



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

# **Astilleros: problemática de las aguas del dique seco**

Autor: Ramiro Barrio Gómez

Institución: Universidad de A Coruña

e-mail: [ramirobarrio@telefonica.net](mailto:ramirobarrio@telefonica.net)

Otros Autores: Julio López Ezquerro (Universidad de A Coruña); José María de Miguel Gómez (Fundación Polígono Río do Pozo)

## RESUMEN

Las actividades de un Astillero no tienen excesivos impactos ambientales, con una única excepción, las labores de pintado del barco una vez concluida la vida útil de la pintura. Durante estos trabajos, además de otros problemas, se genera una gran cantidad de aguas residuales industriales, que conllevan una variedad de contaminantes, como metales pesados, hidrocarburos, derivados del estaño (TBTs), restos de pinturas, disolvente etc. Hasta la fecha en la práctica habitual de casi todos los Astilleros, el verter esos efluentes directamente al mar o a los ríos. En la presente ponencia se presenta un estudio de la situación del Astillero con relación a estas aguas: su naturaleza, su dimensionamiento, sus parámetros físico-químicos representativos después de una serie de análisis y propuestas de posibles tratamientos a las mismas.

## INDICE:

1. Introducción
2. Análisis del problema
3. Estudio
4. Normativa aplicable
5. Características generales de las aguas residuales
6. Cálculo del volumen generado
7. Composición tipo del agua a tratar
8. Resultados analíticos
9. Solución a los lodos generados
10. Estudio y selección de alternativas
11. Alternativas posibles
12. Conclusiones

## 1. INTRODUCCION

Cuando los barcos tienen que permanecer amarrados o fondeados por las razones que sean, es casi seguro que se vayan depositando una serie de organismos vivos sobre el casco de los buques, lo mismo ocurre a lo largo de sus travesías por los diferentes mares. Este fenómeno de adhesión presenta muchos efectos perjudiciales para los estos cascos; estos organismos interrumpen la aerodinámica del buque, frenan su desplazamiento, disminuyen la velocidad y maniobrabilidad y por supuesto incrementan el gasto de combustible

Por ello, desde hace muchos años en la industria naval hemos luchado contra este problema aplicando en la última capa de pintura algunas sustancias que impidan o al menos dificulten esa sedimentación. A estos materiales anti-incrustantes, normalmente se les denomina “anti-fooling” (anti-incrustantes).

Como parece lógico, a medida que los conocimientos técnicos de los fabricantes ha ido avanzando, estas pinturas han cambiando los componentes, pero hasta nuestros días, siempre han llevado algunas sustancias que presentaran unos marcados efectos biocidas, con la finalidad, tal como hemos indicado, de eliminar o al menos impedir que los organismos marinos lleguen y se adhieran a las chapas del casco. Algunas de las sustancias que frecuentemente entraban es la composición de las pinturas usadas en los barcos, eran los metales pesados o los derivados del estaño como los tributilestaño (TBT), aunque por suerte hoy en día estos últimos ya están prohibidos.

Desde que un barco sale del dique, a medida que va navegando, va soltando lentamente por los mares estos productos, por lo que además de los efectos de corrosión del casco, el tiempo hace que se vayan perdiendo lentamente los efectos biocidas. Por ello, una vez transcurrido un tiempo razonable, es necesario que el barco vuelva al Astillero para reponer otra vez estas capas de pinturas

Además de otras muchas razones de tipo mecánico o de averías, esta es una por la que los barcos deben pasar regularmente por los Astilleros, bien entrando en dique seco, por medio de carenado, o en las áreas de reparaciones, para proceder a los trabajos de pintado del barco.

Y aquí empiezan nuestros problemas ambientales, puesto que para que este nuevo pintado sea efectivo es necesario retirar todas las capas de pintura anteriormente aplicadas. Entre estos materiales retirados, lógicamente se encuentran los citados “anti-incrustantes” que como se indicó ya han perdido sus efectos. Aunque se está tratando de encontrar otros medios menos agresivos, hasta la fecha, la forma más general y extendida de eliminar estas capas es mediante la denominada “hidro-limpieza”, es decir aplicando una cantidad considerable de agua dulce a alta presión.

Como podemos suponer, estos trabajos conllevan la generación de cantidades grandes de aguas residuales industriales en el dique, o en el lugar del Astillero donde se realice esta operación. Su magnitud va depender de muchas variables como la superficie del barco, el estado de la pintura, la presión y número de puntos de aplicación. Y por supuesto que en estas aguas residuales, entre otros muchos elementos, van a ir arrastrados o disueltos la mayor parte de los componentes anti-incrustantes, los metales pesados y si aún fueron utilizados en la pintura los TBT

Pero una vez que el barco entra en dique, es muy probable que además de las labores de pintado, se aproveche su estancia en el astillero para llevar a cabo un montón de labores de reparaciones y mantenimiento que conllevarán el vertido, derrame o eliminación de muchas sustancias, más o menos peligrosas, como restos de pinturas, hidrocarburos, disolventes, líquidos hidráulicos etc. y que acabarán en las aguas residuales generadas en el dique seco durante todos los días de estancia del barco en el Astillero.

Aunque sea desagradable hay que recordar que de forma general y salvo alguna excepción, en la actualidad a estos efluentes generados en dique seco en los diferentes trabajos, no se les suele aplicar ningún tipo de tratamiento, vertiéndose directamente a los ríos, al mar, o en el caso de Galicia a las Rías, con el consiguiente impacto ambiental para el entorno donde son vertidos.

## **2. ANALISIS DEL PROBLEMA**

Desde varios puntos de vista, pero en nuestro caso desde el ambiental, esta forma de realizar las labores de reparaciones no puede seguir así, por lo que a corto plazo se deben ir instalando sistemas de tratamiento adecuados antes de que estas aguas residuales industriales sean vertidos al medio hídrico, sea este el sistema público de red de saneamiento si ello es permitido, o más frecuentemente directamente el río o el mar.

El tratamiento elegido será adecuado a cada Astillero y medio receptor, pero siempre deber ser lo suficientemente eficaz como para garantizar que se elimina del agua todas las sustancias antes descritas, cumplimiento en todo caso con las exigencias más estrictas de las diferentes normativas referentes a vertidos de sustancias peligrosas al medio hídrico.

Aunque el problema es general y afecta a la mayor parte de los Astilleros Europeos con trabajos de reparación de buques, en el caso de Galicia y dadas las peculiaridades propias de sensibilidad y riqueza de las Rías, puede ser más acuciante y urgente. Por ello para atajar estos y otros problemas similares, se promulgó ya en 2001 la Ley 8/2001, de 2 de agosto, de protección de la calidad de las aguas de las rías de Galicia y de ordenación del servicio público de depuración de aguas residuales urbanas (BOE, 25 de septiembre de 2001).

Como no podía ser de otra forma, dicha Ley pretende la protección de la calidad de las aguas de las rías de Galicia mediante el establecimiento de una serie de medidas como fijar los objetivos mínimos de calidad que deben tener las aguas de Las Rías, y proponer unos límites de contaminantes para la emisión de vertidos a las Rías. También se regula la ordenación de las actividades que pudiesen resultar incompatibles con dicha protección, cuya instalación requerirá una especial atención a las exigencias ambientales. En las demás CCAA se dispone de normativas similares y en el supuesto de que no la hubiera, se aplicará la normativa estatal.

### 3. ESTUDIO

Para in controlando el problema, en una primera evaluación, cada Astillero habrá de ir recopilando todos aquellos datos que nos ayuden a conocer las características y magnitud del agua a tratar, si existe algún tipo de tratamiento, y en todo caso el sistema de depuración más adecuado a implantar.

Como ejemplo habrá que recabar:

- Toda la información posible sobre el proceso de limpieza de barcos en el Astillero a estudiar.
- Determinar el caudal máximo que se nos puede presentar por barco
- Análisis bibliográfico y análisis de laboratorio para determinar, lo más exactamente posible, la caracterización de los distintos efluentes generados durante el proceso de limpieza de barcos en ese Astillero.
- Estudio del marco legal aplicable, tanto a nivel estatal como autonómico y local, para la determinación de las restricciones legales o normativas en cuanto a tratamiento del agua residual se refiere, y en cuanto a los límites de vertido legales marcados.
- Revisión de posibles estudios realizados en el mismo ámbito, y si hubiera ya aplicado algún sistema en Astilleros similares.
- Una vez conocida la situación se podría ir definiendo los criterios de diseño de la EDAR, su configuración y dimensionamiento.
- Es muy probable que haya distintas posibilidades técnicas por lo que será necesario ir perfilando las diferentes alternativas de tratamiento posibles en base a las características del propio Astillero.
- Dada la magnitud del sistema de tratamiento, sería muy conveniente el realizar con anterioridad algunos ensayos, bien en laboratorio o mejor si es posible mediante una planta piloto. De esta forma las garantías de viabilidad del sistema de tratamiento elegido sería muy altas.
- Con todos los datos anteriores estaríamos en condiciones de definir los diferentes procesos de tratamiento final más adecuados para nuestro Astillero y los costes y equipos necesarios.

- Como cualquier planta de tratamiento de aguas, en la del Astillero se van a generar unos lodos que será necesario analizar para determinar su destino final y pre-tratamiento adecuado para ser manejados y transportados
- Suponiendo que todo el proceso haya sido positivo y de llegue a la instalación real en el Astillero de una EDAR industrial de debería definir un programa cronológico de ensayos complementarios de autocontrol a fin de verificar que el comportamiento de depuración es el que esperamos, y que estamos cumpliendo con todos los objetivos acordados.

#### 4. NORMATIVA APLICABLE

Sin pararnos a revisar todas las Directivas relacionadas con el tema, ya que en su totalidad han sido traspuestas a nuestra normativa, vamos a presentar un pequeño resumen de la normativa estatal aplicable.

El marco básico en materia de aguas está configurado por los criterios emanados de la Directiva Marco de Aguas, dictada por la Unión Europea, y las Leyes de Aguas, Costas y Puertos, dictadas por el Estado español. Pero las cuestiones reguladas en materia de aguas son muy amplias y particulares, por lo que esta normativa ha tenido que ser ampliada y concretada en una numerosa serie de disposiciones, tal como indicamos en el caso de Galicia

**Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.** La norma establece la regulación del dominio público hidráulico, del uso del agua y del ejercicio de las competencias atribuidas al Estado delimitadas en el artículo 149 de la Constitución. Además, incorpora las modificaciones realizadas por la Ley 46/1999, de 13 de diciembre. La trascendencia de esta Ley 46/1999, para la regulación de los vertidos fue enorme, toda vez que uno de los objetivos principales de dicha reforma era, precisamente, profundizar y perfeccionar los mecanismos de protección de la calidad de las aguas y, en particular, establecer una regulación mucho más estricta de las autorizaciones de vertido, para que éstas pudieran constituir un instrumento verdaderamente eficaz en la lucha contra la contaminación de las aguas continentales. Lógicamente afectaría a aquellos Astilleros instalados en los ríos, o desembocaduras.

**La Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas,** por su parte, tiene como objetivos determinar el dominio público marítimo-terrestre y asegurar su integridad y adecuada conservación, adoptando, en su caso, las medidas de protección y restauración necesarias; garantizar el uso público del mar, de su ribera y del resto del dominio público marítimo-terrestre; regular la utilización racional de estos bienes en términos acordes con su naturaleza, sus fines y con el respeto al paisaje, al medio ambiente y al patrimonio histórico; y conseguir y mantener un adecuado nivel de calidad de las aguas y de la ribera del mar. Para la consecución de dichos objetivos, esta Ley establece también un régimen de autorizaciones de aplicación a los vertidos, tanto líquidos como sólidos, cualquiera que sea el bien de dominio público marítimo-terrestre en que se realicen. Esta normativa se aplicará a la mayor parte de los Astilleros situados en las costas y en las Rías.

Ley de Aguas, como la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, establecen diferentes medidas para conseguir una mejor calidad de las aguas continentales y marítimas

respectivamente, entre las que cabe destacar el sometimiento a autorización previa de las actividades susceptibles de provocar la contaminación del dominio público hidráulico o del dominio público marítimo-terrestre y, en especial, los vertidos.

Muchas de las disposiciones legales desarrolladas para la protección de las aguas establecen la obligación de llevar a cabo diversos trámites administrativos (licencias, permisos, autorizaciones, etc.) previos a la realización de determinadas actividades relacionadas con el agua. Además, en muchas ocasiones, estas licencias y autorizaciones imponen requisitos adicionales de obligado cumplimiento.

En ese sentido, como se indicó anteriormente, muchas Comunidades Autónomas, en ejercicio de sus competencias de desarrollo legislativo y normas adicionales de protección en materia de medio ambiente, han elaborado normas propias en materia de saneamiento y depuración de aguas residuales, incluyendo algunas previsiones en relación a los vertidos.

Ese es el caso de la Comunidad Autónoma de Galicia, que en la línea de lo establecido en el Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobó en el año 2001 la **Ley 8/2001, de 2 de agosto, de protección de la calidad de las aguas de las rías de Galicia y de ordenación del servicio público de depuración de aguas residuales urbanas.**

Esta Ley establece, en su artículo 4, la prohibición de efectuar vertidos de aguas residuales industriales a las rías de Galicia sin contar con la preceptiva autorización de la Administración Hidráulica de la Comunidad Autónoma de Galicia, previo informe de la Consellería de Pesca, Marisqueo y Acuicultura. Y además, determina que no podrán autorizarse vertidos de aguas residuales cuya carga contaminante supere los límites de emisión indicados en el **Anexo IV de la Ley.**

Recordemos la Comisión adoptó la **Directiva 2002/62/CE**, de 9 de julio de 2002, por la que se adapta al progreso técnico por novena vez el Anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (compuestos órgano-estánicos (TBTs)), con el fin de prohibir, con efecto a partir del 1 de enero de 2003, la comercialización y el uso de los compuestos órgano-estánicos utilizados en sistemas anti-incrustantes en todos los buques, independientemente de su eslora.

Dicha prohibición se establece en dos etapas:

- A partir del 1 de julio de 2003, no se aplicarán compuestos órgano-estánicos que actúen como biocidas en sistemas anti-incrustantes en buques que enarbolan pabellón de un Estado miembro.
- A partir del 1 de enero de 2008 ningún buque que entre en un puerto de un Estado miembro podrá llevar en el casco o en las partes o superficies externas compuestos órgano-estánicos que actúan como biocidas en sistemas anti-incrustantes, o llevarán un revestimiento que forme una barrera contra la lixiviación de estos compuestos presentes en los sistemas anti-incrustantes no autorizados que se encuentren debajo.

Estas disposiciones se aplican a los buques que enarboleden pabellón de un Estado miembro; a los buques que, sin enarbolar pabellón de un Estado miembro, operen bajo la autoridad de un Estado miembro; y a los buques que entren en un puerto de un Estado miembro, pero no estén comprendidos en los puntos anteriores. No se aplica a los buques de guerra, ni a unidades navales auxiliares u otros buques propiedad de un Estado miembro o que presten servicios gubernamentales.

Por otra parte, también se dispone de **legislación específica sobre la gestión de las aguas de lastre en los buques**. La posibilidad de que las descargas de agua de lastre causen daños se reconoció en la resolución 18 de la Conferencia Internacional sobre contaminación del mar, 1973, de la que surgió el Convenio MARPOL.

En la Conferencia Internacional sobre la gestión del agua de lastre de los buques, celebrada en Londres del 9 al 13 de febrero de 2004, se adoptó el Convenio Internacional para el Control y la Gestión de aguas de lastre y los sedimentos de los buques del año 2004, que tiene como objeto evitar la introducción de organismos acuáticos perjudiciales en los ecosistemas marinos/costeros y así prevenir los efectos adversos que origina la propagación de dichos organismos a través del agua de lastre y sedimentos de los buques en el ecosistema receptor.

Respecto a la gestión de los sedimentos de los buques, la regla B-5, establece que todos los buques extraerán y evacuarán los sedimentos de los espacios destinados a transportar agua de lastre de conformidad con las disposiciones del plan de gestión del agua de lastre del buque.

## **5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Cuando se pretende diseñar una EDAR es fundamental conocer las características del agua a tratar, tanto en lo que se refiere al volumen generado y que es necesario tratar, (en nuestro caso el tiempo disponible para su tratamiento) como a las características físico-químicas de efluente (pH, T<sup>a</sup>, DBO<sub>5</sub>, DQO, SS, compuestos o sustancias presentes, etc.)

Para la caracterización del efluente a tratar, además de las oportunas mediciones cuantitativas y cualitativas, es muy importante conocer el proceso en el que se genera el mismo. En el caso de los Astilleros, las aguas residuales se generan mayoritariamente en el proceso de limpieza de cascos de buques en dique seco. Lo normal es que sea un proceso discontinuo, que comienza una vez que el barco entra en el dique, y finaliza cuando sale del mismo.

Como norma general en los trabajos de pintado de un barco en dique seco, se realizan básicamente, las siguientes operaciones secuenciales:

1. Una vez instalado el buque en los soportes (cuna) se cierra del dique con un barco-puerta y se procede al vaciado del dique.
2. Posteriormente si es necesario se realiza un vaciado de los tanques de lastre.
3. Trabajos de hidro-limpieza del casco del buque con pistolas de agua dulce a presión. Dependiendo del tamaño de buque y de los medio disponibles esta fase puede tener una duración aproximada entre 2- 4 días.

4. Simultáneamente a su generación se procede a la eliminación del agua a tratar mediante bombeo.
5. Otra fase importante es el pulido de la chapa a pintar mediante la aplicación de un abrasivo a presión; es el “chorreo con granalla”
6. Imprimación y pintado del barco. En esta fase se suelen realizar otras operaciones de mantenimiento que pudieran ser necesarias.
7. Cuando han concluido todos los trabajos programados, se procede al llenado del dique para permitir la salida del barco, una vez retirado el barco-puerta.

Según nuestros datos, la duración media del proceso de pintado de un barco mediano o grande es de unos 15 días, de los cuales serán necesarios unos 3 días entre varadas para tareas de limpieza y acondicionamiento del dique para recibir un nuevo buque.

En la siguiente tabla se enumeran, de modo genérico y resumido, el tipo de operaciones que tienen lugar durante la estancia de los barcos en dique seco en la mayor parte de los Astilleros de reparaciones y los efluentes que se generan con los posibles contaminantes presentes.

#### Operaciones realizadas en dique seco y efluentes generados

Actividad	Productos generados	Sustancias a considerar
<b>Trabajos de hidro-limpieza</b>	Agua dulce con restos de pintura sólida y sustancias disueltas	DQO, DBO <sub>5</sub> , Sólidos en suspensión, metales pesados, TBTs
<b>Pulido de superficies (chorreado con granalla)</b>	Granalla sucia, restos de pintura sólida, detergentes	Partículas sólidas, metales pesados, compuestos orgánicos
<b>Pintado del barco</b>	Restos de pinturas y disolventes	Compuestos orgánicos, COVs y Metales pesados
<b>Mantenimientos y reparaciones mecánicas</b>	Aceites, hidrocarburos, disolventes, productos de engrase, detergentes etc.	Aceites, grasas, compuestos orgánicos, decapantes, DQO, DBO <sub>5</sub> , metales pesados, ácidos, etc.
<b>Vertidos del barco</b>	Aguas de lastre, aguas de sentina, aguas sanitarias, aguas de refrigeración etc.	Aceites y grasas, hidrocarburos DQO, DBO <sub>5</sub> , sólidos en suspensión etc.

Por lo descrito se comprende que a lo largo de estos 15 días se generan unas aguas residuales con características y componentes muy diversos, en función de la fase en que son recogidas. Es por tanto muy importante conocer bien el origen de cada una de esas corrientes residuales, a fin de poder cuantificarlas, caracterizarlas y adecuar la EDAR a su llegada.

## 6. CALCULO DEL VOLUMEN DE AGUA GENERADO

Como se ha indicado en el apartado anterior, el proceso de limpieza de un barco es un proceso discontinuo, con una duración aproximada para un barco medio-grande de unos 12 días, más los 3 días indicados para tareas de limpieza y acondicionamiento del dique entre varadas.

Los caudales de agua que van a ser tratados son los correspondientes a todos los flujos recogidos en el dique por varada, es decir, durante esos 15 días. Como ya se indicó, el flujo va a ser muy discontinuo en función de la fase.

Durante el periodo completo tendremos que recoger los siguientes tipos de aguas:

- **Agua de lastre del buque:** se genera durante el primer día de varada, y su volumen dependerá de las características del buque.
- **Agua de hidro-limpieza:** se genera durante los dos-cuatro primeros días, y su volumen dependerá del tamaño del buque, del número de boquillas que actúen, del tiempo que actúe cada boquilla.
- **Agua de lluvia que se recoja en el dique:** se puede generar durante toda la varada o no generarse nada, según la climatología. Su problema es la variabilidad por las fechas de los trabajos y la situación geográfica del Astillero. En cualquier caso para el proyecto de depuración habrá que suponer el peor de los casos.

Como hemos indicado, es bastante frecuente a la vez que se pinta el buque realizar trabajos de mantenimiento y reparaciones mecánicas. Por lo que además de las tres corrientes principales indicadas, también debemos tenerse en cuenta los posibles vertidos o derrames accidentales de productos líquidos en el dique, incluso pequeños restos de agua salada que quedan en los fosos cuando se vacía el dique. Todos estos productos son bombeados junto con las aguas de lastre, de las pistolas de hidro-limpieza y de lluvias.

Aunque el volumen de estos efluentes se puede considerar despreciable frente al resto de corrientes generadas, sus niveles de contaminación pueden ser muy altos por lo que habrá que tenerlos muy en cuentas al planificar la depuradora, incluso establecer un sistema de aviso inmediato en el momento que se produzca el derrame o vertido de alguna de estas sustancias.

En consecuencia, habrá que calcular el máximo volumen de agua recogido durante esos 15 días, no siendo su distribución diaria uniforme, y que será la cantidad que la EDAR debe depurar en ese mismo periodo como máximo.

Por tanto, el sistema de tratamiento a implantar debe ser capaz de aceptar y gestionar efluentes de caudal y características muy variables.

## 7. COMPOSICIÓN TIPO DEL AGUA A TRATAR

Ya se ha indicado antes que una de las principales características de las aguas residuales generadas durante el proceso de pintado que se lleva a cabo en dique seco es su variabilidad, no sólo en lo que a caudal se refiere, sino también en cuanto a su composición.

Como se ha descrito en los apartados anteriores, el agua generada el primer día de estancia del barco en el dique seco corresponde a las aguas de lastre más las aguas de las pistolas de hidro-limpieza, mientras que entre el segundo y cuarto día, se generan únicamente aguas de hidro-limpieza. Estas corrientes de aguas residuales pueden estar más o menos diluidas en función de las lluvias caídas en el dique.

Suponiendo que la hidro-limpieza dure cuatro días, posteriormente las aguas pluviales, alguna que se genera en los trabajos de mantenimiento (aguas de reachique) y los posibles vertidos y derrames accidentales son los únicos efluentes generados desde el día que concluyó la hidro-limpieza hasta el final de la varada.

Dada la variabilidad en el origen de los barcos que entran en Astillero, hay que tener presente que dispondremos de muy pocos datos o ninguno sobre la naturaleza y composición de la pintura aplicada a cada barco que nos llega. Podremos hacer suposiciones en función de la antigüedad de la pintura, del país de origen del barco, del tipo de barco, compañía naviera, etc. Lógicamente ello va a provocar también la variación en la composición y/o en la carga del efluente, dificultando así el establecimiento de una composición tipo o estándar del agua generada durante estas operaciones

Pero por suerte, a pesar del gran número de contaminantes que se podrían encontrar en los efluentes generados durante el proceso de hidro-limpieza, se ha comprobado que las características de las aguas, en cuanto a su impacto ambiental, van a estar muy relacionadas con los componentes mayoritarios de las pinturas anti-incrustantes (antifouling) utilizadas para la protección de los cascos de los barcos, anteriormente tributil-estaño (TBT) y el cobre, aunque hoy en día debido a que como vimos, está prohibida su utilización, su concentración en los efluentes generados en dique seco está disminuyendo progresivamente y esperemos que desaparezcan en un futuro próximo.

Según la bibliografía consultada, los resultados analíticos indican que el mayor porcentaje de la contaminación metálica en este tipo de aguas residuales, así como los valores de la DQO, están asociados a materia particulada, siendo la fracción soluble muy baja. Algunos estudios señalan que alrededor del 95% de las partículas de las muestras analizadas eran altamente sedimentables. Sin embargo, el reducido tamaño de las partículas provoca que la sedimentación se produzca muy lentamente, constituyendo una dificultad para su tratamiento en Astillero.

En el mismo sentido, en dichos estudios, se sugiere que en el caso de que aparezcan los derivados del estaño (TBT) es muy probable no esté en forma soluble en un porcentaje demasiado elevado, debido al alto coeficiente de partición octanol-agua de este compuesto, y a la elevada concentración de sólidos en suspensión presente en este tipo de aguas.

## **8. RESULTADOS ANALITICOS**

Durante el año 2008, se llevó a cabo el análisis de varias muestras de agua generadas durante el proceso de hidro-limpieza, con el fin de identificar la composición el agua residual. El efluente generado en este proceso se tomó cuando el proceso de hidro-limpieza estaba en un nivel alto de actividad, por lo que se caracterizó por poseer una

elevada concentración de los esperados anti-incrustante como los metales pesados cobre y cinc, confirmando los resultados observados en la bibliografía. También se observaron trazas de TBT aunque, conforme a la actual situación legislativa respecto a la prohibición de uso de este compuesto, las concentraciones detectadas fueron mucho menores que las reflejadas en la bibliografía.

Una vez de conocidos los resultados de los análisis, será necesario hacer un estudio comparativo entre los parámetros máximos encontrados y las exigencias de la legislación aplicable en la ubicación de ese Astillero, para esos mismos parámetros. Ver qué parámetros están por encima de los niveles exigidos, cuales pueden superarlos en caso de situaciones extremas, o cambios en las características del barco a pintar y cuales tenemos las garantías de que no se superarán nunca.

Los resultados de los análisis realizados en las aguas de dique, y que pueden ser parámetros representativos del tipo de aguas a tratar en los diques se recogen en la siguiente tabla.

Las muestras de agua analizadas se tomaron dentro del dique seco, en diferentes barcos y diferentes situaciones climatológicas, pero siempre en los procesos de hidro-limpieza, presentando un color y turbidez intensos.

#### Caracterización de las aguas residuales del dique seco

Parámetros analíticos	Unidades	Datos de bibliografía			Datos reales		
		Min	Max	Med	Min	Max	Med
pH	--	6,1	8,7	7,23	7,1	7,7	7,4
Conductividad	µS/cm	96	29.800	3.613	5.100	53.000	39.275
Sol suspensión	mg/l	22	693	261	--	510	99
Sol sedimentables	mg/l	0,7	50	11	--	--	1,1
DQO	mg/l	140	740	302	--	--	269
Aceites y grasas	mg/l	9,9	31	20	--	--	36
Arsénico	ppm	0,07	0,3	0,2	0,004	0,008	0,007
Cadmio	ppm	0,002	0,05	0,01	0,0007	0,0025	0,001
Cromo	ppm	0,006	2,7	0,1	n.d	n.d	n.d
Cobre	ppm	0,12	49	1,2	0,730	9,6	3,5
Níquel	ppm	0,01	0,42	0,05	0,01	0,021	0,015
Plomo	ppm	0,03	1,7	0,34	0,006	0,096	0,034
Zinc	ppm	0,22	33	6,6	0,4	2,1	0,95
TBT	ppm	0,06	1,6	0,34	0,0002	0,0019	0,0006
							5

Puede observarse que aunque hay diferencias entre los valores analíticos obtenidos durante los ensayos y los recogidos en la bibliografía, estas son poco significativas, en aquellos valores trascendentales para el tratamiento de las aguas.

En el caso de los TBT la sensible disminución quizás pueda explicarse debido a la prohibición de su uso en los últimos años, por lo que los barcos que llegan a reparaciones cada vez contienen menos de estos productos.

En cuanto al resto, hay que tener presente que la mayor parte de la bibliografía publicada corresponde a estudios realizados en Astilleros de EE.UU y en barcos del propio país, por lo que es muy probable que haya unas diferencias importantes con los que llegan a nuestros Astilleros, tanto en el tipo de pinturas, como en la forma de efectuar las actividades dentro del dique, en los procedimientos de muestreo, en las técnicas analíticas empleadas.tc. Por eso estas podrían ser algunas de las razones por las que encontramos esas diferencias.

## **9. SOLUCION A LOS LODOS GENERADOS**

Por lo general, en todas las estaciones de tratamiento de aguas residuales, sean estas urbanas o industriales, la mayor parte de los contaminantes presentes quedan retenidos en los lodos de depuradora. Al tratarse de aguas residuales industriales, dichos lodos pueden presentar características muy diferentes a los de Depuradoras de aguas Urbanas. Por ello hay que extremar las precauciones de todo tipo y deben ser manejados y gestionados adecuadamente, normalmente fuera de la instalación donde se generan.

Aunque hay una disposición legal sobre el uso de los lodos en agricultura, el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, es de difícil aplicación a los lodos de aguas residuales industriales, y menos a los posibles del Astillero ya que para este destino se imponen unas limitaciones tan estrictas en cuanto a las cantidades de metales pesados (cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo, mercurio, zinc) que sería fácil superarlos en los lodos del Astillero.

Por lo tanto la solución más rápida y eficaz que se nos ocurre, es su depósito en vertedero autorizado, siendo necesaria su caracterización, para determinar nivel de peligrosidad y por ende su posible destino a vertedero de residuos peligrosos o no peligrosos. Otro factor limitante de los lodos será su contenido máximo de humedad para su admisión en vertedero que suele estar en un 70% para lodos inorgánicos, y el 75% para lodos orgánicos, por lo que sería siempre necesaria una desecación antes de su transporte a vertedero.

## **10. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

Una vez analizado el tipo de aguas residuales a tratar, parece lógico que el sistema de depuración deberá disponer de diferentes fases, fundamentalmente basadas en procesos físico-químicos, donde se garantice la eliminación de los contaminantes, siendo los metales pesados y los anti-fooling los elementos limitadores.

En la siguiente tabla y sólo a título de ejemplo ya que como se puede observar, los parámetros de entrada/salida son tan diferentes según las técnicas aplicadas que únicamente pueden orientarnos de la eficacia en la eliminación de uno de los metales pesados en las aguas, según las diferentes técnicas de depuración aplicadas, pero en ningún modo establecer conclusiones selectivas entre técnicas.

**Eficacia de reducción de cobre en función de la tecnología empleada**

Tecnología de tratamiento	Niveles de cobre		
	Entrada mg/l	Efluente tratado mg/l	% reducción
Filtración en medio granular	0,12	0,02	83
Ultra-centrifugación	5,3	0,1	97
Filtración de precapa	3,1	2,5	19
Sedimentación/Filtración	35	0,22	99
Floculación con aluminio y cal	42	0,6	99
Floculación con polímero catiónico	16	0,7	95
Flotación por aire disuelto	1,8	0,3	67
Flotación por aire inducido	6,6	0,15	96

## 11. ALTERNATIVAS POSIBLES

Cualquier tipo de elección que no aporte unos márgenes de seguridad razonables para las tres variables anteriores, entrada/salida/% reducción y para todos los parámetros críticos afectados por la legislación, estaría condenado al fracaso. Con todo ello y según la bibliografía existente y las prácticas de tratamiento en instalaciones similares, podríamos sugerir alguna de las técnicas siguientes o la combinación entre varias de ellas.

- Sedimentación
- Precipitación
- Coagulación – Floculación
- Clarificación (por flotación o por sedimentación)
- Filtración en distintos medios (filtros de arena, de membrana, de carbón activo...)
- Intercambio iónico (alto coste)

Una de los mayores retos para el equipo responsable será elegir las técnicas adecuadas a cada Astillero, pero sin duda tal como están los mercados de reparaciones, las tres variables que deberán determinar la elección del tipo de depuración serán y por este orden

1. **La eficacia**, para alcanzar los niveles de contaminación deseados que nos garanticen el cumplimiento legal.
2. **La velocidad**, ya que se deben tratar unas cantidades considerables de agua residuales industriales en un máximo de 15 días

3. **El coste económico de la depuración**, tanto en instalaciones, materiales (reactivos), como mano de obra y mantenimiento, tratamiento de lodos, etc. ya que esto nos va a determinar el ser competitividad en el mercado.

## 12. CONCLUSIONES

- La depuración de las aguas del dique es una de las mayores preocupaciones ambientales de los Astilleros
- Algunos de los componentes de esta agua residuales son extremadamente peligrosos (metales pesados TBT, disolventes)
- El impacto ambiental, tal como habitualmente se están eliminando en la actualidad es tremendo dado que además algunos medios receptores son extremadamente sensibles (Rías de Galicia)
- Esta situación no puede ser sostenible por mucho tiempo
- Es necesario diseñar y poner en práctica a corto plazo, sistemas de tratamiento de estas aguas, pero que sea específico y apropiado a cada Astillero