez flotando los elementos se amarrarán a unos muertos que se deberán haber colocado previamente. En esta posición se mantendrán hasta el día de su traslado al fondeo, ya que en esta situación su seguridad es total ante las inclemencias meteorológicas (oleajes).

6.1.6 Plan de hundimiento

La fase crítica en la instalación de tuberías de PE es el hundimiento.

Antes del hundimiento es imprescindible elaborar un plan detallado del mismo que tenga en cuenta todas las situaciones relevantes que puedan suceder durante la instalación. El plan debe elaborarlo un especialista experimentado, teniendo en cuenta los recursos disponibles y las condiciones particulares del proyecto y del lugar. El plan debe también prever los procedimientos a emplear en caso de que surja una emergencia.

El plan debe estar basado en el cálculo de los parámetros a tener en cuenta para asegurar la instalación segura de la tubería, es decir, el radio crítico de curvatura de la tubería, la velocidad máxima de hundimiento, la función presión interna del aire – profundidad de hundimiento, y la fuerza de tracción a aplicar en el extremo de la tubería, que a su vez puede variar a lo largo de la operación de hundimiento.

Todos los parámetros se calcularán utilizando coeficientes de seguridad adecuados, en cualquier caso iguales o superiores a 2.

El hundimiento se hace por inundación controlada del tubo manteniéndolo en el plano vertical mediante el tiro por el extremo libre con un remolcador. La unión del tubo hundido y el que llega se hace con brida y al aire.

Para ello previamente se ha reflotado el extremo del tubo ya hundido y se coloca sobre una plataforma (a nivel de agua) con la curvatura pertinente para evitar esfuerzos excesivos. Se acerca el tubo que viene flotando y se realiza la junta sobre esta plataforma.

Una vez hecha esta operación se procede al hundimiento del conjunto mediante válvulas de admisión de agua y evacuación de aire. Este proceso debe estudiarse muy detalladamente, ya que en ningún momento se deben sobrepasar las tensiones admisibles de la tubería ni se producirán desplazamientos de los lastres.

La operación de hundimiento debe evitar grandes presiones y radios pequeños en el tubo. Los fabricantes de tubería facilitarán a los compradores programas de estudio en los que se fijan las velocidades y ritmos de llenado para evitar todo tipo de accidentes. La operación de hundimiento se realiza en 1 día y se requieren unas condiciones marítimas muy buenas.

El mantenimiento del tubo en la vertical de su ubicación definitiva, como se ha dicho anteriormente, se realiza mediante un remolcador tirando en cola.

En caso de que esta operación no fuera posible, existe la alternativa de hundir el emisario tramo a tramo y realizar la junta sumergida.

En este caso el hundimiento puede resultar bastante más sencillo, sin embargo, la ejecución de la junta debe hacerse sumergida y a medida, ya que es imposible prever la distancia a que quedarán los extremos de los tubos.

6.1.7 Radio de curvatura de la tubería durante el hundimiento

En general, los radios de curvatura en tuberías de polietileno PE-100 PN 10 (SDR 17), para evitar su colapso por pandeo, no deben ser inferiores a 30 DN, si el tendido de la conducción se realiza a 20 ºC o más de temperatura, y a 75 DN, si el tendido se realiza a 0 ºC. Para temperaturas intermedias, los radios de curvatura serán iguales a superiores a:

$$R_{mín} = (75 - 2{,}25\ T) \times DN$$

- T es la temperatura, en ºC, a la que se realiza el tendido de la conducción

- DN es el diámetro nominal de la tubería

Suponiendo una temperatura del mar de 12 ºC en invierno y un diámetro nominal de 200 mm, y aplicando un coeficiente de seguridad 2, resulta:

$$R_{mín} = 2 \times 48 \times 200 \approx 19{,}20 \text{ m.}$$

6.1.8 Emplazamiento de la tubería y comprobaciones antes del hundimiento

Cuando la tubería esté preparada, se llevará flotando a la línea de hundimiento. La operación de hundimiento deberá hacerse en un día de calma, sin oleaje ni viento y con una previsión a 48 horas de calma. En ningún caso la altura de las olas debe sobrepasar 0,5 m durante la inmersión de la tubería. La tubería se colocará en la alineación correcta con ayuda de varias embarcaciones o pequeños botes. Previamente se habrá señalado esta línea con boyas situadas topográficamente (GPS).

Antes del hundimiento, hay que comprobar que:

- todos los lastres están en sus posiciones correctas; hay que verificarlo mediante medición.
- los tornillos están apretados a su par final. Esto se aplica a los tornillos de los lastres de hormigón y a los de las uniones mediante bridas.
- todos los dispositivos auxiliares se encuentran preparados, entre otros:
    - manómetro (precisión de 0,01 bar)
    - bridas ciegas equipadas con válvulas de aire (entrada/salida)
    - compresor de capacidad y presión suficientes
    - bomba de agua de capacidad y presión suficientes
    - válvulas de toma de agua de diámetro apropiado

Deberá estar disponible un remolcador u otra embarcación para proporcionar la fuerza de tracción necesaria. Deberá conocerse cuál es la potencia máxima real de su motor.

Es preciso asegurar que en todo momento el sistema de comunicación entre los diferentes operarios sea efectivo.

La conexión entre el inicio del tramo apoyado (PEAD 100 PN10 SDR 17 DN200) y la salida de la tubería del tramo PHD (PEAD 100 RC PN25 SDR 7,4 DN250) se realizará mediante pieza reductora prefabricada DN 250 mm x DN 200 mm de PEAD con picaje de registro con portabridas y brida ciega DN 100 mm, según se detalla en los planos.

7. COLOCACIÓN DE LAS TUBERÍA DIFUSORA

La tubería difusora se montará en tierra y posteriormente se trasladará y hundirá en las alineaciones de colocación.

Puede hundirse como la tubería principal, por el método clásico, en cuyo caso se tendrán que perforar las bocas difusoras en el fondo del mar por los buceadores.

Más habitualmente las bocas se perforan en tierra y las tuberías difusoras se fondean como si fueran vigas, en posición horizontal, ancladas por varios puntos, desde unas barcazas. Previamente se habrán colocado los lastres y los elementos de flotación necesarios para que el hundimiento sea lento y seguro.

Los elementos de flotación deben soportar la presión del agua a una profundidad de hasta 30 m. No han de deslizarse por la tubería durante el hundimiento.

Los buceadores tienen que acoplar las tuberías difusoras a la tubería principal en el fondo del mar y comprobar que los lastres quedan adecuadamente colocados sobre el fondo marino.

8. REVISIÓN DE LA TUBERÍA COLOCADA

Al tiempo que se retiran los flotadores amarrados a la tubería, se revisará que todos los lastres hayan quedado bien colocados sobre el fondo marino, en posiciones estables, así como que el perfil de la tubería no presenta ningún punto alto relativo trascendente. En caso de que no sea así, se deberán hacer las operaciones necesarias para remediarlo, tales como remover o excavar piedras, rocas o arena de debajo de los lastres, con la ayuda eventual de globos e instrumental y maquinaria adecuados.