

Reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria

JESÚS CISNEROS AGUIRRE (*), JON VILCHES SARASATE (**), MARÍA D. AFONSO CORREA (***)

RESUMEN La reparación del emisario del Teatro de Las Palmas de Gran Canaria, aúna unas características que permiten presentarlo como modelo.

Nos encontramos, en primer lugar, con un patrón de obra marina que es representativa del panorama nacional, es decir un emisario con deficiencias en su ejecución, que si bien en principio parecían de poca importancia, ha dado lugar a frecuentes problemas desde su terminación.

En segundo lugar, el modo en que se acomete la reparación, sin necesidad de grandes maquinarias de obras marinas, que desde la construcción del emisario se mostraron ineficaces.

Se delegó en un equipo de buzos experimentados, con herramientas submarinas sencillas, pero con un gran conocimiento del medio y de la obra, en la óptima dirección y organización por parte de la empresa Técnicas Submarinas Grau y la rigurosa asistencia técnica como tal realizada por la persona que firma este artículo.

En tercer lugar, lo que hace que sea una obra distintiva y el principal argumento para su publicación es que el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, decidió incrementar el presupuesto de la reparación para incluir el tramo difusor, contemplado en un estudio de diluciones realizado por el Departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, con un modelo numérico y una pequeña campaña de campo en el que se simularon tres casos de vertido: a) Con las condiciones de vertido antes de la reparación. b) Con la reparación hasta el tramo difusor (como se había presupuestado la reparación en principio). c) Con las condiciones de vertido del emisario reparado completamente incluyendo el tramo difusor.

Para el supuesto que incluía el tramo difusor, se describía detalladamente el procedimiento de ejecución, el plazo de finalización y el presupuesto.

Al final de este artículo se hace hincapié en la necesidad de un cambio de mentalidad tanto en el diseño como en la ejecución de las obras marinas, incluyendo otros puntos de vista de diferentes profesionales dentro de la ingeniería de obras marinas, como Ciencias del Mar, Empresas de Buceo, Navales, etc.

THE REPAIR OF LAS PALMAS DE GRAN CANARIA OUTFALL

ABSTRACT *The repair of the Las Palmas de Gran Canaria outfall could be present as a good example of marine works for several reasons.*

The first one is a pattern representative for the Spanish scene: one outfall with some faults in his construction, not very well evaluate their importance. As results of these deficiencies this outfall had continuous problems.

The second reason is the reparation itself, without using large marine equipment, like pontoons, cranes, etc. Instead of this the reparation was perform by a group of experimented divers, with simple submarine tools, a good direction for the enterprise of underwater works, Técnicas Submarinas Grau, S.L., and a careful technical assistance carry out for the author of this article.

The third reason, and the most important under my point of view, is that the CIAGC have decided increase the budget to include the diffuser section of the outfall. This increase of budget is suggested by one report of dilutions for the Departamento de Física of ULPGC, with a numerical dilution model and a small oceanographic cruise. In this report we have simulated three cases: a) With the conditions before the reparation start, b) with the reparation until the diffuser section (the original budget covered this case), c) with the dilution conditions with the outfall completely repaired, including the diffuser section. The report included a new budget, with an accurate description of the extended reparation.

As a resume of this paper, we would like to emphasize the needed of a change of mentality in the design and realization of the marine works. We (in Spain) need to include the voices of other points of view within the marine engineering, like marine sciences, underwater enterprises, etc.

Palabras clave: Emisario Submarino, Modelos de dilución, CORMIX, Reparaciones Submarinas, Vertidos, Tramo difusor, Difusores, Asistencia Técnica, Herramientas neumáticas submarinas, Descompresión.

(*) Profesor del departamento de Física de la ULPGC. Doctor en Oceanografía Física. Licenciado en Ciencias del Mar.

(**) Licenciado en Ciencias del Mar.

(***) María D. Afonso Correa. Estudiante de Ciencias del Mar.

INTRODUCCIÓN

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 este artículo, 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 durante el garreo del ancla una vez fondeados o en la maniobra de recuperación del mismo, enganchan el tubo, 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 pequeña campaña de campo. Se simulaban 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.

El resultado de este 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 realización de esta segunda fase con la inclusión del tramo difusor.

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 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 con poca experiencia, que finalizó la obra sin respetar el diseño, 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.

RAZONES DE QUE OCURRIERA

En este caso la empresa constructora tenía mucha experiencia en obras y disponía de buena maquinaria. Pero el problema era que no conocían la zona de trabajo y su planteamiento de ejecución no era el adecuado.

Disponían y confiaban en sus equipos de superficie pesados, pontonas con grúas, grandes compresores, equipos de buceo conectados a superficie, retroexcavadora neumática 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 que pudieron obtener con estos equipos al mes.

A su vez también desconocían la calidad del fondo marino donde se tenía que dragar, y tuvieron muchos problemas para poder realizar la zanja que debería acoger la tubería, que finalmente no pudieron realizar.

Como resultado de todos estos factores solo pudo obtener una media de cuatro días al mes de trabajo útil. Ya que de los días de buen tiempo disponibles, tenía que perder al menos la mitad para poner en posición sus equipos pesados, cuando la previsión del tiempo fuera buena, y retirarlos a tiempo cuando fuera mala.

Finalmente 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).

El diseño inicial del emisario consistía en una tubería compuesta inicialmente 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. (Ver figura).

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.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

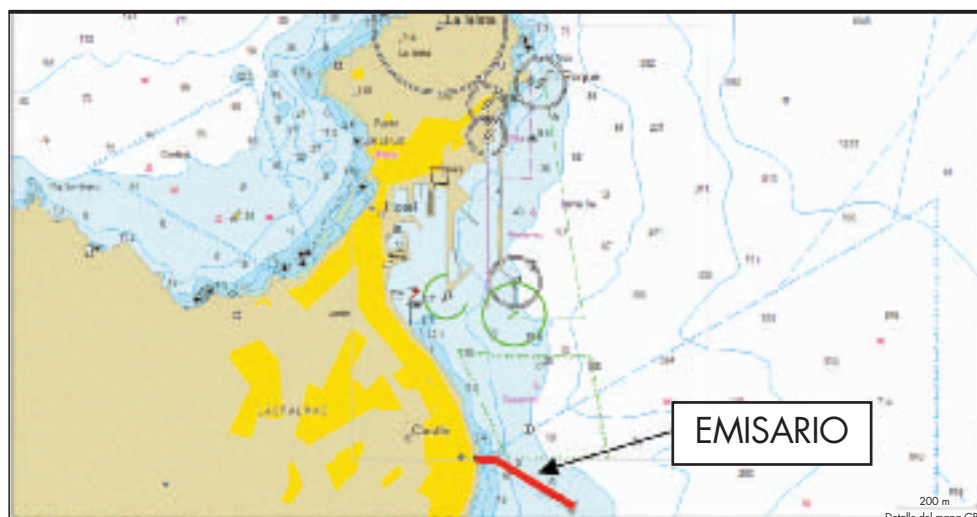


FIGURA 1. Vista de la posición del Emisario respecto al Puerto de Las Palmas de Gran Canaria.

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.

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 a 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 mucho mayores. 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.

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, el vertido por boca única dificulta la dilución e impide la asimilación por el mar de 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.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

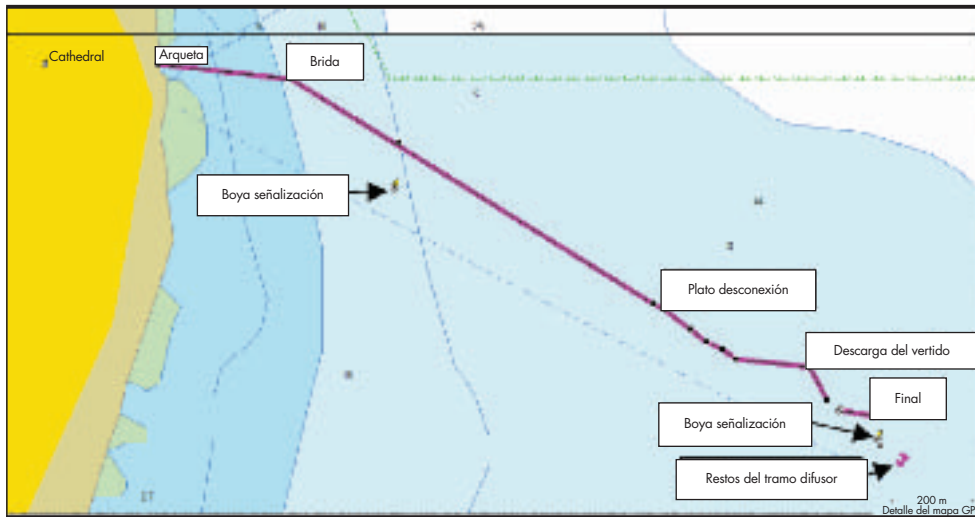


FIGURA 2. Estado del emisario antes de su reparación.

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 barajaban varias opciones:

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

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 como 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 de la violencia de las fuerzas que se ponen en juego en estos casos era fácil 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.

TRABAJO DESDE SUPERFICIE CON REMOLCADOR

La otra posibilidad era proceder a 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 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.

TRABAJO SUBMARINO TOTALMENTE

La tercera posibilidad 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 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

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

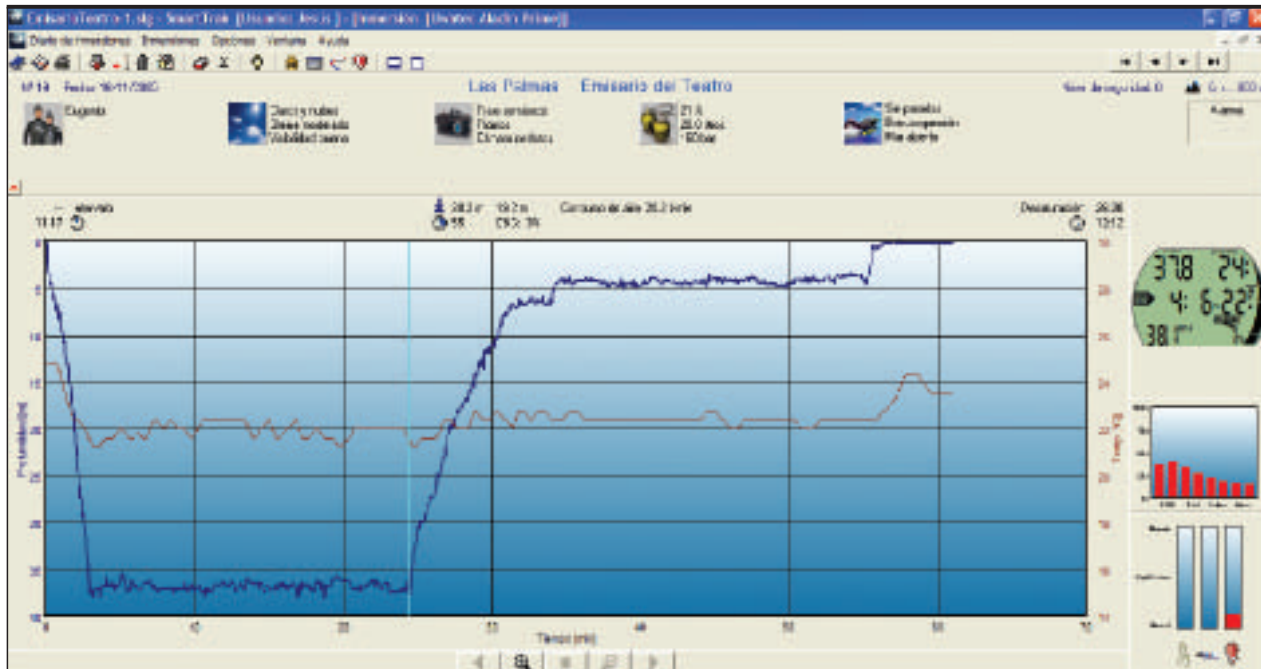


FIGURA 3. Gráfica de una inmersión con los tiempos de descompresión.

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. En el gráfico de la figura 3 se muestra una inmersión típica realizada entre las profundidades de 35 y 42 metros en un día normal de trabajo.

Muestra 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 un dos de minutos y una de veinte minutos a 3 metros de profundidad.

Aún 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.

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 des-

plazados 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.

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 el tubo e impedía cualquier trabajo de reparación y empalme una vez fuera colocada en su lugar original.

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 compró un compresor con potencia suficiente.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

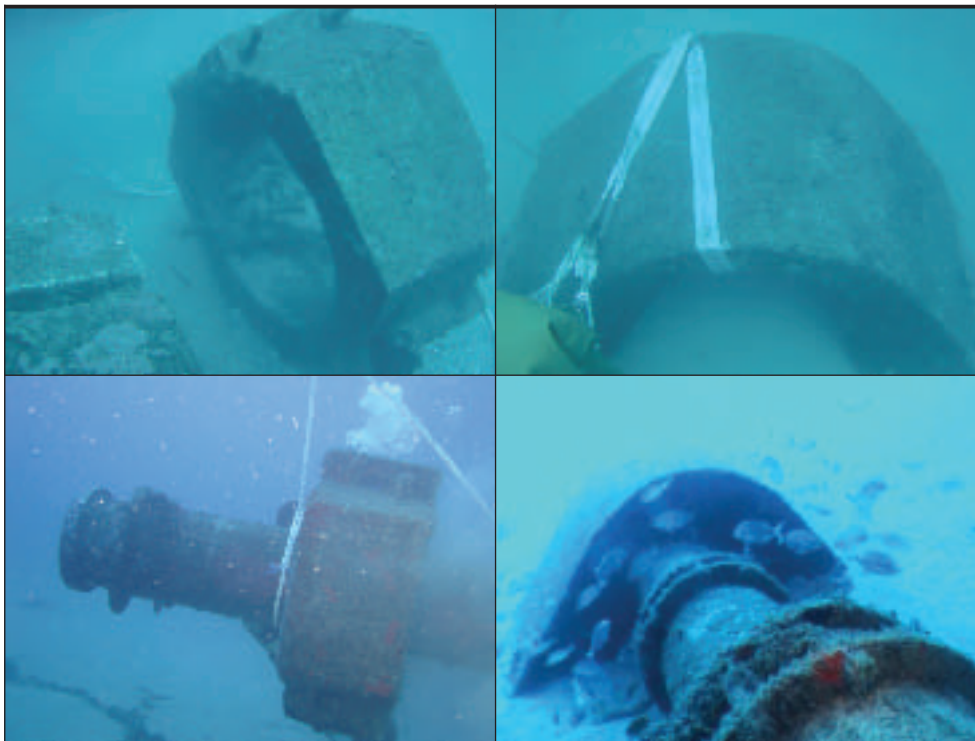


FIGURA 4. Varios ejemplos de muertos de sujeción y de anillos de flotación.

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.

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.

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.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA



FIGURA 5. Diversos momentos en el corte de la tubería

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 sino es fácil que la tubería presente pérdidas por los empalmes.

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 cenital y 7-b a una vista lateral, 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

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

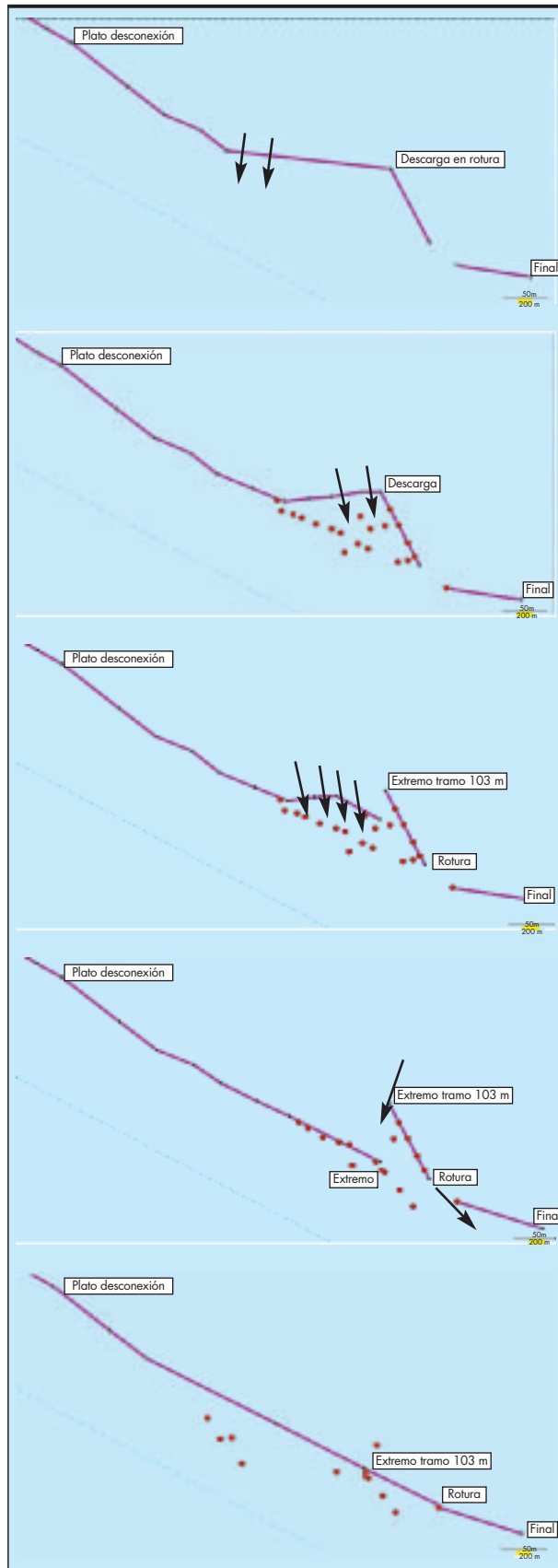


FIGURA 6. Evolución de los desplazamientos de los tramos y dirección de los tiros.

de tubería, muestra el estado de la junta en el interior de las pletinas de unión del zuncho.

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, y es por lo que hago el esfuerzo de publicarla, 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 elaboramos en el Departamento de Física de la ULPGC en el que se incluye un trabajo de simulación numérica de dilución de vertidos.

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:

- 1) Estudio de diluciones en los tres casos
- 2) Realización del presupuesto y estima del plazo de ejecución.
- 3) Descripción del proceso de reparación

FINALIZACIÓN DE LA REPARACIÓN INCLUYENDO EL TRAMO DIFUSOR

Las diferentes secciones del tramo difusor se encontraban desperdigadas por los alrededores del 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 una elipse 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 to-

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

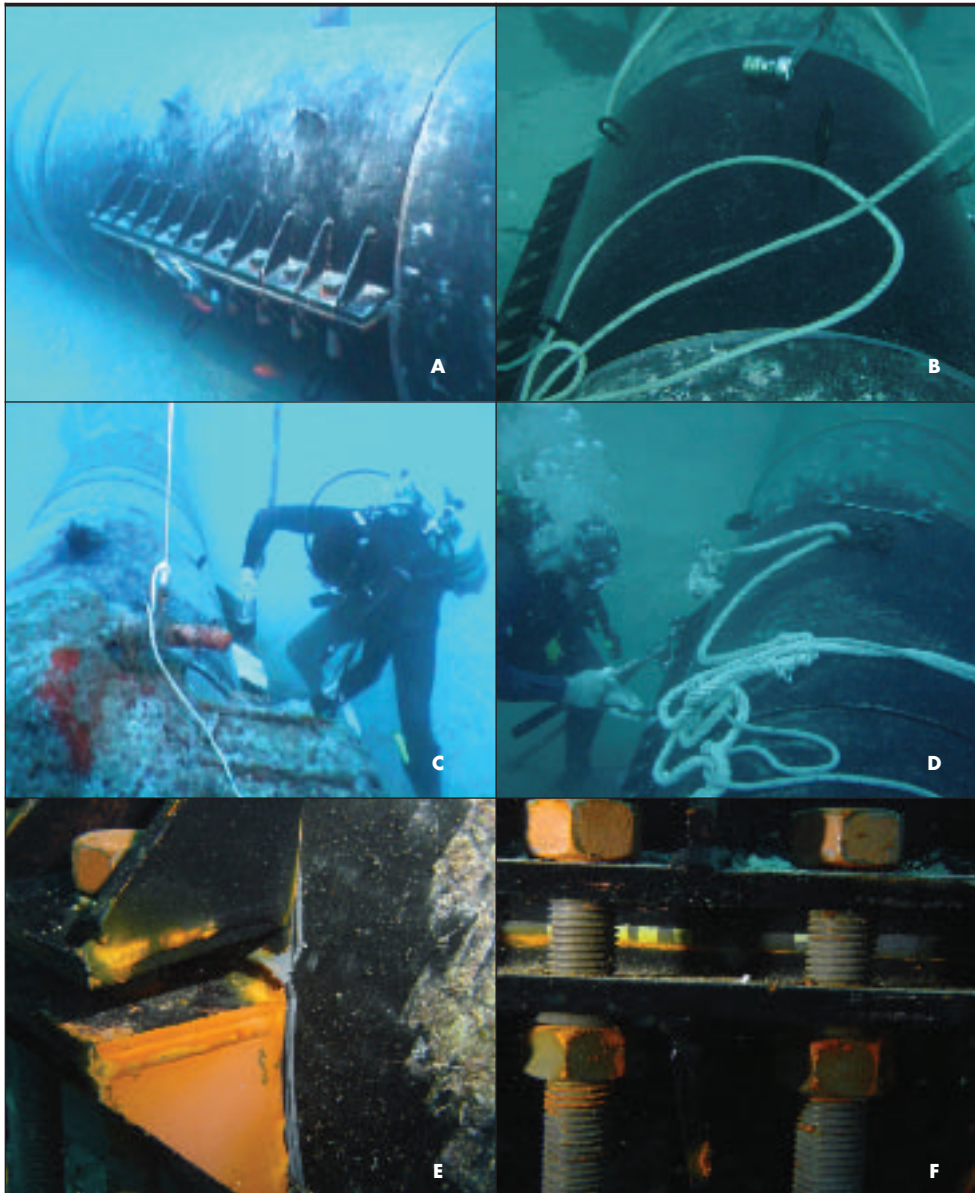


FIGURA 7. Diversos momentos de la colocación de un zuncho de empalme

das ocultas dentro de los anillos de hormigón 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 late-

ral 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.

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, 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

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

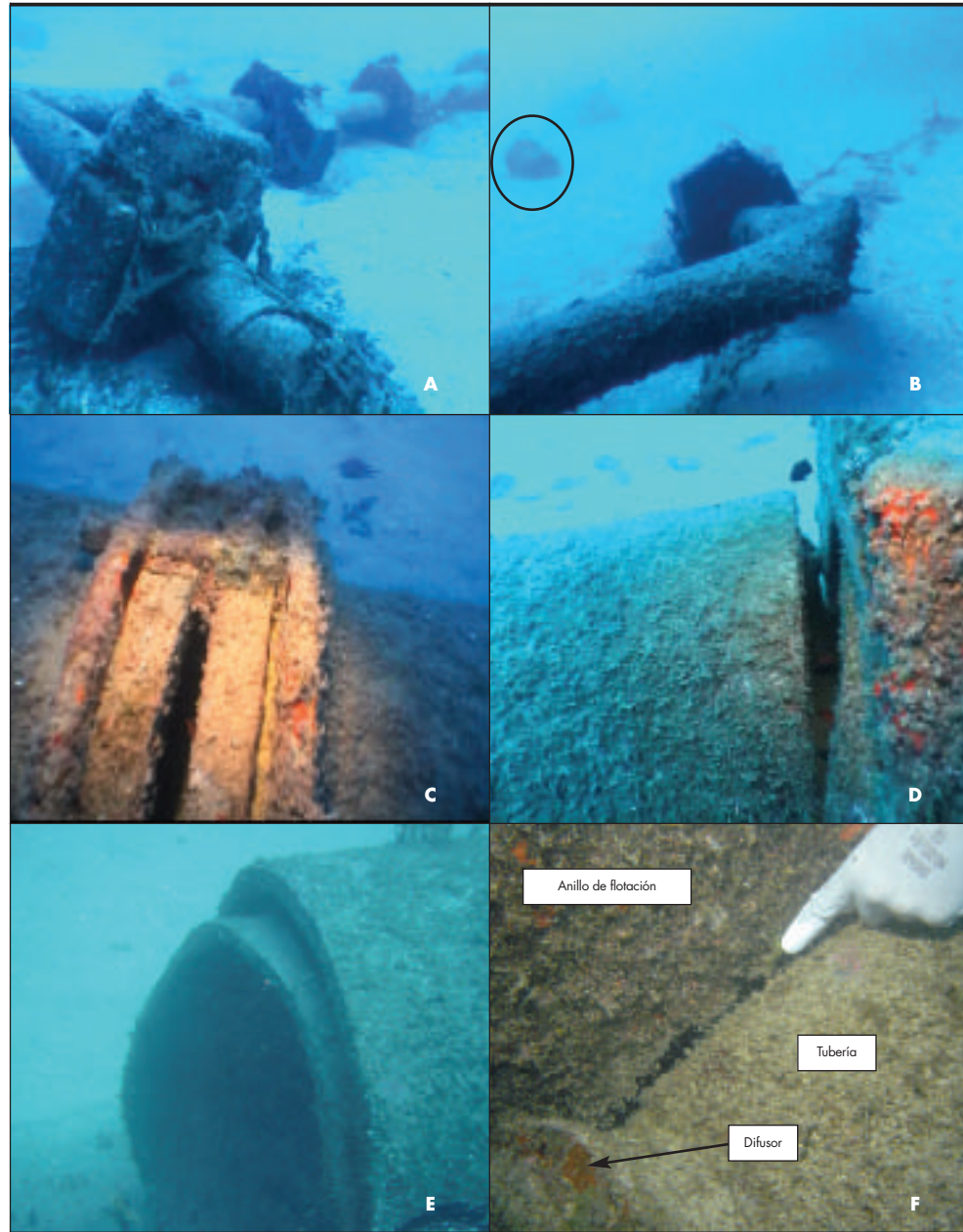


FIGURA 8. Detalles del estado del tramo difusor.

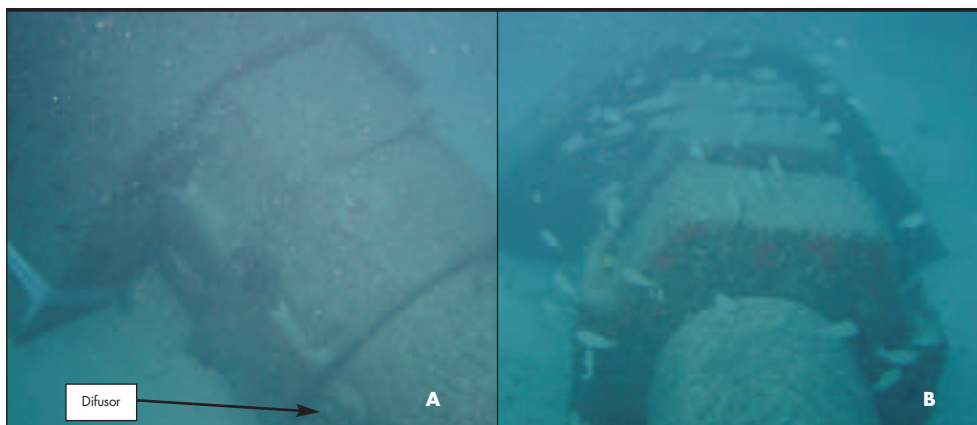


FIGURA 9. Se pueden observar dos puntos de acumulación de anillos de flotación contra muertos de sujeción.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

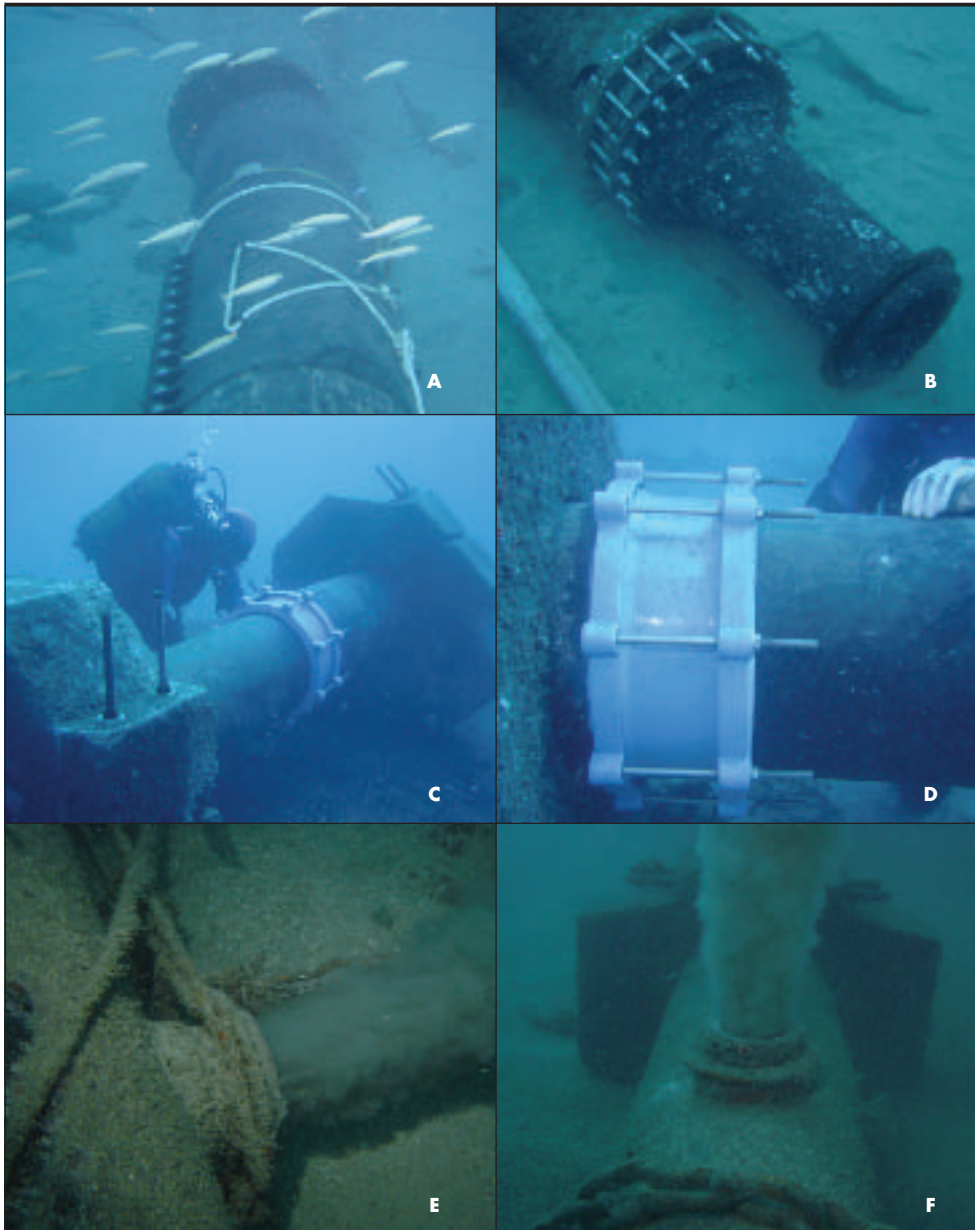


FIGURA 10. Detalles del estado del tramo difusor.

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 al cubrir menos tubo es mucho más crítica, y cualquier pequeño error puede dar lugar a una pérdida del vertido.

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.

SIMULACIONES DE VERTIDO

Para llevar a cabo las simulaciones, utilizamos el programa CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System) en su versión 4.1. CORMIX está avalado por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) para la simulación de procesos de mezcla de vertidos al mar. Y es una herramienta muy útil en la minimización de los efectos producidos sobre el medio marino por parte de vertidos continuos y puntuales.

La metodología de CORMIX permite simular las descargas realizadas mediante una única boca así como con tramos difusores con varias aperturas tanto sumergidas como superficiales. Además permite predecir los procesos de mezcla para distintos tipos de descarga, salmuera de una desaladora, residuos sólidos urbanos, contaminación térmica debida a procesos industriales, aguas residuales urbanas; en diversos medios acuáticos, estuarios, océano abierto, ríos someros, etc.

Las principales características hidrodinámicas del programa incluyen:

- Estudio completo, tanto en el campo cercano como en el lejano, de la trayectoria, concentración, forma, dilución y visualización de la pluma.
- Incluye interacciones de la pluma con los bordes.
- Predice el comportamiento de corrientes debidas a la densidad.
- Provee un análisis documentado completo con todas las reglas usadas en la clasificación y las conclusiones logradas en la sesión.
- Tres tipos de contaminantes tratados en el modelo: conservativos, no conservativos y de temperatura.
- Alerta cuando la pluma alcanza una zona de mezcla regulada restringida.
- Aplicable a estados estacionarios, no estacionarios con corrientes o mareas y estancados.
- Predice plumas atmosféricas en medios estratificados con velocidades sesgadas del viento.

ESTRUCTURA DE CORMIX

CORMIX esta compuesto por varios sub-programas, DATIN, PARAM, CLASS, HYDRO y SUM, cada uno cumple su función dentro de CORMIX. DATIN es el módulo de entrada de datos e inicialización del resto de programas, PARAM usa los datos de entrada y calcula parámetros físicos y escalas importantes como precursor del siguiente programa, el CLASS, que realiza la clasificación hidrodinámica de la situación del ambiente y de la descarga que le hayamos introducido. HYDRO realiza la predicción numérica detallada de las características del efluente. Por último, SUM, resume los resultados de clasificación y predicción, los interpreta y sugiere variaciones en el diseño. Por último estaría la salida gráfica. A continuación en la figura 10 se presenta un cuadro resumen del funcionamiento de CORMIX.

Se han realizado tres simulaciones, correspondientes a las tres fases de la obra de reparación, la primera con las condiciones del vertido al comenzar la obra. La segunda simulación acabada la primera fase de la obra. Y la tercera simulación con el emisario completamente reparado, realizando el vertido por el tramo difusor como está en el proyecto original de construcción.

Hay que aclarar que los emisarios son conductos que tienen como principal misión, además de alejar el vertido de la costa, la de lograr la máxima dilución de las sustancias vertidas. Actúan sobre el campo cercano, de manera que facilite al mar lo máximo posible la posterior disolución de las sustancias vertidas y su asimilación.

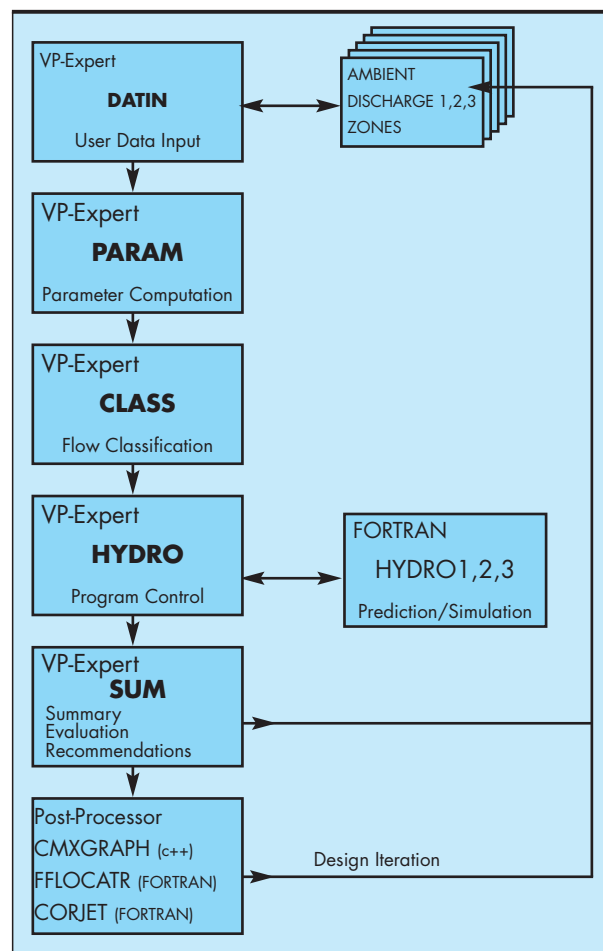


FIGURA 11. Descripción del funcionamiento del modelo CORMIX.

El mar tiene una gran capacidad para diluir y asimilar casi cualquier tipo de vertido, pero vertidos muy concentrados, aunque sea de sustancias perfectamente asimilables como es el caso de los vertidos urbanos, impiden que el mar los disuelva y asimile de una manera rápida. Esto produce que un vertido casi en su totalidad compuesto de materia orgánica procedente de aguas urbanas, se convierta en un problema ecológico y sanitario, y a que sus efectos incidan sobre la costa.

Las simulaciones se realizaron tomando un vertido de iguales características en los tres casos, un flujo de 600 l/s, con una concentración de 445 mg/l, de un compuesto conservativo, vertido sobre una corriente media del mar de 0.3 m/s en dirección hacia el Sur. Se modificaron únicamente las condiciones del vertido, que en los dos primeros casos es por boca única, y se diferencian únicamente en la profundidad y la distancia a la costa. El tercer caso es igual que el segundo (en cuanto a profundidad y distancia de la costa) pero el vertido es realizado por múltiples bocas, con las características del tramo difusor reparado totalmente.

La elección de un compuesto conservativo es debido a que de esta forma solo se tiene en cuenta la dilución física, debido a las condiciones del medio receptor y a las condiciones del vertido. De esta forma no se contempla la capacidad del mar para asimilar e incorporar a sus cadenas tróficas otras sustancias que se vierten no conservativas, como nitratos, carbono orgánico particulado, carbono orgánico disuelto,

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

bacterias, etc. Para lo cual haría falta un estudio de la zona de vertido más exhaustivo.

Se realizaron tres simulaciones para los tres casos previstos en las fases de la obra:

- 1) Caso del vertido con la rotura del emisario a 1810 metros de la costa y a 35 metros de profundidad.
- 2) Vertido por boca única a 2000 metros de la costa y 42 metros de profundidad.
- 3) Vertido por 20 difusores en los últimos 126 metros del emisario, a 2000 metros de la costa y 42 metros de profundidad.

El caso 1 correspondía al vertido del emisario con la rotura inicial. El caso 2 sería la simulación para el vertido en la pri-

mera fase de la reparación, es decir sigue siendo por boca única. Y el tercer caso representa la simulación del vertido con el tramo difusor como se diseñó en el proyecto inicial, con 20 difusores de 180 mm de diámetro espaciados cada 6 metros.

CASO 1

La primera simulación representa las condiciones de vertido que se dieron después de la última rotura del emisario, es decir un vertido realizado por boca única a 35 m de profundidad y a una distancia de la costa de 1830 m.

En la figura 12 se representa sobre una fotografía aérea del vertido, el curso de la tubería por el fondo y las concentraciones en superficie del vertido de las características anteriormente citadas.

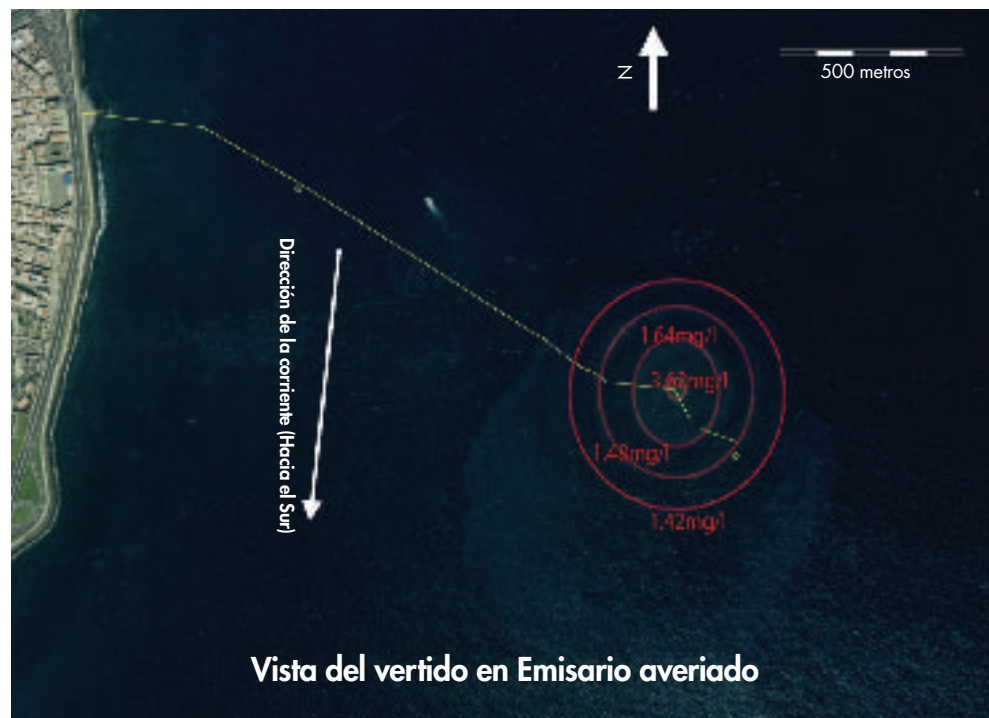


FIGURA 12. Fotografía aérea del vertido, con el diseño de la tubería y los anillos de concentración en superficie.

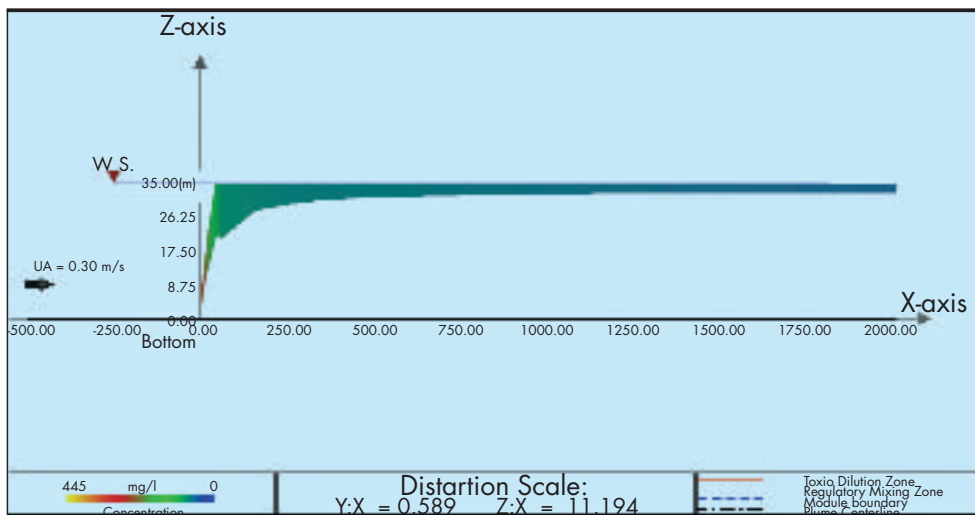


FIGURA 13. Simulación del vertido por boca única, con una concentración inicial de 445 mg/l de sustancia conservativa y una corriente de 0.3 m/s.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

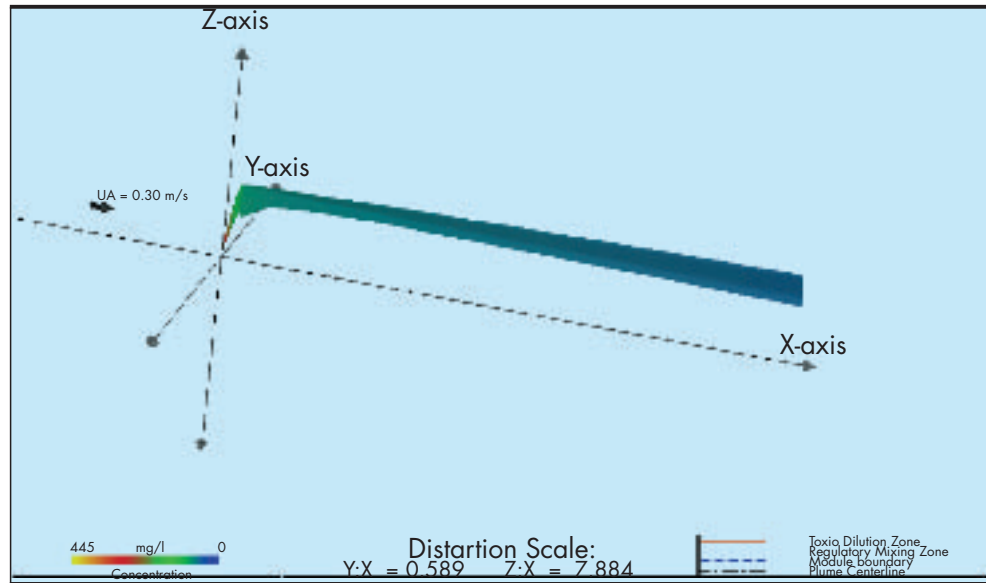


FIGURA 14. Simulación del modelo con las mismas condiciones que el anterior pero la salida gráfica muestra una perspectiva en tres dimensiones.

La fotografía aérea muestra en superficie una difusión del vertido en contra de la corriente, donde esta solo le comienza a afectar a partir de los 300 metros deformando la mancha superficial en dirección sur. Esto da una idea del efecto que produce el verter una gran cantidad de aguas residuales por un único punto.

El vertido irrumpe en la superficie creando incluso una sobre-elevación, que produce una corriente de gravedad con un campo de presiones de gradientes tan elevados que hace que la mancha se extienda contra corriente durante varios centenares de metros.

En la simulación, la mancha alcanza la superficie con valores de 3.62 mg/l, prácticamente en la vertical del vertido.

Los valores en los círculos concéntricos corresponden a distancias de 0, 140, 240, y 320 metros a partir del punto de afloramiento del vertido.

En las figuras 13 y 14 se muestra la salida del modelo numérico, donde en una gradación de colores se muestran las concentraciones del vertido. Se puede observar como el penacho de la pluma sube a superficie, casi verticalmente con poco efecto de la corriente circundante.

SEGUNDA SIMULACIÓN

Similar a la primera en cuanto a la forma y evolución del vertido. Donde la diferencia básica en el resultado final estriba



FIGURA 15. Fotografía aérea con la mancha desplazada hasta el punto aproximado de salida a superficie, y con las concentraciones del modelo para un vertido con las mismas características. (600 l/s, 445 mg/l de sustancia conservativa, y 0.3 m/s de velocidad de corriente marina hacia el sur).

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

en una variación en cuanto a los valores de concentración en el punto de afloramiento, con un máximo de 2.5 mg/l.

Con la reparación y el vertido por boca única a 42 metros y a 1930 metros de la línea de costa se logra una dilución en el punto de salida del vertido a superficie de 1.5 veces aproximadamente (1.45) respecto al caso anterior. La profundidad de la descarga es uno de los parámetros importantes en la dilución de un vertido y debido a este punto la dilución aumenta, el vertido tiene un recorrido mayor en la columna de agua y se diluye más.

En este caso se gana en dilución y se gana en alejamiento, dos valores que harán que el vertido tenga una mejor dispersión y que las consecuencias sobre la costa sean menores. Pero se puede comprobar que aunque existe mejora esta no es demasiado importante.

En la figura 15 se ve la fotografía aérea del vertido, modificada de manera que la mancha del vertido se ha trasladado hasta la zona teórica aproximada del vertido. En círculos concéntricos sobrepuestos a la mancha, a la misma distancia que los que se presentan en la figura 11, se muestran las concentraciones que el modelo de dilución marca para las mismas condiciones de concentración y flujo de vertido que el primer caso. Es decir a distancias de 0, 140, 240, y 320 metros a partir de la zona de afloramiento del vertido.

En las figuras siguientes, 16 y 17, se puede ver la salida gráfica del modelo. Donde se comprueba la similitud del tipo de respuesta con el ejemplo primero. El penacho sube casi verticalmente y los efectos en superficie son parecidos a los que produce el primer caso.

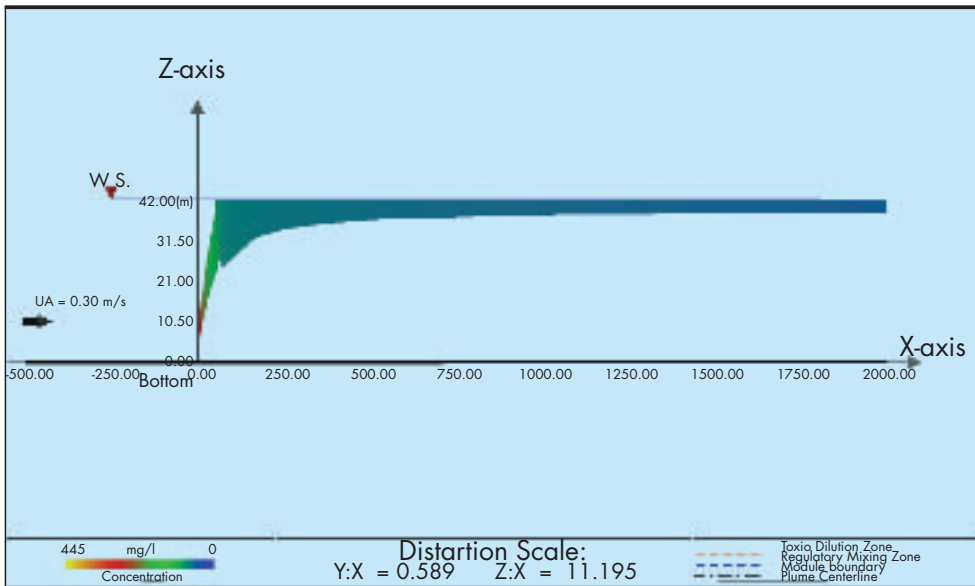


FIGURA 16. Simulación del vertido por boca única a 42 metros de profundidad. (600 l/s, 445 mg/l de sustancia conservativa, y 0.3 m/s de corriente marina).

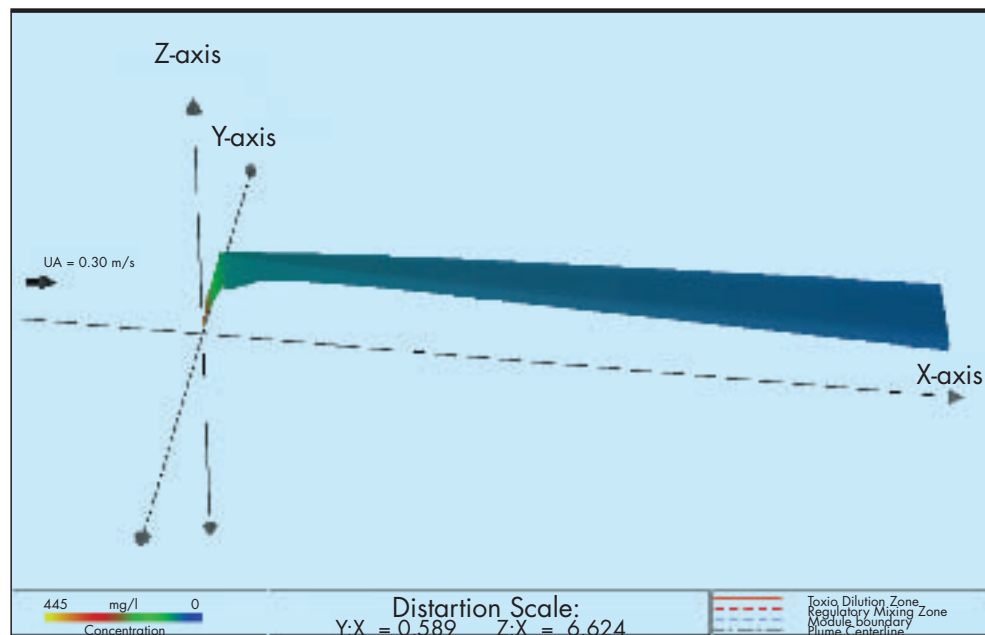


FIGURA 17. Salida gráfica del modelo en tres dimensiones, para las mismas condiciones que la figura 16.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

TERCERA SIMULACIÓN

En esta tercera simulación se comprueba el efecto sobre el vertido, en cuanto a dilución, por el uso del tramo difusor, ya que la profundidad se mantiene en 42 metros y la distancia a costa no varía respecto al caso segundo.

Las diferencias con los casos anteriores se pueden dividir en:

- Efectos en Campo Cercano

El tramo difusor es de 126 metros de longitud y vierte por 20 bocas alternadas de 180 mm de diámetro, situadas en los costados de la tubería, lo que tiene varios efectos sobre la pluma ascendente.

La separación del efluente en 20 partes, lo que hace que la superficie de contacto del medio receptor con el vertido sea mucho mayor y la mezcla tenga lugar con una mayor eficiencia.

Cada pluma individualmente realiza un efecto de incorporación de agua limpia ("entrainment"), de manera que la sumatoria del agua incorporada al penacho ascendente será mucho mayor, que si solo se tiene un vertido con una única pluma. Esta rápida absorción de agua marina produce una disminución de la diferencia de densidad entre el vertido y el agua marina, lo que a su vez hace disminuir aún más la velocidad de ascensión.

De esta forma el vertido llega a superficie con una concentración de 0.321 mg/l, es decir algo más de 10 veces (11.3) más diluido que en el primer caso y cerca de 8 veces (7.78) más que el segundo.

En las figuras 19 y 20, se presenta una simulación de la salida del modelo de dilución, se puede ver como el vertido sube lentamente y es desplazado por la corriente hacia el Sur desde prácticamente la profundidad de vertido.

El vertido afloraría, según la simulación, a unos 750 metros corriente abajo, con un tamaño de pluma mucho más grande que las dos simulaciones anteriores.

- Efectos en Campo Lejano

En el campo lejano es muy importante tener un tamaño de mancha lo más grande posible. Una mancha mayor tendrá una dilución mucho más alta que una mancha pequeña para las mismas condiciones de dilución.

Según la orden de 13 de Julio de 1993 recomienda el uso de unas expresiones para el cálculo de los coeficientes de dispersión horizontal en dirección transversal a la pluma:

$$K_y (m^2/s) = 3 \cdot 10^{-5} B^{4/3}$$

Siendo B el ancho inicial de la pluma, expresado en metros. Se comprueba como la dilución en el campo lejano evoluciona de manera exponencial al tamaño de la pluma en superficie.

Si se compara el tamaño de la pluma de vertido al llegar a superficie cuando el vertido se realiza por los difusores del emisario completamente reparado; con el vertido inicial del emisario roto, se tiene que es unas 10 veces mayor. Esto implicaría una dilución 21 veces mayor a partir del momento en que aflora a superficie.

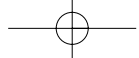
La comparación entre los dos primeros casos da un incremento del tamaño de mancha en superficie que no llega a 1.5 veces mayor en el segundo caso. Lo que hace que en superficie la dilución en campo lejano sea solamente del orden de 1.7 veces mayor.

Si la comparación se realiza entre el vertido del segundo caso, 42 metros y una única boca; con el tercer caso vertido por los difusores, se obtiene un incremento en la dilución de 12.5 veces, una vez que el vertido aflora en superficie.

En las figuras 19 y 20 se puede comprobar como el vertido ahora no aflora a superficie cerca del punto de salida, sino que la corriente le afecta desde el inicio y lo desplaza corriente abajo.

FIGURA 18. Fotografía aérea del vertido con las concentraciones del modelo para un vertido de 600 l/s, una corriente marina hacia el sur de 0.3 m/s y 445 mg/l de concentración de sustancia conservativa, vertido por los difusores según el proyecto. En este caso el vertido afloraría a 750 metros corriente abajo.





REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

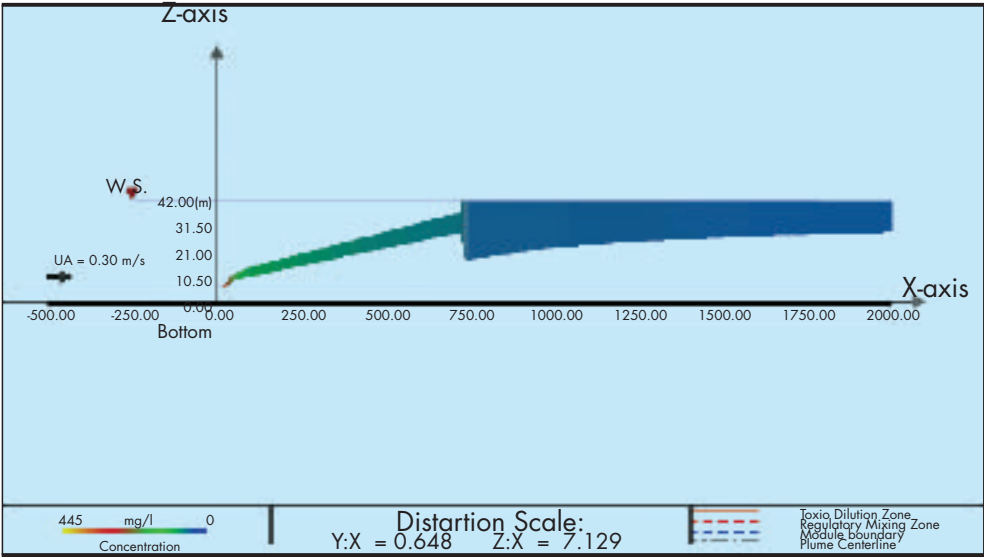


FIGURA 19. Salida gráfica del modelo para el vertido de la simulación por los difusores. Obsérvese como el vertido es arrastrado por la corriente 750 metros antes de llegar a superficie.

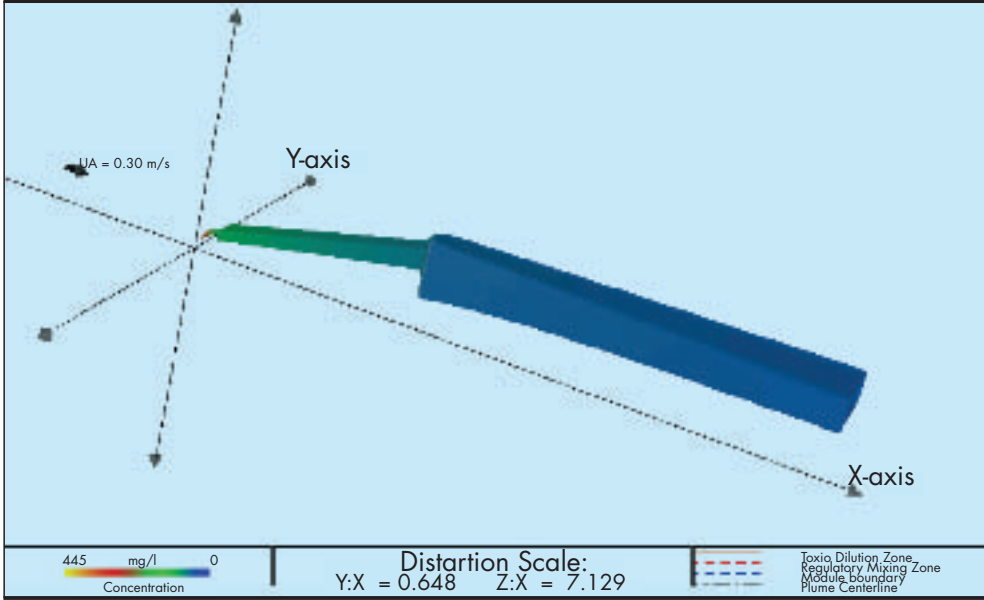


FIGURA 20. Mismo caso anterior pero con una perspectiva en tres dimensiones. Se puede comprobar como el tamaño de la mancha en superficie es mucho mayor que en los dos casos anteriores.

Resumen de las simulaciones

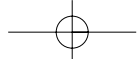
Las diluciones son del orden de más de 10 y casi 8 veces mayores si comparamos los casos primero y segundo, con el tercero que es cuando la reparación se haga incluyendo el tramo difusor.

Esta dilución inicial, de afloramiento a superficie, mucho mayor; hace que el tamaño de la pluma en superficie sea

también mayor. Lo que provoca una mejora exponencial en la posterior dilución (Campo lejano).

Los cálculos de dilución para el ejemplo indican por sí solos la conveniencia de reparar el emisario hasta el final, con el tramo difusor según el diseño original del proyecto de construcción.

Distancia	Emisario roto (mg/l)	Boca única (mg/l)	Multidifusor (mg/l)
Superficie (0m)	3.62	2.5	0.321
1er anillo (140m)	1.64	1.18	0.213
2º anillo (240m)	1.48	1.07	0.207
3er anillo (320m)	1.42	1.02	0.203



AVISO A NAVEGANTES SOBRE LOS MODELOS NÚMERICOS

Cada vez se está extendiendo más el uso de modelos numéricos para la ingeniería, y de una manera más intensa en la ingeniería costera. Hay que decir que a pesar del vertiginoso avance que han sufrido estas herramientas, están aún muy lejos de representar la realidad de un proceso completamente. Cada modelo tiene su rango de actuación, casi siempre muy restringido que hay que conocer, además necesita de una campaña de campo bien diseñada y ejecutada para que los datos de entrada sean de una calidad buena; y si se quiere que los resultados del modelo sean útiles se hace siempre necesaria la realización de una calibración del modelo con datos de campo de buena calidad.

De esta forma no es bueno fiarse completamente de las espectaculares gráficas que resultan de la ejecución de un modelo moderno, con representaciones en colores de corrientes, altura de oleaje, transporte, etc; o como en el caso que ocupa en este trabajo con el modelo CORMIX, de las distribuciones de concentración de un determinado compuesto. A

no ser que conozcamos las limitaciones del modelo, hayamos partido de unos buenos datos iniciales y tengamos calibrado el modelo para la situación que nos ocupa en cada trabajo, un modelo no deja de ser más que un entretenido juego de ordenador.

En este caso el modelo sirve para comparar tres posibles supuestos iguales en los que la diferencia residía en la forma en que se realizaba el vertido. Y todos los demás parámetros permanecían constantes. Las limitaciones de este modelo son grandes, por ejemplo solo permite poner una única velocidad de corriente en toda la columna, pero es un modelo, que bien calibrado y con buenos datos de entrada, para un determinado vertido se convierte en una herramienta muy potente y fiable de gestión.

En la figura 21 se puede ver una foto aérea del vertido una vez realizada la reparación completa. Como se puede apreciar el vertido sigue desde su origen la corriente de agua, y se abre en penacho corriente abajo dejando una estela con una concentración en superficie mucho más baja que la inicial.



FIGURA 21. Vista aérea del vertido con el emisario averiado y reparado.

REPARACIÓN DEL EMISARIO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

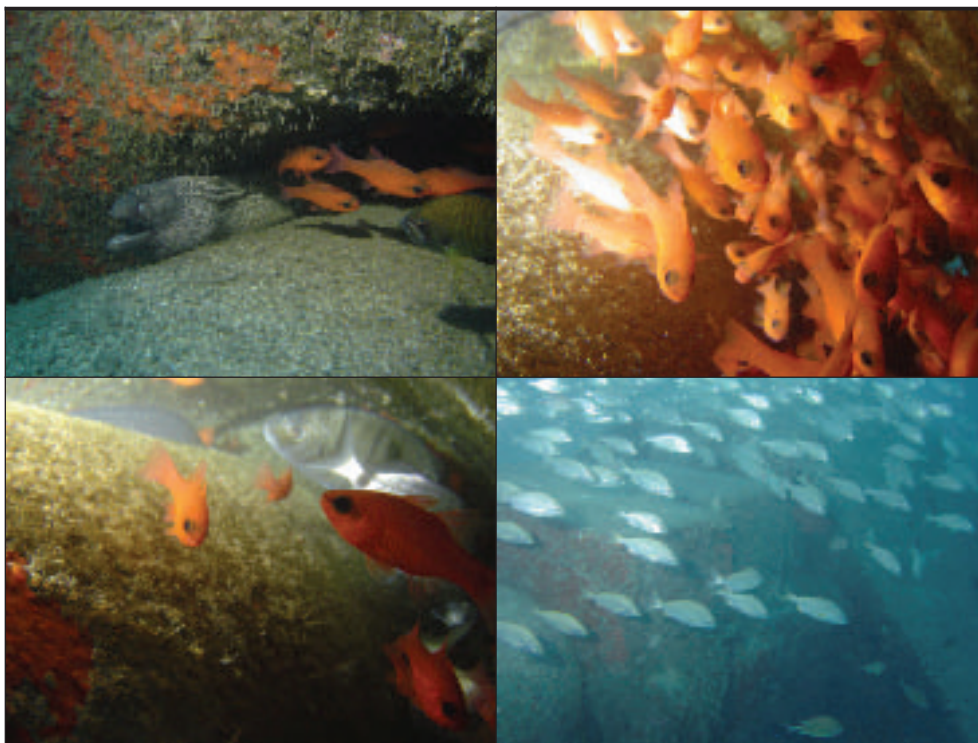


FIGURA 22. Algunos ejemplos de colonizadores del emisario.

Se ha comprobado in situ como el vertido aflora mucho menos violentamente y se deja llevar por la corriente desde el principio. El olor y el color del agua han mejorado y el tamaño de la mancha en superficie ha aumentado considerablemente.

CONCLUSIONES

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.

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.

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.

Se presenta en este artículo la reparación del emisario de Las Palmas de Gran Canaria, una obra ejecutada en su inicio

con poco cuidado, y que debido a esto ha dado lugar a numerosos problemas a lo largo de su vida.

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. 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 22 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.

BIBLIOGRAFÍA

- Acra, a. *et al.* 1990. Water disinfection by solar radiation; assessment and application. IDRC, Ottawa. P. 83.
- Baumgartner, D.J., Frick, W.E. & Roberts, P.J.W., 1993, "Dilution Models for Effluent Discharges" Report No. EPA/600/R-93/139
- Blumberg, A.F., Ji, Z.G. & Ziegler, C.K., 1996, "Modeling outfall plume behaviour using far field circulation model, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 122, No. 11
- Britto, e.r. y goncalves, f.p.b. (1979). Contribuicao ao estudo para determinacao do decaemento bacteriano. 10° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Manaus, 21 a 26 Janeiro 1979.
- Brooks, n.h. (1960). Diffusion of sewage effluents in an ocean current. Proc. of First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment. University of California. 1959. Pergamon Press, New York.
- Brooks, n.h. (1983). Dispersion in hydrologic and coastal environments. Environmental Protection Agency. Springfield, Virginia, NTIS, 141 p. PB-226980.
- Cabelli, v.j. (1984). Health effects criteria for marine recreational waters, EPA-600/1-80-031, U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina, 98, Aug. 1984.
- Carvalho J. L.B., Philip J. W. Roberts, and João Roldão **Field Observations of Ipanema Beach Outfall** J. Hydr. Engrg., Volume 128, Issue 2, pp. 151-160 (February 2002).
- Delft Hydraulics, 2001, "Delft3D user interface, Capabilities and applications", Delft Hydraulics, Delft.
- Encibra, s.a.e. (1969). Engineering-Science Inc. Marine sewage disposal for Rio de Janeiro, City of Rio de Janeiro, Brazil.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., & Brooks, N.H., 1979, "Mixing in Inland and Coastal Waters", Academic Press, New York.
- French, J. A. **Pigging Submarine Outfalls**. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING. Volume 121, Issue 5, pp. 396-401 (May 1995).
- Grace R. A. **Discussion: Pigging Submarine Outfalls**. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING, Volume 122, Issue 8, pp. 774-775 (August 1996).
- Grace R. A. **Marine Outfall Performance. I: Introduction and Flow Restoration** JOURNAL OF PERFORMANCE OF CONSTRUCTED FACILITIES, Volume 19, Issue 4, pp. 347-358 (November 2005).
- Grace R. A. **Returning Impaired Marine Outfall Diffusers to Full Service** JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING. Volume 123, Issue 3, pp. 297-303 (March 1997).
- Grace, r.a. (1978). Marine outfall systems: Planning, design and construction. Prentice-Hall. New Jersey.
- Hydroscience, Inc. (1974) Water quality evaluation for ocean disposal system: Nassau County, Supplement A. New York.
- Hydroscience, Inc. (1977). Guanabara Bay water quality study, Brazil. Pan American Health Organization/FEEMA.
- Instituto nacional de ciencia y técnica hídricas (incyth) (1984). Estudio de la factibilidad de la disposición en el mar de los efluentes cloacales de la ciudad de Mar del Plata. Argentina. 3 volúmenes.
- Jirka, G. H., T. Bleninger. **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 (AIH), São Pedro, Brasil, Octubre 18-22, 2004, A.M. Genovez, Ed. **IAHR AIPH**
- Jirka, G.H. & Akar, P.J., 1991, "Hydrodynamic Classification of Submerged Multiport Diffuser Discharges", J. Hydraulic Engineering, ASCE, (117), 1113-1128, HY9
- Jirka, G.H. & Lee, J.H.-W., 1994, "Waste Disposal in the Ocean", in "Water Quality and its Control", M. Hino (ed.), Balkema, Rotterdam
- Jirka, G.H., 2004, "Integral Model for Turbulent Buoyant Jets in Unbounded Stratified Flows, Part 1: The Single Round Jet", Environmental Fluid Mechanics, Vol. 4, 1-556
- Jirka, G.H., Abraham, G., Harleman, D.R.F., 1976, "An Assessment of Techniques for hydrothermal prediction", Department of Civil Engineering, MIT for U.S. Nuclear Regulatory Commission, Cambridge
- Jirka, G.H., Doneker, R.L. & Hinton, S.W., 1996, "User's Manual for CORMIX: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters", U.S. Environmental Protection Agency, Tech. Rep., Environmental Research Lab, Athens, Georgia, USA
- Ludwig, r. (1988). Evaluación del Impacto Ambiental: Ubicación y diseño de Emisarios Submarinos. Informe No. 43 de MARC. Documento de EIA.
- 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.
- Mellor, G., Häkkinen, S., Ezer, T. & Patchen, R., 2002, "A Generalization of a Sigma Coordinate Ocean Model and an Intercomparison of Model Vertical Grids", Ocean Forecasting: Conceptual Basis and Applications, N. Pinardi, J. Woods (Eds.), Springer, Berlin, 55-72, (URL: <ftp://ftp.aos.princeton.edu/pub/pom/PAPERS/GENSIG.pdf>)
- Pearson, e.a. (1971). Guidelines for conduction of bacterial disappearance rate (T-90) studies for marine outfall design. Unpublished paper, April 1971.
- Rawn, a.m.; bowerman. f.r.; hon, m. & brooks, n.h. (1961). Diffusers for disposal of sewage in sea water. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 126: 344-388, Part III. 12
- Reiff, f.m. (1990). Emisarios submarinos de pequeño diámetro de polietileno de alta densidad, (HDPE), CEPIS/HPE/OPS.
- Roberts, p.j.w (1987). The use of current data in ocean outfall design. Proceedings of IAWPRC Marine Disposal Seminar, Rio de Janeiro, Brazil, August 1986, v. 18, No. 11, 1986. ISBN 008 035 5811, Pergamon Press.
- Roberts, p.j.w. (1977). Dispersion of buoyant waste discharged from outfall diffusers of finite length. California Institute of Technology. Pasadena, California, March 1977, 193 p. Report N° KH-R-35.
- Roberts, P.J.W., 1999, "Modeling Mamala Bay Outfall Plumes. I. Near Field. II: Far Field, J. Hydraulic Engineering, Vol. 125, No.6.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H. & Baumgartner D.J., 1989a, "Ocean outfalls I, Submerged wastefield formation", J. Hydraulic Engineering, 115, 1-25.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H. & Baumgartner D.J., 1989b, "Ocean outfalls II, Spatial evolution of submerged wastefield", J. Hydraulic Engineering, 115, 26-48.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H. & Baumgartner D.J., 1989c, "Ocean outfalls III, Effect of diffuser design on submerged wastefield", J. Hydraulic Engineering, 115, 49-70.
- Salas, h.j. (1983). Programa básico de cómputo para el diseño de un emisario submarino. CEPIS, Lima, Peru.
- Salas, h.j. (1994). Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Versión actualizada. CEPIS/HPE/OPS.
- Saliba, l. j. & Helmer, R. (1990). Health risks associated with pollution of coastal bathing waters. World Health Statistics, Vol. 43, No. 3, p. 177-187, World Health Organization. U.S. Environmental Protection Agency (1985). Test methods for escherichia coli and enterococci in water by the membrane filter procedure. U.S. Department of Commerce. NTIS. 30 p. EPA-600/4-85/076.
- Wallis, j.g. (1979). Ocean outfall construction cost. Journal WPCF, 51:5-951-957. Mayo 1979.
- World bank (1983). Marine waste disposal for developing countries. A Manual for Planning and Practice. Parts II and III. Structural Design and Construction, Draft. Enero 1983.
- Zhang, Xue-Yong & Adams, E.E., 1999, "Prediction of near field plume characteristics using far field circulation model, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No.3
- Zhang, Xue-Yong, 1995, "Ocean Outfall Modeling - Interfacing Near and Far Field Models with Particle Tracking Method", Dissertation thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA
- Zielke W. & Mayerle R., 1999, "Küstengewässer" in: Zielke, W. [Hrsg.]: Numerische Modelle von Flüssen, Seen und Küstengewässer, DVVW Schriften 127, Bonn