

Tendido de la tubería submarina en el aprovechamiento de los recursos hídricos de la Sierra de Tramontana

Beatriz Iturriaga Núñez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Departamento de Presas y Obras Hidráulicas de FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.

BIturriagaN@fcc.es

Introducción

La escasez de agua afecta a todos los países y a casi la mitad de la población de nuestro planeta y, más concretamente en España, es un tema que tiene especial controversia social y política.

A pesar de que el clima típicamente mediterráneo de Mallorca y los más de 300 días soleados al año son envidiados en toda Europa, estas condiciones climatológicas junto con el crecimiento constante de la población residente y estacional, ponen en aprieto a los responsables de garantizar el suministro de agua en condiciones de calidad y cantidad suficientes.

Por este motivo desde hace tiempo se lleva desarrollando el aprovechamiento de los recursos hídricos de la Sierra de la Tramontana, consistente, junto con otras actuaciones, en realizar las infraestructuras necesarias para la recuperación del agua que se vierte al mar en el manantial de Sa Costera. Unos 10 Hm³ se vertían anualmente en el torrente, con un caudal medio de unos 0.6 m³/s, que supone aproximadamente un tercio del consumo de la Bahía de Palma.

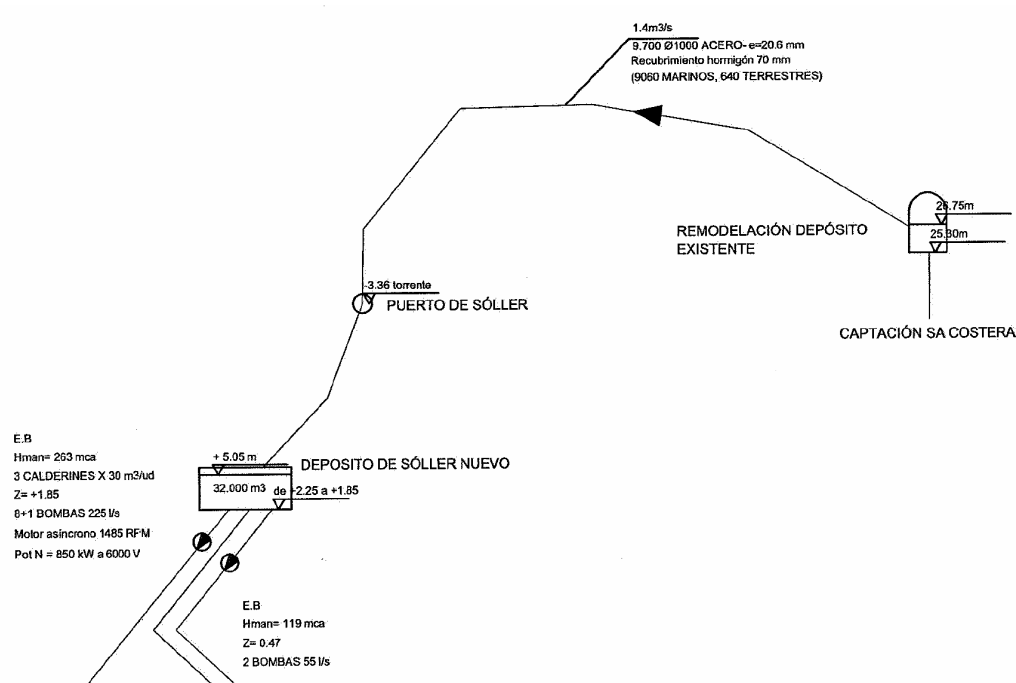
La captación del agua del torrente de Sa Costera es un viejo empeño que hasta hoy no se había podido realizar debido al enorme esfuerzo técnico y económico que suponía superar la abrupta orografía y la falta de accesos a la zona.

En las obras de aprovechamiento de los recursos hídricos de la Sierra de Tramontana se incluye, entre otras cosas, la captación de agua del gran manantial de Sa Costera y su conexión mediante 9670 m de tubería submarina con el Puerto de Sóller.

Ya en tierra, las nuevas infraestructuras construidas permiten unir los 1400 l/s de caudal máximo de Sa Costera con los 400 l/s proveniente de los excedentes del valle de Sóller. Este caudal a su vez es conducido atravesando el túnel de Sóller hasta un punto cercano a Palmanyola donde la conducción se bifurca en dos ramales, permitiendo indistintamente llevar el agua hasta los depósitos reguladores de Son Pacs o hacia Sa Estremera, dependiendo de las necesidades de cada momento.

Este sistema contempla la posibilidad de circular el agua de forma reversible, de manera que, entre otras opciones y además de suministrar agua a la Bahía de Palma, también se pueda infiltrar al acuífero confinado de Sa Estremera mediante la construcción de 4 nuevos pozos, contribuyendo así a su recuperación. Este acuífero, dentro de los que se utilizan como depósitos naturales de agua, es el de mayor capacidad de la isla.

De esta forma, además de introducir un importante caudal para todo tipo de usos, se contribuye de una manera decidida a la protección de nuestro medio ambiente, al poderse ahora recargar el acuífero de Sa Estremera, que históricamente ha sufrido una notable sobreexplotación. Además, el agua de Sa Costera permite reducir la presión sobre las desaladoras, con el consiguiente ahorro económico y reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.



Esquema de la conducción

Las aportaciones adicionales de agua que llega desde Sa Costera se incluyen dentro de un sistema integrado de la gestión de los recursos hídricos de Mallorca, que en un futuro también podrán conectarse con las bahías del norte de la isla.

Para conseguir que el área más poblada de Mallorca pueda beneficiarse del agua de Sa Costera, ha sido necesario poner en marcha una singular obra de ingeniería, de la que destaca la colocación de la conducción submarina, una conducción que se ha tendido empleando la misma tecnología empleada en la ejecución de oleoductos y gaseoductos.

Además de unos importantísimos medios técnicos, para la preparación de los trabajos FCC construcción, S.A. ha contado con un equipo de obra altamente cualificado, que ha desarrollado el diseño y la ingeniería del tendido de la tubería submarina, una labor indispensable para materializar con éxito esta emblemática conducción.

Los trabajos necesarios para la instalación de la referida tubería submarina se dividen en las siguientes actividades:

- Ingeniería de detalle e instalación
- Suministro de materiales y fabricación
- Apoyo técnico para la definición de la traza submarina
- Transporte de las tuberías en barcaza desde el Puerto de Alcudia hasta su emplazamiento
- Colocación de la tubería submarina en dos trazados
- Unión de los dos trazados de la tubería mediante el método TIE-IN.

Tubería

Características

Los tubos están fabricados en acero de calidad X-65, según la norma API 5L:2000, tienen 40 pulgadas de diámetro exterior (1016 mm) y su espesor es de 20.6 mm, debido ya no por las presiones de diseño sino por los esfuerzos a los que va a estar sometida la tubería durante la construcción.

Para proteger la conducción metálica frente a la corrosión lleva un revestimiento interior con pintura epoxi de uso alimentario de 300 micras de espesor y otro revestimiento exterior constituido por tres capas de polietileno con espesor total de 3.0 mm, más un recubrimiento de hormigón de alta resistencia de 85 mm ó 70 mm de espesor según el cálculo de diseño. Este recubrimiento adicional de hormigón, además de proteger exteriormente la tubería, su función principal es proporcionar lastre suficiente para asegurar su estabilidad en el lecho marino.

Además de la protección pasiva anteriormente mencionada, se instaló una protección catódica formada por un total de 103 ánodos de sacrificio de Al-Zn-in.



Descarga de los tubos

Uniendo tubos de 12.20 m de longitud y un peso comprendido entre 14 y 18 toneladas por unidad, se han ido cubriendo los 9670 m de tramo submarino, que separan Sa Costera del Port de Sóller, el punto de enlace en tierra con la red hidráulica de la Bahía de Palma y su entorno inmediato.

Transporte y manejo

En la recepción de los tubos se realizó una primera inspección visual para detectar cualquier posible irregularidad, y en caso de haberlas, se rechazaba el tubo y se comunicaba.

Los tubos quedan acopiados en el Puerto de Alcudia, desde donde se transportaron hasta el Crawler en las barcas. El manejo de la tubería se hizo con precaución de no hacer ninguna clase de daño o perjuicio a la tubería.

El acopio sobre las barcas de transporte se realizó en un máximo de 3 alturas.

Se utilizó un sistema propio de trazabilidad que permitía conocer el camino recorrido de cada tubo desde su salida de la fábrica hasta su colocación en el fondo marino, asignando a cada tubo un código personal.

La información final queda agrupada en las siguientes actividades:

- Transporte en la barcaza
- Instalación de la tubería en la traza
- Inspección de la ejecución (as-built)
- Informes de soldadura y NDT (ensayos no destructivos)
- Informes generales.

Dragado

Desde la captación de Sa Costera la tubería discurre paralela a la costa hasta llegar al Puerto de Sóller y descansa en el fondo marino simplemente apoyada por su propio peso (debido al revestimiento exterior adicional de hormigón), llegando a profundidades de hasta 54 metros.

Sin embargo, en las proximidades a tierra en la zona de Sa Costera y en el interior de la Bahía de Sóller, ha sido necesario ejecutar zanjas, para enterrar la tubería con la finalidad de protegerla y proporcionarle estabilidad frente a los fenómenos litorales. Esta zanja se realizó hasta que la profundidad del mar llegaba a los 18 m y a partir de ahí simplemente apoyada en el fondo.

Las zanjas tienen entre 2 y 4 metros de profundidad y unos 3 metros de ancho en su base.

Para su ejecución se ha empleado medios diversos según el tipo de terreno dragado, que ha variado desde arenas y terreno suelto hasta rocas de gran dureza.

El barco Crawler

Planteamiento general

El tendido de la tubería submarina de Sa Costera se realizó mediante una embarcación especializada, denominada D. L. B. Crawler, una de las pocas existentes en el mundo con capacidad de llevar a cabo esta operación. El Crawler iba equipado con stinger de 65 metros, equipo de posicionamiento y equipo de buceo para las actividades en aguas someras.

Además se necesitaron diversos equipos que tomaron parte durante la ejecución, como un remolcador para el manejo de anclas, un remolcador para suministro, barcasas de transporte, una estación de previsión meteorológica a bordo con boletines vía télex cada seis horas, cubriendo las siguientes 24 y 48 horas, un barco de inspección equipado con sonda acústica, sónar lateral, perfilado de superficie marina y sistema de navegación, etc.



Barco D.L.B. Crawler y barcaza de transporte de tubos

El Crawler es una plataforma flotante que tiene una eslora de 145m, una manga de 34 m, un calado de 14 m y desarrolla sus trabajos a triple turno para cubrir las 24 horas del día.

Este barco-factoría cuenta con una tripulación de 220 personas, y el material necesario para la colocación de la tubería (cabezas de tiro y abandono, tanques de flotación, cabeza de contingencia, flejes metálicos, clips, etc...)

Montaje de la tubería

La labor del barco Crawler que constituye toda una fábrica flotante, empieza con la recepción de las tuberías acero. Una vez a bordo las tuberías se someten a una última inspección visual antes de comenzar el proceso de montaje y de ensamblaje que tiene lugar en el barco.

La cadena de montaje está compuesta por siete estaciones:

1. Biselado y preparado de los bordes. Soldadura raíz.
2. Soldadura.
3. Soldadura.
4. Enfriamiento. Ensayos no destructivos
5. Enfriamiento. No accesible.
6. Reparación de soldaduras (si se da el caso). Junta externa. Junta interna.
7. Junta externa. Junta interna.

Estación 1

En esta estación se preparan los bordes de la tubería para la soldadura a tope. El primer paso es limpiar los extremos del tubo para justo después realizar el biselado de los bordes.

También se inicia la soldadura en la estación 1 de la línea de montaje del buque, llamada soldadura raíz.



Biselado de las juntas de los tubos

Estaciones 2 y 3

En el buque-factoría se lleva a cabo la unión de las tuberías, en un proceso continuo que se realiza con la más avanzada tecnología de ejecución y control, aplicada a todos y cada uno de los cordones de soldadura. El último de los citados cordones se ejecuta en la estación 3.



Soldadura a tope de las juntas

Estaciones 4 y 5

Las soldaduras de la tubería se someten a distintas pruebas y ensayos no destructivos, para comprobar su adecuada ejecución y el cumplimiento estricto de los parámetros de inspección y control. Entre estas pruebas se encuentran una inspección automática de la soldadura, mediante ultrasonidos, una vez enfriada, así como inspecciones manuales y visuales permanentes.



Control de la soldadura mediante ultrasonidos

Esta fase de control de soldaduras ya finalizadas tiene lugar en las estaciones 4 y 5.

En todo el proceso de ensamblaje, tiene un papel decisivo el equipo tensionador, que soporta todo el peso de la conducción y va moviendo las tuberías, de esta forma la estación 5 no es accesible debido a que los tensores se encuentran anclados a ambos lados de esta posición.



Equipo tensionador para movimiento de las tuberías

Estación 6

Comprobada y terminada la soldadura, se pasa a la estación 6 donde se pone un manguito termorretráctil de polietileno para proteger la junta frente a la corrosión.



Colocación del manguito de polietileno termorretráctil

Estación 7

Una vez que el tubo llega a la fase final de la cadena de montaje, exactamente en la estación 7, se coloca un molde metálico que rodea la junta entre tubos. Una vez fijado el molde se introduce grava de canto rodado para finalmente inyectar poliuretano.

De esta forma se consigue la continuidad en el recubrimiento exterior de la tubería.



Colocación del molde metálico y protección exterior de la junta con grava y poliuretano

Recubrimiento interior

La ejecución de la junta interna se realiza en las estaciones 7 y 4, parando la actividad en la línea de producción.

Al tratarse de una tubería para transportar agua potable, y no gas o petróleo como es habitual en este tipo de trabajos (no olvidemos que esta tecnología es propia de los gaseoductos y oleoductos), su interior está recubierto por una capa a base de resina epoxi apta para uso alimentario (sin disolventes) de 300 micras de espesor excepto, lógicamente, en los bordes donde se han realizado las soldaduras.

Para poder tratar estas zonas, es necesario que cada cierto tiempo se pare la cadena de montaje para permitir que un trabajador especializado se introduzca por la tubería y recubra con resina la zona de la junta. Cada vez que el operario accede al interior realiza el recubrimiento de 4 juntas.

Soldadura de unión

El tendido de la tubería se realiza siempre empezando en la costa. Por esta razón la obra se lleva a cabo en dos fases, una desde el Port de Sóller hasta aproximadamente la mitad del recorrido y la otra desde Sa Costera hasta ese mismo punto.



Punto de unión

Aproximación a costa

La maniobra de aproximación de la tubería a costa es una de las más complejas y delicadas puesta que la conducción tiene que soportar importantes tensiones durante el proceso.

Esta parte tiene una dificultad especial motivado por la situación de riesgo que provoca el tener que trabajar con elementos sometidos a fortísimas tensiones.

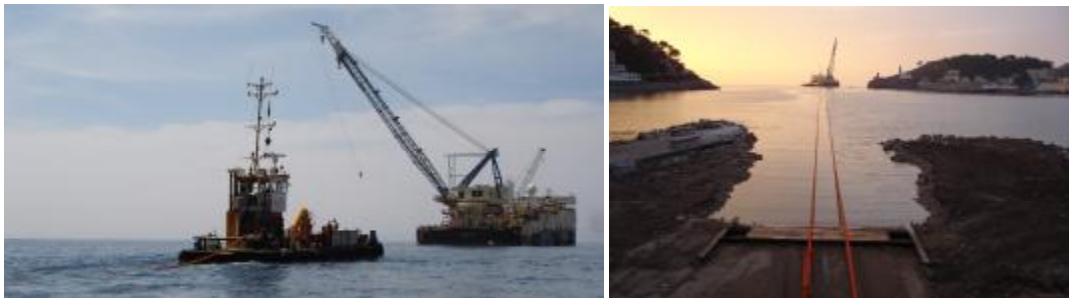
Previamente a las operaciones, tanto en Sóller como en Sa Costera se ejecutaron los elementos de anclaje necesarios, consistentes en una estructura de hormigón armado, una en la desembocadura del torrente de Sóller y otra en Sa costera.



Arquetas de tiro en Sóller y Sa costera

La arqueta de Sóller fue provisional, por lo que bastó con una solera un unos bloques prefabricados que le conferían el peso suficiente y que posteriormente pudieran ser reutilizados. Sin embargo en el caso de Sa Costera la arqueta sirve posteriormente para dar servicio a la cámara del pig y al llenado y mantenimiento de la conducción.

Tras la llegada y posicionamiento del barco se procede al acercamiento de una guía de polipropileno, ligera y resistente, desde el Crawler hasta la costa, dado que éste por su calado no puede acercarse más al litoral.



Aproximación de la guía a costa

Con la participación de una embarcación auxiliar y de una lancha neumática, los operarios transportan esta guía flexible y de poco peso hasta alcanzar tierra. Una vez en la costa la guía se pasa por una polea que está unida al bloque de anclaje correspondiente, y se lleva de nuevo al barco.

Posteriormente se enlaza la guía a un cable de acero que la sustituirá y que será la que finalmente se conecte con al cabeza de tiro de la conducción, soportando los esfuerzos de la operación de colocación de la tubería.

Después de que el cable está de vuelta en el barco, éste se desplaza lateralmente para alinear la salida de la tubería con la zanja dragada y la polea de tiro. El cable de acero se suelda a la cabeza de tiro que va enganchada mediante una argolla al cable.

Una vez que el Crawler está perfectamente alineado con la polea de tierra y el cable de acero se encuentra conectado a la cabeza de tiro de la conducción, se tira de ésta iniciándose la aproximación a costa de la tubería.

Simultáneamente, en el interior del barco, se van realizando las soldaduras para unir los distintos tramos de la tubería.

Tirando del cable la conducción se va acercando a tierra sin que el barco se mueva hasta que se alcanza la arqueta de conexión situada en la costa.

Esta operación se realiza tanto en Sa Costera como en el Port de Sóller.

Colocación de la tubería

Una vez realizada la aproximación a costa continúa el tendido normal hasta el punto de abandono de la tubería.

Con cada tubo colocado el Crawler modifica su posición colocando los anclajes de proa y largando los de popa, hasta que su avance hace necesario el reposicionamiento de las anclas, procedimiento realizado con ayuda del AHT (Anchor Handling Tug) o remolcador de manejo de anclas.

La conducción se tiende en dos líneas o tramos, que quedan abandonados, uno junto al otro en el fondo marino. La primera fase partió desde el Puerto de Sóller y la segunda desde Sa Costera.

En ambos extremos han sido soldadas previamente en el barco, sendas cabezas de cierre que evitan la entrada de agua de mar en la conducción. En concreto los dos tramos de la tubería de Sa Costera han sido abandonados a una profundidad aproximada de 40 m en el punto en que la conducción cuenta con 5400 m desde Sa Costera, en una zona elegida por presentar un fondo marino arenoso y plano.

La operación de abandono de estos dos tramos de tubería exige una especial precisión en las maniobras del buque ya que deben quedar perfectamente alineados los dos cilindros.

Tanto en este punto en particular como en el resto de los trabajos del buque, juegan un papel esencial los remolcadores encargados de dejar las 8 anclas que permiten avanzar al Crawler, siguiendo una ruta muy precisa sobre la superficie marina.

La tolerancia fue de ± 10 metros en la colocación sobre la traza, reduciéndola a ± 5 metros en los últimos 300 m.

Unión final

Una vez que los dos tramos de tubería se encuentran alineados en el fondo marino, ya es posible ejecutar su unión final. Esta operación se realiza fuera del agua, con la ayuda de 6 grúas que trabajan sobre la cubierta de babor del Crawler.

Para ello se extraen los dos tramos de tubería del agua, se sitúa una plataforma de trabajo sobre el agua bajo el punto de unión y se cortan las cabezas de abandono.



Extracción de los dos extremos de tubería y unión

En ese momento, un gato capaz de ejercer una fuerza de 120 toneladas, asegura la alineación perfecta de las dos mangas. Es aquí donde tiene lugar la última soldadura que se realiza de forma manual y en la que se utiliza el ensayo de control mediante partículas magnéticas para ver que la zona de corte no se ha laminado y posteriormente, con la soldadura ya ejecutada se hace el control mediante ultrasonidos.

Por último, se recubre la unión mediante manguito termorretráctil y se remata la junta con poliuretano y grava de canto rodado con poliuretano para recubrir y proteger por completo la soldadura.

Finalmente se deja la tubería de nuevo en el fondo marino, tal como se había proyectado.

Llenado de la conducción y prueba de la tubería

Finalizado el tendido de la tubería submarina, el siguiente paso consiste en llenar y limpiar interiormente la conducción.

Justo después se verifica su perfecto funcionamiento mediante prueba hidráulica.

Dispositivo Pig

El dispositivo pig, comercialmente llamado “polly pig”, es un elemento que ocupa toda la sección de la tubería, puede avanzar a través de ella, y según su forma y los materiales que la conforman, puede servir para diversas cosas como obturar la conducción, raspar de las paredes de depósitos o incrustaciones, repintar la tubería, e infinidad de funciones que hasta se pueden diseñar a medida según las necesidades de cada caso.



Pigs de espuma de poliuretano

El tipo tradicional es el pig compuesto por una espuma abierta y flexible de poliuretano, capaz de circular por codos con pequeño radio de curvatura, derivaciones, reducciones, etc. Las precauciones que hay que tener son que no pueden circular por codos mitrados y que necesitan una derivación terminal para su extracción.



Terminal del pig que queda instalado en la arqueta de Sa Costera

Llenado de la conducción

Fase 1

Esta operación se inicia en Sa costera, mediante la introducción en la conducción de un primer cilindro de gomaespuma denominado pig, que se adapta a los contornos de la tubería.

Se inyecta agua limpia en Sa Costera que va empujando el pig en un recorrido de 500 m.



Primera fase de llenado

Fases 2 y 3

Es entonces cuando se lanza un segundo pig y el agua que se introduce en la conducción a partir de ese momento contiene hipoclorito sódico para asegurar la desinfección de la tubería y conseguir unas condiciones sanitarias perfectas.



Introducción de agua clorada

Fases 4 y 5

Cuando se produce la llegada del primer pig al puerto de Sóller, el agua situada entre ambos pigs, no tratada con el hipoclorito es conectada al emisario submarino que viene de Sóller y que vierte fuera de la bahía.



Recepción del primer pig

Prueba de la tubería instalada

En este momento se empieza a introducir en la conducción la presión de 23 atmósferas para comprobar la estanqueidad y el adecuado funcionamiento de la totalidad de la conducción.

La presión se debe mantener durante 24 horas, disponiendo de una tolerancia del 2%, valor que no excedió en ningún momento.

Conclusiones

Pasados 40 días después del inicio de los trabajos del tendido para la conducción del agua de la fuente de Sa Costera, y muchos años después de que estos trabajos fuesen sólo un proyecto, el agua de Sa Costera llega al Port de Sóller en beneficio de todos y en particular de los ciudadanos y del medio ambiente de la Bahía de Palma, el valle de Sóller, de Bunyola y de Palmanyola,

La exitosa colocación de este acueducto de Sa Costera es una parte importante pero no la única de esta obra y de este proyecto hidráulico de aprovechamiento de los recursos hídricos de la Sierra de la Tramontana.

Esta obra constituye todo un paso adelante hacia la consolidación de una red integral de gestión de recursos hídricos para la isla, que pronto conectará el sur con las bahías del norte. Todo un avance que favorece tanto el desarrollo social como la protección ambiental y paisajística de Mallorca.