



Revue Paralia, Volume 5 (2012) pp 6.1-6.20

*Palabras clave: Emisario, Trabajos submarinos, Reparación,
Las Palmas de Gran Canaria*

© Editions Paralia CFL

NOTA TÉCNICA

Reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria. Parte I: descripción de los trabajos

Jesús CISNEROS AGUIRRE¹, María D. AFONSO CORREA²

1. Departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
jcisnerosaguirre@gmail.com
2. Pontho Ingeniería. Las Palmas de Gran Canaria, España.

Resumen:

La reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria representa un ejemplo de escuela para la ingeniería de este tipo de obras, tanto por los defectos que se dieron en su ejecución como por la realización de la reparación. Por diferentes motivos hasta ahora la construcción de emisarios ha sido considerada una actuación de segunda clase y por ello ha sido siempre una obra diseñada y ejecutada con muy poca atención. Esta actitud unida a la deficiencia crónica en la depuración de aguas residuales e industriales, da como resultado que las aguas costeras españolas y europeas sufran una continua presión de vertidos con una muy deficiente depuración y con una mínima dilución. En esta nota técnica primero se describen las deficiencias del emisario estudiado, las soluciones posibles para su reparación y una descripción de la solución adoptada para la reparación parcial prevista sin incluir el tramo difusor. Poco antes de concluir la reparación parcial, se presentó un estudio sobre la conveniencia de completar la reparación incluyendo el tramo difusor. En este estudio se justificó la conveniencia de la reparación del tramo difusor con un trabajo de simulaciones numéricas (que vendrá descrito en la parte II de esta nota técnica), que convenció a la administración para ampliar el presupuesto de la ejecución de la obra.

*Sometido el 10 de enero de 2011, aceptado el 18 de julio de 2011, en línea el 31 de diciembre de 2012.
La única versión revisada es la escrita en español. La o las otras versiones no habiendo sido examinadas
por el comité de redacción de la revista, son publicadas bajo la completa responsabilidad de los autores.*

UNE VERSION TRADUITE EN FRANCAIS EST DIPONIBLE EN LIGNE

Para citar esta nota técnica:

CISNEROS AGUIRRE J., AFONSO CORREA M.D. (2012). *NOTA TÉCNICA - Reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria. Parte I: descripción de los trabajos*. *Revue Paralia*, Vol. 5, pp 6.1–6.20.
DOI:10.5150/revue-paralia.2012.006 (disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online)

1. Introducción

La mayoría de países europeos estamos muy lejos de poder tratar la cantidad, cada vez mayor, de aguas residuales que se generan en nuestros núcleos urbanos costeros, y la única posibilidad eficiente que queda es verter las aguas residuales al mar con diferentes grados de tratamiento (LUDWIG, 1976).

En la mayoría de los casos los vertidos se realizan a través de emisarios submarinos, cuyas funciones no son otras que alejar el vertido de la costa, y hacerlo de manera que se obtenga la mayor dilución posible para facilitar al mar su asimilación (HYDROSCIENCE ING, 1974; JIRKA & LEE, 1994; REIFF, 1990).

Desde hace relativamente poco tiempo en nuestro país se ha empezado a darle la importancia que merece este tipo de obra. Que lejos de ser una obra sencilla, como a primera vista parece a los no iniciados, tiene numerosas particularidades que hacen de la realización de un emisario submarino una obra muy delicada.

Este descuido en la realización de estas obras y el casi nulo seguimiento de las mismas a lo largo de los años, ha dado como resultado que la situación de los emisarios submarinos en nuestras costas presente un panorama ciertamente desolador.

De esta forma la reparación de emisarios submarinos se presenta como una obra de ingeniería marina, que se está realizando en nuestras costas continuamente, y que presenta innumerables complicaciones.

En el año 1992 comenzó la obra para la construcción del emisario de Las Palmas de Gran Canaria. Como se expone en los Antecedentes de esta nota técnica (ver la sección 2), durante la ejecución se encadenaron una serie de dificultades, que dieron lugar a un resultado final que distaba del proyecto inicial.

La zanja donde debía colocarse el emisario para posteriormente cubrirlo, representaba una protección muy necesaria que quedó sin realizar. Debido a esto el emisario quedó expuesto a los fondeos de barcos de gran tonelaje que habitualmente buscan abrigo cerca de la bocana del puerto de Las Palmas de Gran Canaria. Si enganchan el tubo durante el garreo del ancla una vez fondeados o en la maniobra de recuperación del mismo, pueden producir fácilmente averías en la tubería, como las que presentaba el emisario. En la figura 1 se puede apreciar la situación del emisario respecto a la bocana del puerto de Las Palmas de Gran Canaria.

Por todo ello en el año 2005 la tubería presentaba un estado lamentable, con rotura y desplazamiento de tramos seccionados, deslizamiento y pérdida de muertos de flotación y sujeción, a los que hay que añadir deformaciones y estrangulamientos a lo largo de toda la tubería.

El Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria procede a la reconstrucción ese mismo año en dos fases. La primera fase, consistía en la restauración de la tubería hasta la zona de difusores.

Teniendo en cuenta la experiencia en la zona de trabajo, el estado de la mar en ese punto de la zona de Gran Canaria, la profundidad (que oscilaba entre los 35 y 45 metros) y las

dificultades con las que se encontró la empresa constructora del emisario en 1992, se optó por acometer la obra con herramientas submarinas comunes, prescindiendo casi por completo de la dependencia de superficie. Lo cual obligaba a programar la jornada laboral diaria exhaustivamente, ya que a estas profundidades el tiempo efectivo de trabajo en el fondo para cada buzo ronda los 20-25 minutos máximos al día; y a estar preparado para variar en cada momento el plan de trabajo dependiendo de la evolución del trabajo en cada turno de buceo.

El buen hacer de la empresa de trabajos submarinos GRAU S.L., de la dirección de obra por parte del Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria y de la asistencia técnica, fue determinante en la ejecución de esta primera fase, de tal forma que se finalizó en el plazo y dentro del presupuesto previsto.

En este punto se le plantea al Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, el desarrollo de una segunda fase, que conlleva la reparación completa incluyendo el tramo difusor. Para lo cual se realizó un estudio de diluciones con un modelo numérico (CORMIX) y una campaña de campo. Se simularon las diferentes situaciones de vertido que se obtenían con el emisario sin reparar, reparado hasta el tramo difusor y con la conducción reparada incluyendo el tramo difusor (CISNEROS AGUIRRE *et al.*, 2012).

El resultado del estudio no dejaba lugar a dudas sobre la mejora que se obtenía en la dilución del vertido si se hacía a través de difusores, comparada con la dilución que se obtenía con el vertido por boca única prevista en la primera fase.

El Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria ante la viabilidad de esta segunda fase, teniendo en cuenta que no suponía un incremento elevado del presupuesto con respecto al proyecto inicial y a los resultados del estudio de diluciones, da luz verde a la realización de esta segunda fase con la inclusión del tramo difusor.

2. Antecedentes

El emisario de Las Palmas de Gran Canaria comenzó a construirse en el año 1992, por una empresa noruega que se desplazó especialmente a Gran Canaria para realizar esta obra. Esta empresa ganó el concurso de adjudicación, porque su propuesta fue de realizar la obra en 3 meses y medio y por unos doscientos millones de pesetas. Esta oferta mejoraba drásticamente cualquier propuesta de las empresas locales de trabajos submarinos, que estimaron el tiempo de realización de la obra en unos dos años.

Una vez adjudicada la obra la empresa noruega comenzó los trabajos y fue alargando el plazo de ejecución y el presupuesto hasta que finalmente abandonó la obra 3 años después sin haberla terminado y habiendo gastado más del presupuesto inicial.

Finalmente se decidió contratar, para terminar la obra a una empresa local, que finalizó la obra sin respetar el diseño, ni la ejecución, ni la calidad del proyecto inicial. La consecuencia más importante es que no se realizó la zanja para la protección de la tubería.

En este caso la empresa constructora disponía de buena maquinaria pero desconocían la zona de trabajo y su planteamiento de ejecución no era el adecuado. Disponían y confiaban en sus equipos de superficie pesados, pontones con grúas, grandes compresores, equipos de buceo conectados a superficie, retroexcavadora submarina, etc. Equipos muy dependientes de superficie, que son muy efectivos en trabajos con el mar en buenas condiciones, algo que en la zona de Las Palmas de Gran Canaria se da en contadas ocasiones a lo largo del año. Esto tuvo como consecuencia una gran limitación en días de trabajo útiles al mes, que pudieron obtener con estos equipos. Determinante fue también su desconocimiento de la calidad del fondo marino donde se tenía que dragar para realizar la zanja que debería acoger la tubería, que finalmente no pudieron realizar.

Como resultado de todos estos factores sólo pudo obtener una media de cuatro días al mes de trabajo útil.

Como consecuencia de todos estos inconvenientes se obtuvo, cinco años más tarde y con un presupuesto muy superior al inicial, un emisario submarino que no iba enterrado en zanja, con una muy deficiente disposición y colocación de la tubería, de sus muertos de flotación y de los muertos de anclaje. Hay que señalar que el emisario está colocado en una zona de fondeo de barcos del puerto de Las Palmas de Gran Canaria y que la colocación del emisario en una zanja para ser cubierto después, representaba una protección muy importante para el emisario en esa zona (ver figura 1), (LUDWIG, 1988).

El diseño inicial del emisario consistía en una tubería compuesta por un tubo de polietileno de 1000 mm de diámetro y de 30.6 mm de espesor, con una longitud de 2050 metros y de un tramo difusor de 126 metros, con 22 difusores de 180 mm de diámetro, colocados alternadamente en los laterales de la tubería y separados una distancia de 6 metros uno del otro.

El tramo difusor tiene 3 reducciones para mantener el caudal del vertido por cada difusor, lo que da lugar a cuatro tramos de tubo difusor de diferente diámetro.

El primer tramo difusor comienza con la tubería de 1000 mm de diámetro, tiene una longitud de 42 metros y 7 difusores. La conexión con el siguiente tramo difusor es mediante una reducción de 1000 a 800 mm de diámetro.

El segundo tramo difusor está compuesto de una tubería de 800 mm de diámetro un espesor de 30.6 mm, de 42 metros de longitud y 7 difusores. A continuación una reducción de 800 a 630 mm de diámetro, que da lugar al tercer tramo difusor.

Este tercer tramo de 630 mm de diámetro y de 24.1 mm de espesor, mide 24 metros y tiene 4 difusores, termina en otra reducción esta vez de 630 a 400 mm de diámetro, donde comienza el último tramo difusor de 400 mm de diámetro, de 15.3 mm de espesor, 18 metros de longitud y alberga 3 difusores laterales y uno situado en la parte inferior de la tapa del final del tubo.

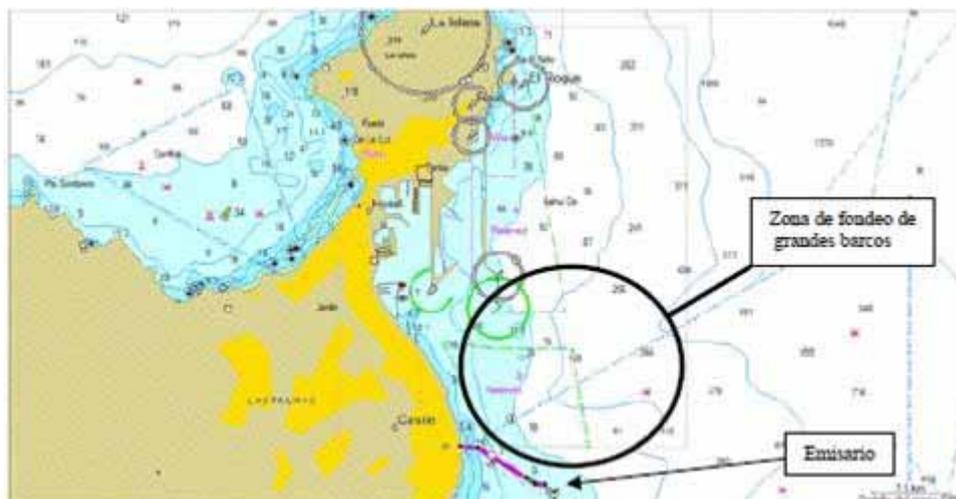


Figura 1. Posición del emisario respecto al puerto de Las Palmas de Gran Canaria.

El proceso de colocación normal de este tipo de tuberías de polietileno, se realiza de la siguiente manera.

La tubería consta de tramos de 16 metros que se van soldando en la orilla del mar, en un lugar abrigado que no suele coincidir con el de su colocación (en este caso la tubería se soldó en el puerto de Las Palmas de Gran Canaria). En el extremo se coloca una tapa ciega, y a medida que se va soldando y la tubería crece en longitud, se va largando al mar llena de aire. Estos tramos de tubería llenos de aire flotan excesivamente y se hace necesario lastrar la tubería con anillos de hormigón para que sea más estable su fondeo y posterior traslado. Los anillos de hormigón de control de flotación son de 2000 kg y se colocan de manera que la tubería sobresalga la parte superior unos pocos centímetros por encima de la lámina de agua. En el proyecto inicial estaba calculada la colocación de 430 muertos de flotación o transporte, uno cada 5 m.

Cuando finaliza un tramo de tubería se coloca otra tapa ciega y la tubería se deja flotando por tramos de varias decenas a centenares de metros. Las tapas ciegas disponen de válvulas de entrada de agua y salida de aire para el control de la flotabilidad.

Una vez realizados todos los tramos de tubería, se procede a su desplazamiento flotando hasta el punto de instalación donde se fondean, mediante las válvulas colocadas en las tapas. Este proceso de fondeo es muy delicado y se hace necesario un control continuo de la tubería en su descenso.

El polietileno de alta densidad tiene una densidad de 0.96 kg/dm^3 , inferior al del agua del mar, su tendencia es a flotar en el agua, además cuando el emisario esté en funcionamiento transportará agua dulce de menor densidad que el agua de mar, lo que aumentará la tendencia a flotar de toda la conducción. Por todo ello y para asegurar su estabilidad en el fondo una vez colocadas en su lugar, la tubería se lastra con muertos de hormigón. En este caso el lastrado posterior se hizo con muertos de media caña de

hormigón de 7.5 a 10 toneladas de peso en aire, dependiendo en el punto del tubo en el que se coloquen.

3. Estado inicial de la reparación

El emisario está situado a escasas dos millas de la bocana del puerto de Las Palmas de Gran Canaria, en un lugar habitual de fondeo de grandes barcos. Al no estar enterrado, el emisario quedaba muy expuesto a los fondeos de barcos y ha sufrido a lo largo de estos años varias averías. Quedando finalmente a principio de 2005 como muestra la figura 2. En el último accidente la tubería había sido desplazada hacia el norte por el ancla de un barco. La tubería había quedado estrangulada y partida por el punto de enganche del ancla, que en ese momento era el punto de vertido. Durante el arrastre se habían desplazado y perdido tanto muertos de fijación como de transporte o flotación. Debido a este accidente y a otros anteriores el tubo presentaba varias deformaciones y una rotura helicoidal de la tubería que había quedado oculta dentro de una serie de muertos que quedaron unidos. El vertido se estaba produciendo por un único punto a 1800 metros de la costa, en la rotura de la tubería de 1000 mm. Como se explica en la parte de simulación numérica (CISNEROS AGUIRRE *et al.*, 2012), el vertido por boca única dificulta la dilución e impide la asimilación por el mar del fluido vertido. La gran flotabilidad de los vertidos de aguas residuales urbanas en el agua salada, y la mínima dilución que se produce en estos casos, hace que el ascenso del vertido a superficie sea muy rápido. Como resultado de todos estos factores y debido a la mínima dilución, afloraba casi en la vertical del punto de vertido, un fluido con prácticamente las mismas condiciones que tenía dentro de la conducción, con el consiguiente problema sanitario, medioambiental y de deterioro de una zona marina en la entrada de la ciudad, y del puerto, con un elevado uso de embarcaciones de recreo de motor y a vela.

4. Posibles modos de realizar la reparación y dificultades específicas de cada uno

El proyecto de reparación inicial contemplaba la recolocación en su lugar original del tramo de tubería desplazada y su conexión con los dos tramos, ligeramente desplazados (ver figura 2). Los accidentes además habían diseminado los muertos de sujeción y habían movido de su lugar e incluso habían desprendido numerosos anillos de control de flotación de la tubería. La profundidad de trabajo comenzaba en 35 metros y llegaba hasta los 42 metros en marea baja, lo que limitaba grandemente los trabajos submarinos. El estado de la mar es uno de los parámetros más determinantes en una obra marina, y la bahía de Las Palmas de Gran Canaria sufre todos los tiempos de Noreste (producido por los alisios, que son constantes de marzo a octubre), los de Norte, Este, Sur y Sureste. Con lo cual la perspectiva de trabajo era de pocos días de buena mar durante la obra. Ya que la tarea principal era desplazar el tramo de unos cien metros de tubería y colocarlo en una posición precisa para proceder a su posterior unión, para la realización del trabajo se examinaron varias opciones:

- Trabajo desde superficie con un equipo pesado de pontona con grúa.
- Trabajo desde superficie con un remolcador.
- Trabajo submarino totalmente.

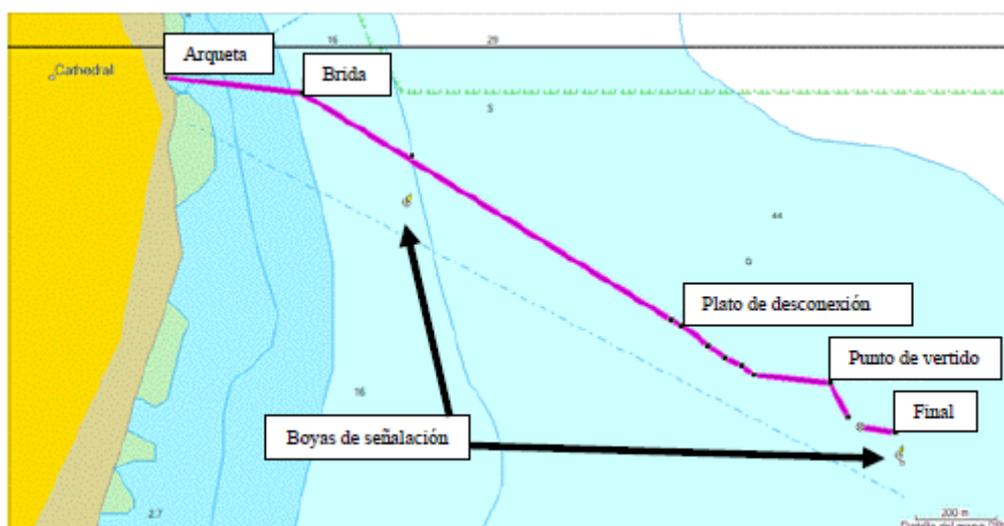


Figura 2. Estado del emisario antes de su reparación.

4.1 Trabajo desde superficie con un equipo pesado de pontona con grúa

Teniendo en cuenta la experiencia acumulada a lo largo de años de trabajos en la zona y analizando las razones del fracaso de la empresa que realizó la ejecución del emisario; el trabajo con grúa desde superficie no contaba con buenas perspectivas. Además del coste del material por día, se añadía que la previsión de días útiles de trabajo de esta maquinaria era muy baja (un equipo pesado puede tardar de uno a dos días en colocarse en posición para comenzar a trabajar y lo mismo para retirarse del tajo). Tampoco se veía muy claro cómo se iba a proceder al movimiento de la tubería con seguridad. Hay que tener en cuenta que a pesar de haber revisado el estado de la tubería no se sabía a ciencia cierta el estado estructural de la misma, ya que después de tantos accidentes y debido la violencia de las fuerzas que se ponen en juego en estos casos, era muy posible que la tubería presentara daños, difíciles de evaluar a priori.

No hay que olvidar que el polietileno es un material bastante flexible para las distancias de tubería que están implicadas en esta obra, y realizar un tiro inadecuado puede producir fácilmente la formación de una curva acentuada e incluso una estrangulación (coca) difícil de reparar.

4.2 Trabajo desde superficie con remolcador

Consistía en realizar la colocación de la tubería remolcándola con un barco. Esta posibilidad hacía aumentar en principio los días de trabajo posibles al mes, además el coste era sensiblemente inferior. Pero el trabajo remolcando desde el barco la tubería se

hacía menos controlable y la posibilidad de dañar la tubería era todavía mayor que empleando una pontona con grúa. Además que era casi seguro que se producirían curvas en la tubería muy difíciles de corregir.

Hay que tener en cuenta que el tramo desplazado era prácticamente de la misma medida que el hueco que existía entre los dos tramos de tubería sueltos. Así que si durante el traslado se formaba una gran curva, o varias curvas menores, restaría muchos metros efectivos al tramo, con lo que se quedaría corto para rellenar el tramo sin tubería y se debería acoplar un tramo de tubería adicional, o mover el tramo final para poder realizar el empalme.

4.3 Trabajo totalmente submarino

La última solución era realizar todos los trabajos sin ayuda de tracción superficial. Ello implicaba la dificultad de trabajo a profundidades elevadas, con la consiguiente restricción del tiempo efectivo de trabajo por buceador y por día, ya que la descompresión a esas profundidades aumentan rápidamente con el tiempo en el fondo. Se eligió trabajar con aire comprimido, y se desecharon las mezclas de gases como NITROX, TRIMIX, y otras mezclas. A las profundidades descritas no se ganaba demasiado tiempo de buceo, y se introducía una complejidad muy grande de carga de botellas que no compensaba las ventajas que brindan estos equipos. También la conveniencia de que el buzo trabajase independiente de la superficie ayudó a desechar el uso de otras mezclas controladas desde superficie. Este último extremo se confirmó durante la reparación, ya que un despiste de un capitán de un barco que maniobraba en la zona, hizo que hubiera que largar toda la maniobra desde superficie rápidamente y abandonar el punto de trabajo, sin que los buceadores corrieran ningún riesgo. Algo que no hubiera sido posible si hubieran estado trabajando con la dependencia del suministro de mezcla de gases desde superficie y que probablemente hubiera causado un serio problema de seguridad.

De este modo cada buceador disponía de alrededor de 25 minutos como máximo de trabajo al día, con una descompresión que rondaba los 22 minutos. El gráfico de la figura 3 corresponde a una inmersión típica realizada entre las profundidades de 35 y 42 metros en un día normal de trabajo. La figure indica una inmersión con el tiempo de fondo de 24 minutos, donde se ha llegado a 38.1 metros de profundidad máxima, y a la que corresponde una descompresión de 22 minutos con una parada a 6 metros de dos minutos y una de veinte minutos a 3 metros de profundidad.



Figura 3. Gráfica de una inmersión con los tiempos de descompresión.

Aun así los descansos semanales eran obligatorios para evitar la acumulación del nitrógeno en los tejidos. Dentro de la misma semana las inmersiones de los viernes o sábados necesitaban más descompresión para el mismo tiempo en el fondo que las que se realizaban los lunes o después de un descanso obligado por el estado de la mar.

El sistema de trabajo consistía en aligerar la tubería de peso con globos, e ir moviendo la tubería metro a metro hasta colocarla en su sitio. Hay que decir a este respecto que el manejo de los globos para aligerar la tubería es un trabajo muy delicado y que requiere mucha experiencia, ya que si no se hace con cuidado la tubería puede sufrir los mismos daños que en los dos casos anteriores.

Se tomó la decisión de realizar la obra mediante el trabajo totalmente submarino.

5. Evolución de la obra

La obra dio comienzo la primera semana de abril de 2005, con la localización de los muertos y anillos de hormigón desplazados durante las diferentes roturas. Para ello se determinó un área de búsqueda, y se dedicaron varios días a la localización de los muertos y anillos.

En la figura 4 se pueden observar varias fotografías de anillos de flotación: 4-a anillo suelto para tubo de diámetro 1000 mm y 4-c anillo colocado en la última parte del tramo difusor, que tiene un diámetro de 400 mm. También se pueden ver muertos de sujeción: 4-b muerto embridado con globo para su colocación, y muerto colocado en la tubería.

Cuando se registró la zona y fueron localizados todos los muertos de sujeción y anillos de flotación, se procedió a la desconexión de la tubería en el punto donde se señala en la gráfica de la figura 2 como "Plato de Desconexión". Esto hacía que el vertido se

realizara lejos de la zona de trabajo y permitía poder trabajar en buenas condiciones de salubridad y visibilidad.

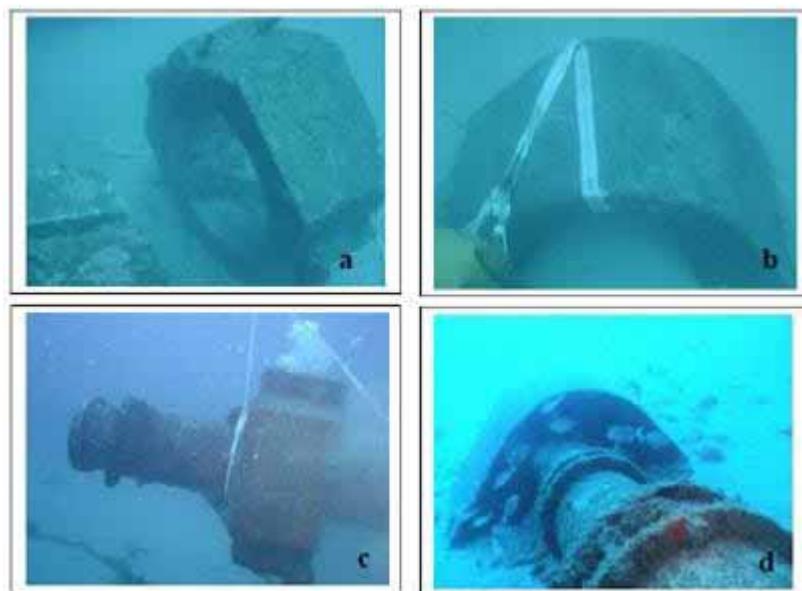


Figura 4. Varios ejemplos de muertos de sujeción y de anillos de flotación.

Una vez desconectada la tubería comenzó el trabajo de movimiento del tramo desplazado. Para lo cual hubo que realizar en primer lugar un corte por el punto de vertido inicial. Ya que la tubería presentaba una rotura parcial con estrangulamiento del tubo y todavía estaban unidos los dos tramos. El estrangulamiento había deformado la forma circular de la sección del tubo e impedía cualquier trabajo de reparación y empalme una vez que fuera colocada en su lugar original.

5.1 Descripción del corte

Durante la obra de reparación se realizaron numerosos cortes de la tubería, tanto para separar un tramo y facilitar su recolocación como para sanear los extremos de dos tramos que se iban a unir. Los cortes se realizaron utilizando sierras circulares neumáticas, y herramientas manuales para el remate. Las sierras circulares neumáticas necesitan un gran caudal de aire a presión para obtener un rendimiento aceptable en el corte, para lo cual se utilizó un compresor con potencia suficiente específicamente para este particular.

Hay que recordar que el trabajo se realizaba a 35-42 metros de profundidad, lo que supone una presión exterior de 4 atmósferas, que las mangueras de suministro de aire a las herramientas tenían varias decenas de metros más que la profundidad de trabajo (se usaron mangueras de hasta 140 metros de longitud, con un diámetro de 1 pulgada). El compresor debía superar las pérdidas primarias de la manguera, la presión a la que se

encontraba el tajo, y dar un caudal suficiente para que la herramienta funcionara con un rendimiento aceptable, se calculó que tenía que dar 4000 litros de aire por minuto en esas condiciones.

El corte de la tubería se debía realizar en dos fases, comenzando por la parte superior del tubo realizando medio corte, después había que retirar la parte superior con dos cortes horizontales en ambos laterales del tubo, para dejar al descubierto la parte inferior del corte y poder terminar.

En total y dependiendo de la distancia que era necesario sanear cada corte oscilaba entre los 4 y 6 metros lineales. Esto se traducía en dos o tres días de trabajo dependiendo del estado de la mar y del corte a realizar.

En la figura 5 se puede apreciar una secuencia de fotografías de un corte en la tubería de 1000 mm. En la fotografía 5-a se puede ver el comienzo del corte desde la parte superior de la tubería, mientras que la figura 5-b muestra una sierra circular neumática con la que se realizaron los cortes. En la figura 5-c se puede ver la realización del corte lateral para la separación de la parte superior del tubo. La figura 5-d es una vista desde dentro de la tubería del avance del corte lateral horizontal hacia el corte vertical. La figura 5-e muestra el momento en que se retira la mitad del tubo cortada, y en la figura 5-f la continuación del corte por la parte inferior del tubo, una vez retirada la parte superior.

5.2 Traslado de los diferentes tramos de tubo

Los tramos de tubería a trasladar se aligeraron de peso con globos de 1000 y 1500 litros de capacidad colocados estratégicamente. Una vez colocados los globos y con el tramo de tubería que se pretendía mover suficientemente aligerado de peso, se procedía a su movimiento. Se colocaban tiros cada cierta distancia dependiendo del tamaño del tramo a trasladar. El movimiento de la tubería era comprobado en cada inmersión y corregidos los tiros y los globos de aligeramiento, dependiendo de la respuesta del tubo.

Es aquí donde era crítica la experiencia del grupo de buceadores y sobre todo del jefe de equipo. Que dependiendo de la información suministrada por la pareja que salía del agua, debía mantener o modificar el plan establecido para el día en la oficina de la empresa con todos los buceadores antes de salir a la mar. La coordinación de todo el grupo de trabajo era vital ya que cualquier error daba al traste con el día de trabajo, e incluso podía suponer la pérdida de varios días de trabajo para reparar el error. Se recuerda que por buceador se disponía como máximo de 25 minutos de tiempo efectivo de trabajo por día.

En la figura 6 se muestra como fue la evolución del traslado de los diferentes tramos de tubería. Durante los traslados era crítico no producir nuevas curvas ni, por supuesto, nuevos estrangulamientos en la tubería. El tramo de tubería a desplazar debía moverse como un bloque sólido.

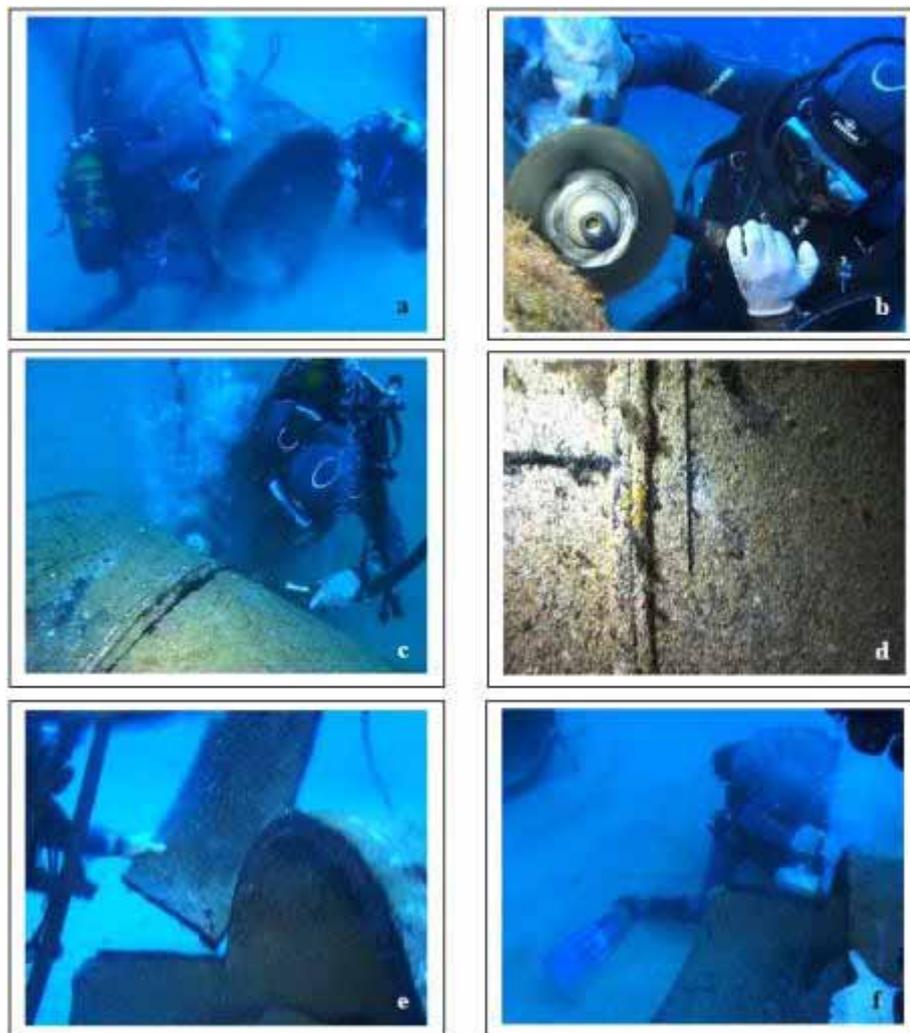


Figura 5. Diversos momentos en el corte de la tubería.

Una vez colocada en su sitio la tubería se procedió a realizar la conexión de los extremos. Ya se había previsto, y en la primera revisión se confirmó, que la rotura de la tubería no habría sido limpia, es decir antes de romperse, el tubo se deformó. De manera que era obligado el saneamiento de los extremos, haciendo un corte de la tubería por una zona que presentara una forma circular.

5.3 Uniones de los diferentes tramos de tubería

Después de que los dos extremos de la tubería están saneados por el corte y aproximados se procede a la unión de los dos mismos. Para llevar a cabo las uniones de la tubería de 1000 mm de diámetro se utilizó un zuncho o brida formada por dos medias cañas de acero marino de 6 mm de espesor, 1000 mm de longitud y 1005 mm de diámetro. Las dos medias cañas se unen con 18 tornillos de 27 mm de longitud y tuercas de 40 mm. Estas dos medias cañas abrazan 500 mm de cada extremo del tubo y con la

tornillería apretada resulta un unión muy sólida. Hay que elegir con cuidado el material de la junta de cierre para que absorba las pequeñas deformidades que pueda presentar las secciones de los dos extremos y no se rompa ante la cizalla que produce la fricción del zuncho con la tubería. La operación de colocación del empalme se ha de hacer con extremo cuidado ya que si no es fácil que la tubería presente pérdidas por los empalmes.

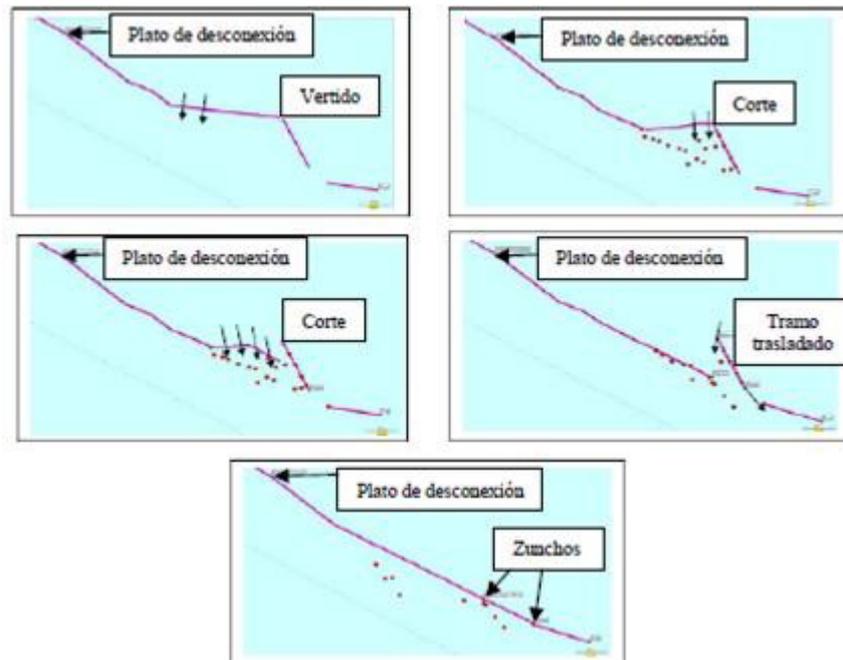


Figura 6. Evolución de los desplazamientos de los tramos y dirección de los tiros.

En las fotos de la figura 7 se puede apreciar varios momentos en la colocación de un zuncho de empalme. En la fotografía 7-a y 7-b se muestran dos vistas diferentes de un zuncho ya colocado, 7-a corresponde a una vista lateral y 7-b a una vista cenital, donde se puede ver la tira de 9 tornillos de un lado del empalme. Una vez presentadas las dos medias cañas del zuncho se procedía al apretado de los tornillos para acercar las dos medias cañas. La fotografía 7-c muestra un instante de este primer momento en el que se usa herramienta neumática para acelerar el trabajo. Después, se procede al apretado manual de manera progresiva y ordenada para no deteriorar la junta y no descompensar el apretado, momento que muestra la foto 7-d.

En la 7-e se muestra un detalle de un lateral del cierre del empalme donde es importante seguir la evolución de la junta y comprobar que el apretado ha sido correcto. La fotografía 7-f se realizó en el punto de unión de los dos extremos de tubería, muestra el estado de la junta en el interior de las pletinas de unión del zuncho.

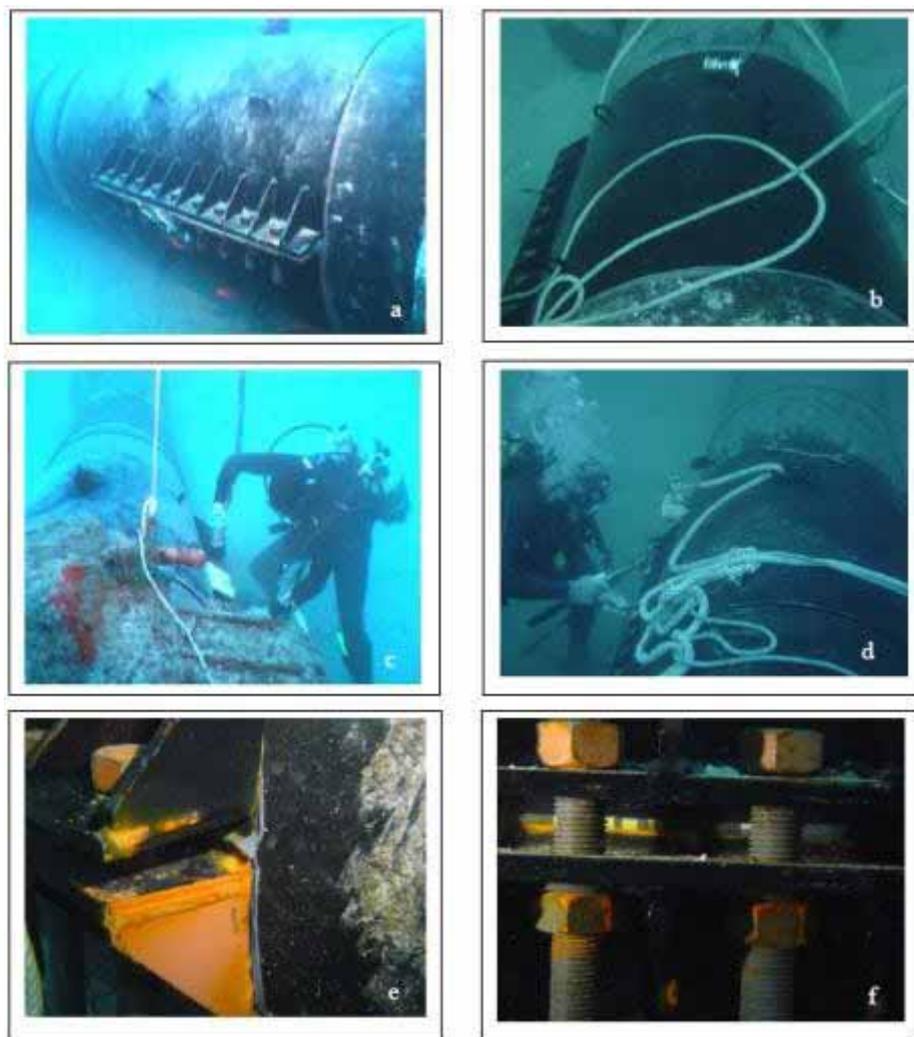


Figura 7. Diversos momentos de la colocación de un zuncho de empalme.

5.4 Ampliación de la reparación

De esta forma se realizaron los trabajos para la reparación del emisario hasta la zona de difusores, y este trabajo no pasaría de haber sido una obra bien ejecutada dentro del plazo y del presupuesto inicial, que no es poco en una obra marítima.

Pero lo realmente meritorio de esta obra, es el hecho de que la administración, en este caso el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, decide ampliar la reparación del emisario para incluir el tramo difusor, gracias a un informe que se elaboró en el Departamento de Física de la ULPGC (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria) en el que se incluye un trabajo de simulación numérica de dilución de vertidos. Los detalles de este informe se discuten en la parte II de esta nota técnica (CISNEROS AGUIRRE *et al.*, 2012).

En este trabajo se expusieron las ventajas en cuanto a dilución del vertido, si la reparación del emisario incluía el tramo difusor. Se presentaron valores comparativos de

la dilución que se obtendría para un mismo supuesto de vertido, en los diferentes momentos de la obra. La primera simulación consistía en presentar los valores de dilución del modelo con las condiciones que se daban en la rotura inicial, una segunda simulación con las condiciones de dilución que tendría el vertido hasta el tramo difusor, y por fin la tercera simulación mostraba los valores de dilución que se obtenían con el emisario totalmente reparado incluyendo el tramo difusor. También se incluyó un estudio completo de costes y de plazo de ejecución de la ampliación propuesta.

El informe constaba de:

- a) Estudio de diluciones en los tres casos.
- b) Realización del presupuesto y estima del plazo de ejecución.
- c) Descripción del proceso de reparación.

5.5 Finalización de la reparación incluyendo el tramo difusor

Las diferentes secciones del tramo difusor se encontraban desperdigadas por los alrededores del lugar final de la reparación (ver figura 2). Eran tramos de conducción que presentaban innumerables desperfectos, roturas, deformaciones y estrangulamientos. Esto era debido a que a medida que las secciones de tubo iban disminuyendo la consistencia también disminuía y los efectos de las averías fueron mayores. En la serie de fotografías de la figura 8 se pueden ver algunos detalles del estado del tramo difusor. En 8-a y 8-b se ve el final de tramo difusor, de 400 mm de sección, que se encontraba estrangulado en dos puntos. En la fotografía de la figura 8-b se resalta en un círculo el lugar donde se encontraba la reducción de 630 mm a 400 mm. Esta reducción se había desprendido y se encontraba a varios metros de distancia del tramo difusor final. La reducción se sacó a tierra para su limpieza y posterior colocación. Uno de los problemas de ejecución de este emisario se muestra en la figura 8-c, donde se puede apreciar un plato de unión en el que falta buena parte de la tornillería. Esto produce además de pérdidas en la conducción, un debilitamiento de la estructura y un punto débil por el que se puede producir una rotura. Durante todo el trabajo de reparación general se fue reponiendo tornillería en numerosos puntos, en platos de unión de igual sección y en las reducciones.

Las fotografías 8-d, 8-e, y 8-f, muestran diferentes roturas, algunas difíciles de ver ya que se encontraban casi todas ocultas dentro de los anillos de flotación, o dentro de los muertos de fijación.

El proceso de tracción de la tubería por parte de un fondeo de un barco de gran tonelaje, produce un deslizamiento de la tubería por los muertos de sujeción que en principio permanecen fijos, la tubería corre por dentro de los muertos portando los anillos de flotación que chocan contra el muerto grande de fijación. Este proceso sucede hasta que llega un difusor o la fricción de los anillos con el tubo producen un bloqueo de la tubería. Los difusores son tubos de 180 mm que salen perpendicularmente del costado de la tubería, e hicieron de tope en diferentes puntos de la tubería presionando los

anillos de flotación contra los muertos de sujeción. En ese momento dependiendo de las características de las fuerzas puestas en juego, se pueden producir varios resultados, que el tubo se rompa totalmente en ese punto, que se produzca una rotura parcial sin que se separen los extremos, o que produzca un movimiento de desplazamiento lateral que vuelque el muerto de sujeción, libere la presión en ese punto y la tubería siga deslizándose por el fondo. También puede ocurrir, y se encontró un caso, que el difusor se rompa y la tubería siga deslizándose. De esta forma se produjeron las pérdidas y descolocación de muertos de fijación y de anillos de flotación.

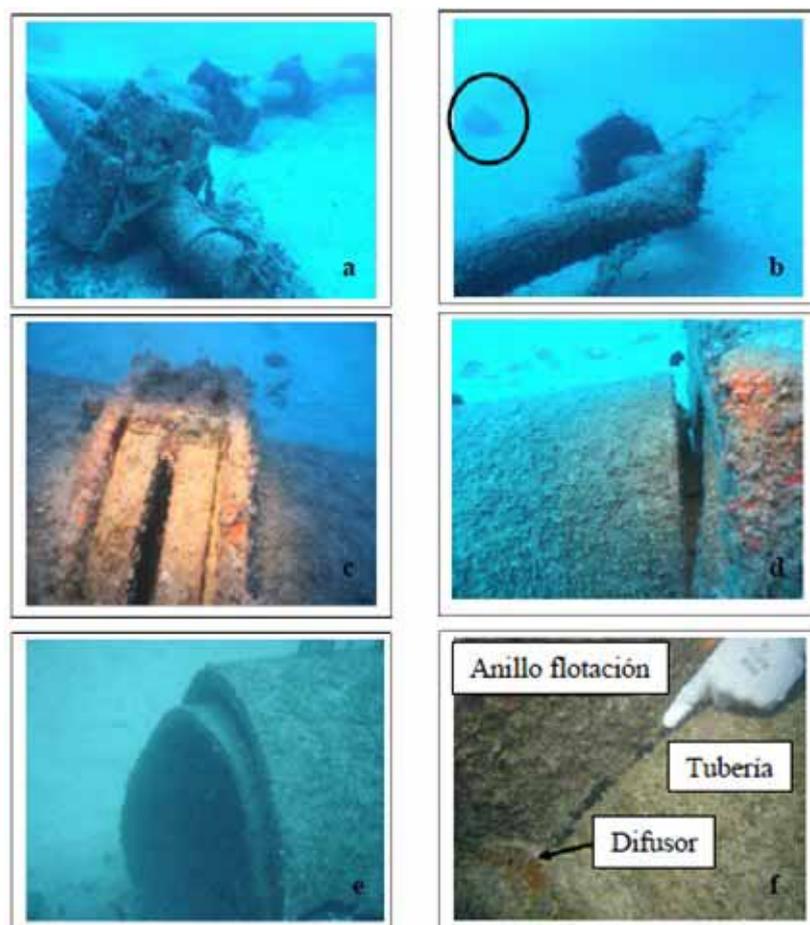


Figura 8. Detalles del estado del tramo difusor.

En la figura 9 se pueden ver dos fotografías de puntos donde se acumularon anillos de flotación contra muertos de sujeción. En la figura 9-a se pueden apreciar dos anillos contra el muerto, presionados por un difusor. Mientras que en la 9-b se acumularon tres anillos y no se aprecia presencia de difusor.

El tramo difusor se recompuso totalmente (GRACE, 1978; GRACE, 1997; ROBERTS *et al.* 1989) de la misma forma en que se reparó la tubería de 1000 mm, pero con la ventaja de que los cortes de saneamiento de la conducción eran cada vez realizados en

menores secciones y los tramos a desplazar pesaban menos. Los zunchos también descendían de tamaño y eran más manejables. Lo único que incrementaba dificultad a la reparación era que la profundidad era cada vez mayor y los tiempos de trabajo en el fondo tenían que descender. En el tramo de difusores se alcanzaron los 43 metros de profundidad en marea baja. En la serie de fotografías de la figura 10 se muestra varios detalles de cómo quedó la reparación del tramo difusor.

La fotografía 10-a muestra el momento de la inserción de un tramo de 4 metros de tubería nueva en un empalme. En la parte inferior de la fotografía se ve un zuncho colocado con la tornillería, y en la parte superior el extremo del siguiente tubo que espera la colocación del zuncho. De esta forma entre los dos zunchos se añadió un trozo completo de tubería nueva, ya que los extremos a empalmar presentaban una sección muy dañada y se hizo necesaria la eliminación de varios metros de tubería de cada extremo.

La instantánea 10-b muestra la recolocación de la reducción de 630 mm a 400 mm, una vez limpia de incrustaciones en tierra, y con nueva tornillería.

En las dos figuras 10-c y 10-d se pueden ver los zunchos utilizados para la tubería de 400 mm y varios anillos de flotación. Como se puede comprobar el tamaño, peso y la manejabilidad de estos empalmes hace que sea más fácil su uso. Pero se ha de ser muy cuidadoso en el proceso de colocación ya que el cubrir menos tubo es una situación mucho más crítica y es necesario ajustarlo con mucha precisión ya que cualquier pequeño error puede dar lugar a una pérdida del vertido.



Figura 9. Se pueden observar dos puntos de acumulación de anillos de flotación contra muertos de sujeción.

En las fotografías 10-e y 10-f, se muestra un par de difusores funcionando. Se puede observar que presentan orientaciones diferentes, el 10-e vierte desde la parte superior del tubo y el 10-f lo hace lateralmente. En principio el proyecto original preveía que todos los difusores fueran laterales, pero los defectos en la ejecución de la obra hizo que eso no se tuviera en cuenta y el tramo difusor fue construido de manera incorrecta (GRACE, 1997; JIRKA & AKAR, 1991; JIRKA & BLENINGER, 2004).

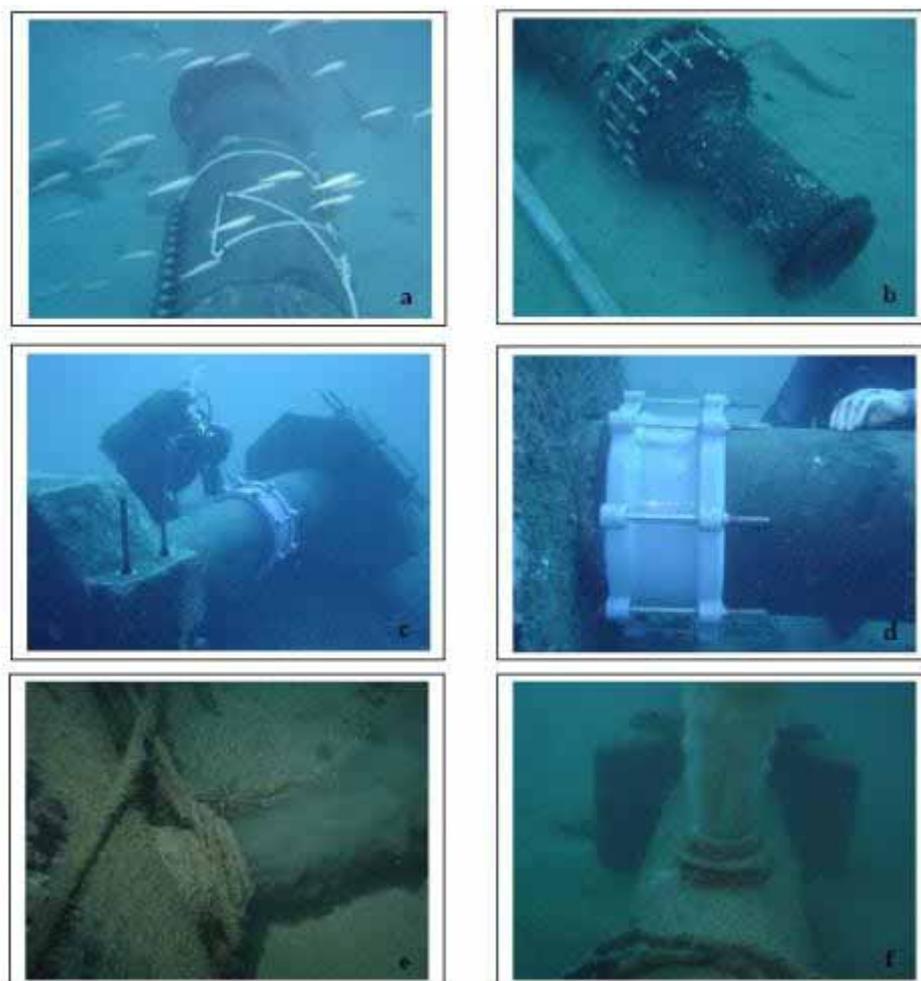


Figura 10. Diferentes instantáneas del final de la reparación.

6. Conclusiones

Desde el punto de vista de la ejecución de la reparación, hay que tener en cuenta que en toda obra marina es fundamental el conocimiento de las condiciones ambientales específicas de la zona y la correcta elección de medios más adecuados a estas condiciones. No siempre un despliegue de grandes medios es sinónimo de éxito en obra marina, es más puede ser un serio limitante para el trabajo. La elección de medios sencillos sin dependencia de superficie, la escrupulosa selección de personal, en la que se primaba por encima de todo la experiencia en obra marina a profundidad, junto con el conocimiento de la zona, fueron las claves para el éxito de la reparación.

La gran novedad de esta reparación es que la administración (Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria) y la empresa que ejecutó la reparación (Técnicas Submarinas GRAU, S.L.) han entendido la importancia de la misma y que aquí se presenta como una obra marina ejemplar en varios sentidos.

En primer lugar hay que destacar la impecable realización de la reparación por parte de Técnicas Submarinas GRAU, S.L., ajustándose al presupuesto y a los plazos de ejecución; que permitió la posibilidad de plantear la ampliación de la reparación.

En segundo lugar destaca, y creo que es el aspecto más novedoso, la buena disposición del organismo público Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, en especial del jefe de obra (D. Miguel Ángel Landáburu) que permitió la modificación de la obra (con la ampliación del gasto) para incluir el tramo difusor en la reparación.

La conveniencia de la ampliación se justificó con un estudio de dilución realizado por el departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria con un modelo numérico de dilución, y presentado al Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (CISNEROS AGUIRRE *et al.*, 2012). Los resultados de este estudio dieron como resultado la realización de una obra completa de reparación que mejoró notablemente la eficacia del emisario submarino en la dilución del vertido en la mar.

En la figura 11 se pueden ver algunos "compañeros" de trabajo que aprovechan las oportunidades que dan las nuevas construcciones bajo el mar. Esto indica que si se pone el máximo cuidado en el diseño, la ejecución y el mantenimiento de cualquier obra marina; que si se tienen en cuenta los diferentes puntos de vista de todos los profesionales del mar (Ingenierías, Ciencias del Mar, Empresas de buceo, etc), las obras marítimas de cualquier tipo, podrían tener un impacto incluso positivo sobre el medio sin aumentar el presupuesto de la obra.



Figura 11. Algunos ejemplos de colonizadores del emisario.

7. Referencias bibliográficas

- CISNEROS AGUIRRE J., VILCHES SARASATE J., AFONSO CORREA M.D. (2012). *NOTA TÉCNICA - Reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria. Parte II: simulaciones de vertido*. *Revue Paralia*. Vol. 5, pp 7.1–7.12. doi:10.5150/revue-paralia.2012.007
- GRACE R.A. (1978). *Marine outfall systems: Planning, design and construction*. Prentice-Hall. New Jersey.
- GRACE R.A. (1997). *Returning impaired marine outfall diffusers to full service*. *Journal of Environmental Engineering*, Volume 123, Issue 3, pp 297-303. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:3(297)
- HYDROSCIENCE INC. (1974). *Water quality evaluation for ocean disposal system: Nassau County, Supplement A*. New York.
- JIRKA G.H., AKAR P.J. (1991). *Hydrodynamic classification of submerged multiport-diffuser discharges*. *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, (117), pp 1113-1128, HY9. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1991)117:9(1113)
- JIRKA G.H., BLENINGER T. (2004). *Diseño de emisarios submarinos con difusores para la protección de la calidad del agua costera*. Actas XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Asociación Internacional de Investigaciones e Ingeniería Hidráulica (AIHH), São Pedro, Brasil, Octubre 18-22, 2004, A.M. Genovez, Ed. IAHR AIPH.
- JIRKA G.H., LEE J.H.-W. (1994). *Waste disposal in the Ocean*. in *Water Quality and its Control*, M. Hino (ed.), Balkema, Rotterdam.
- LUDWIG R.G. (1976). *The planning and design of ocean disposal systems*. Prepared for the Pan American Health Organization Symposium on Wastewater Treatment and Disposal Technology. Buenos Aires.
- LUDWIG R. (1988). *Evaluación del impacto ambiental: ubicación y diseño de emisarios submarinos*. Informe No. 43 de MARC. Documento de EIA.
- REIFF F.M. (1990). *Emisarios submarinos de pequeño diámetro de polietileno de alta densidad (HDPE)*, CEPIS/HPE/OPS.
- ROBERTS P.J.W., SNYDER W.H., BAUMGARTNER D.J. (1989). *Ocean outfalls III, Effect of diffuser design on submerged wastefield*. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, pp 49-70. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1989)115:1(49)