

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Técnica Naval**

Estudio de la aplicación de las últimas reglamentaciones sobre polución: sistemas de lastre, carga y vapores de un buque tanque de 275.000 TPM

Sebastián MARTÍN DE LA HOZ



Centro: E. U. I. T. NAVAL
Titulación: I. T. NAVAL
Fecha: Febrero 2008



I.- Memoria descriptiva	5
I.I.- Introducción.....	5
II.- Especies invasoras acuáticas	10
II.I.- Introducción.....	10
II.II.- Definición del problema.....	16
Introducción intencionada o no intencionada.....	17
Vías de entrada.....	18
Capacidad de las especies para convertirse en invasoras.....	19
II.III.- Causas de una bioinvasión.....	20
La mano del ser humano en las invasiones.....	20
Agua de lastre.....	21
Sedimentos en los tanques de agua de lastre.....	24
Incrustaciones en los cascos de los barcos.....	24
Otras causas.....	24
II.IV.- Impactos y consecuencias.....	25
Ejemplos de especies.....	26
Un caso especial, el mejillón cebra.....	45
II.V.- Reacciones y soluciones.....	56
Perspectivas de los Países.....	56
Control de invasores marinos una vez establecidos.....	71
Opinión de nuestros expertos.....	77
Situación internacional.....	80
III.- Tratamiento del agua de lastre	87
III.I.- Introducción.....	87
III.II.- Métodos.....	88
Procesos de Intercambio.....	89
Tratamientos en el Sistema de Lastre.....	90
Aislamiento.....	92
III.III.- Situación actual de los Métodos de Tratamiento.....	93
III.IV.- Intercambio en el mar.....	94
Introducción.....	94

Procesos de Intercambio; Tipos y Definición.....	95
Método Secuencial.....	95
Método de Flujo Continuo.....	108
Posibles soluciones a los diferentes impactos que producen.....	111
Pruebas de intercambio en petroleros.....	116
Cálculos prácticos en maniobras de Intercambio.....	123
Conclusiones.....	126
IV.- Tecnología Ultravioleta.....	128
IV.I.- Introducción.....	128
IV.II.- Definición.....	128
IV.III.- Ventajas-Desventajas del sistema de desinfección UV.....	129
Ventajas.....	130
Desventajas.....	131
IV.IV.- Proceso UV de destrucción de microorganismos.....	132
IV.V.- Tipos de radiación y lámparas.....	136
Lámparas tipo LP y LPHO.....	137
Lámparas tipo MP.....	138
Lámparas tipo P-UV.....	139
IV.VI.- Requisitos, diseño básico para un Sistema UV.....	139
Transmisión de luz UV.....	142
Diseño del Sistema.....	143
IV.VII.- Pretratamiento.....	147
IV.VIII.- Ubicación, material y mantenimiento del sistema.....	149
Mantenimiento sencillo.....	150
IV.IX.- Funcionamiento, monitorización y seguridad del Sistema.....	155
Monitorización y control.....	156
Seguridad en el Sistema.....	156
¿Riesgo de mutación genética?	156
IV.X.- Aplicaciones de la tecnología UV.....	158
IV.XI.- Conclusiones.....	160
V.- Tecnología de Tratamiento de Lastre AOT.....	161
V.I.- Introducción.....	161

V.II.- Aclaraciones previas.....	162
V.III.- Definición de la Tecnología AOT.....	166
V.IV.- Principio de trabajo del Sistema de Tratamiento AOT.....	169
V.V.- Instalación y mantenimiento.....	175
V.VI.- Seguridad y Medio Ambiente.....	176
Aceptabilidad medio-ambiental.....	178
V.VII.- Rentabilidad.....	179
V.VIII.- Pruebas.....	180
VI.- Reglamentaciones y Convenios.....	184
VI.I.- La respuesta internacional.....	184
Convención sobre Diversidad Biológica; Convención Rasar.....	186
Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.....	188
Convención de Aguas de Lastre.....	188
Guías técnicas.....	189
Programas e Iniciativas Internacionales.....	191
VI.II.- La Organización Marítima Internacional (OMI).....	192
Funciones de la OMI.....	192
Funcionamiento de la OMI.....	197
VI.III.- Protección jurídica del medio marino, el Marpol.....	198
Definición y descripción.....	198
Evolución histórica.....	202
Efectos del Marpol 73/78.....	203
Consecuencias en caso de incumplimiento del Marpol.....	204
El Marpol hoy.....	205
VI.IV.- Nuevo Convenio Internacional sobre Lastre.....	206
Reacción de la OMI.....	206
El nuevo Convenio, BWM-2004.....	207
Estructura del Convenio.....	208
Resumen de las prescripciones y principales consecuencias.....	210
Entrada en vigor.....	214
VII.- Aplicación práctica del Sistema AOT a un buque.....	217
VII.I.- E3, origen del proyecto.....	217

VII.II.- Datos principales del E3.....	219
Tipo de buque.....	219
Distribución general.....	220
Calados, PM, estabilidad, asiento y resistencia longitudinal.....	222
Propulsión, velocidad y consumo.....	223
Lastre en Sala de Máquinas.....	223
Servicio de Lastre Segregado.....	224
Equipo.....	225
Clasificación.....	225
VII.III.- Las tres "Es".....	226
El petrolero ecológico.....	226
El petrolero económico.....	227
El petrolero europeo.....	228
VII.IV.- AOT-E3.....	229
Bibliografía.....	238
Tablas y planos.....	242

I.- Memoria descriptiva

I.I.- Introducción

El agua es vida. En nuestro planeta azul, sin respeto a su componente principal, no habrá futuro. Siempre hemos tenido la posibilidad de desmembrar el equilibrio en la naturaleza, y desgraciadamente siempre la hemos terminado aprovechando, en mayor o menor medida. Hasta el momento todo lo que nos rodeaba simplemente lo usábamos de forma indiscriminada, por la falsa sensación de que la riqueza medio-ambiental era tan inmensa e inabarcable que no afectaría en absoluto nuestro uso descuidado de ella.

Nuestros océanos, a nuestro entender, siempre aparentaban indiferencia al maltrato. Hoy se sabe sin embargo que el mar es un perfecto diapasón que nos puede ayudar a encontrar la nota para llegar a la necesaria sostenibilidad en ambas partes. El hombre parece estar aprendiendo de sus errores y empezando a leer las señales del mar, para intentar así controlar el renombrado cambio climático.

Al mar lo hemos castigado de muchas maneras, pero una de nuestras peores habilidades ha sido desordenar torpemente los ecosistemas marinos de cualquier rincón del planeta. La idea de este proyecto nace de la esperanza en llegar a reconducir nuestro concepto de explotación de los recursos que nos rodean. Hace ya casi 100 años, el filósofo alemán Herbert Marcuse escribía algo tan actual como esto:

"La lucha por ampliar el mundo de la belleza, de la no-violencia, de la tranquilidad es una lucha política. La insistencia en restaurar la Tierra como medio ambiente humano, no es sólo una idea romántica, estética y poética, que concierne únicamente a los privilegiados, sino que es hoy una cuestión de supervivencia".

Efectivamente, a partir de la explosión industrial del siglo XIX las relaciones entre el hombre y el medio ambiente se alteran dramáticamente, aunque ya desde el siglo XVIII el planeta había empezado a envejecer de forma acelerada. Como consecuencia del desarrollo industrial y agrícola, en los dos últimos siglos el planeta ha perdido 6 millones Km² de bosque. La carga de sedimentos se ha triplicado en los cursos fluviales, y

octuplicado en las cuencas que soportan una intensa actividad humana. En el mismo período de tiempo, la masa de agua detraída del ciclo hidrológico ha pasado de 100 Km³ anuales a 3600 Km³ por año, y se ha duplicado el contenido de metano y los flujos de nitrógeno y azufre movilizados por la actividad del hombre son equivalentes a los que se movilizan de forma natural. El hombre ha aportado más de 70.000 compuestos sintéticos a la naturaleza, entre ellos, los ddt, clorofluorocarbonos, etc. La degradación del medio ambiente, por tanto, se ha convertido en uno de los fenómenos esenciales de nuestra civilización.

Creíamos que la naturaleza era un bien inagotable, gratuito y eterno, pero nos estamos dando cuenta que empieza a ser un bien raro y cada vez más caro de proteger. Sin embargo, estamos obligados a ser optimistas, admitir que todo esto está cambiando y que el mundo se está concienciando colectivamente para poner freno a tanto desmán.

Por lo tanto este trabajo quiere reforzar esta intención de cambio. Son muchas y contundentes las diversas vertientes causantes de la polución mundial. Sin embargo veremos que el tráfico marítimo internacional no se encuentra en una posición marginal respecto al resto de factores. Y sólo con la asimilación previa del importante papel que juegan concretamente los petroleros actuales en los problemas causados al medio ambiente estaremos más abiertos al extenso abanico de posibles soluciones que se están proponiendo en el mercado.

Tan sólo mirando a nuestro alrededor nos damos cuenta de la importancia que tienen, para la sociedad actual, el petróleo y sus derivados. Obviando la relevancia de su uso como combustible, la capacidad práctica de estos productos así como los competitivos precios que ofrecen frente a productos tradicionales como la madera, el algodón, etc., han provocado un desplazamiento de estos últimos hasta tal punto que cuesta mucho imaginarnos nuestra vida diaria sin los plásticos. Durante la década de los 80 se cuadruplicó el consumo de plástico per capita en España pasando de alrededor de 11 kgs. a cerca de 40, crecimiento que ha seguido aumentando hasta la actualidad. Así, si le diéramos al menos la misma importancia a la necesidad de la seguridad y control de los petroleros con respecto al medio ambiente como le damos al uso del producto que transportan estaríamos en el camino de conseguir el equilibrio deseado para la sostenibilidad de nuestro planeta.

El aumento de la flota petrolera mundial y la tendencia al gigantismo de la década de los 70 no sólo provocaron el incremento del consumo desmesurado de plásticos al que hacíamos referencia sino que evidenciaron la contaminación del medio ambiente marino. Por lo tanto han llegado a ser buques potencialmente peligrosos, no sólo debido a la carga que llevan sino también por las cantidades que transportan. Lamentablemente tenemos una referencia reciente en la que pudimos comprobar que cada vez que se hunde un petrolero cargado se producen grandes catástrofes medioambientales. Sin embargo, no debemos cometer el error de entender estos accidentes tan graves e impactantes como hechos aislados, o caer en la tendencia de las comparaciones sin sentido según el calibre del vertido: “Cada año, los barcos que transportan petróleo sufren 300 accidentes y vierten al mar más de 240.000 toneladas de crudo, esto es, cuatro veces la carga del Prestige” (noticias cuatro).

Por otra parte en funcionamiento operativo los petroleros también contaminan, por lo que se promovieron convenios en el ámbito de la Organización Marítima Internacional (OMI) y otros para tratar de reducir en lo posible la contaminación del medio marino. De esta manera aun siendo varios los campos de riesgo que arrastran los petroleros, terminaré centrándome en uno de ellos.

Son grandes conocidos por ejemplo tanto los derrames de crudo como las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Pero existe otra gran amenaza casi desconocida aun cuyo nivel potencial de destrucción no está por debajo de las anteriores, derivada de la tradicional despreocupación por el tratamiento del sistema de lastre, y que en los petroleros se hace notar especialmente por la gran dependencia de éstos a este servicio del buque, y por la naturaleza de sus rutas. Se trata del impacto tan letal en ocasiones producido por especies invasoras, debido a la introducción y posterior expulsión, en las operaciones normales de lastrado y deslastrado del buque, de una gran diversidad de microorganismos. Un fenómeno que afecta de forma muy negativa tanto medioambientalmente en el ecosistema en cuestión como en el entorno del mismo, del que dependemos directamente.

Toneladas ingentes de lastre son transportadas de un rincón al otro del planeta por buques de rutas transoceánicas, pasando de forma rutinaria de zonas templadas a

tropicales, cruzando el ecuador, y de nuevo a zonas más templadas. Lo que nunca se tuvo en cuenta, por no ser entonces relevante en términos de rentabilidad inmediata, fue que dentro de ese agua de mar que se encargaba de mantener la estabilidad intacta de los buques sin carga, se fue transportando a su vez una impresionante cantidad de formas larvales y agentes patógenos que se han ido encargando de desestabilizar gradualmente innumerables ecosistemas costeros de todo el mundo, con una temible polivalencia de destrucción.

Afortunadamente comprobaremos los pasos que se están dando para cambiar de rumbo, gracias a nuestro cambio de mentalidad en primer término, que ha ido provocando a su vez cambios en las escalas de preferencia de las agendas en las instituciones internacionales de seguridad marítima, que a su vez dejan cada vez más pelotas en los tejados gubernamentales, viéndose forzados éstos finalmente, aunque sólo sea por pura competitividad política respecto a otros países, a involucrarse de forma más contundente en el respeto que el medio ambiente se merece.

Con la situación planteada, expondremos las posibles soluciones que se están ofreciendo actualmente, y dentro de ellas los diversos sistemas desarrollados para combatirla. Paralelamente veremos qué proponen las diversas organizaciones internacionales al respecto, cuáles son las reglamentaciones que afectan al buque en este sentido y qué grado de cumplimiento de las mismas alcanzan los diversos sistemas propuestos.

Y teniendo así el problema localizado con sus posibles soluciones, pasaremos entonces a abordar la aplicación de uno de los sistemas del mercado al buque de proyecto. Definiremos el equipo, reflejando un desarrollo de su funcionamiento y su posterior integración teórica en el sistema de lastre. Para ello presentaremos previamente uno de los grandes grupos de buques, dentro de los intercontinentales, adecuados para este tipo de tecnología, los buques petroleros, describiendo el buque de proyecto, un petrolero ecológico del tipo E3. Entendemos que puede ser el más adecuado para unir el concepto del proyecto en sí a su aplicación práctica. Reflejaremos así las particularidades principales de este tipo de buque, con una descripción general, su especial diseño, dimensiones, etc..., y comprobaremos cómo se comporta el buque con este tipo de sistemas, en qué grado le afecta. Y una vez que en un futuro ya próximo las

organizaciones internacionales junto con las naciones hayan conseguido estandarizar, publicar y ordenar reglamentaciones oficiales, por el momento oficiosas en muchos países, podremos comprobar qué tipo de ventajas confiere en último término esta tecnología no sólo a nosotros mismos, consumidores del final de esta escala, sino a los grandes armadores de la flota internacional, y productores a fin de cuentas del principio de la cadena. Este trabajo está pensado para ellos.

II.- Especies invasoras acuáticas

II.I.- Introducción

Es uno de los problemas medioambientales que en los últimos tiempos está adquiriendo dimensiones extraordinariamente graves. La introducción de especies invasoras foráneas en nuevos ambientes marinos a través del agua de lastre de los buques ha sido identificada por Naciones Unidas como una de las cuatro más importantes amenazas contra la vida en los océanos, junto con:

- la superexplotación de sus recursos,
- la contaminación marina y
- la destrucción del hábitat acuático.

A diferencia del derramamiento de hidrocarburos, la introducción de especies invasoras no puede ser “limpiada” o “absorbida” por los océanos. Podríamos decir que mientras que, en el primer caso, el impacto de un derrame de hidrocarburos desciende con el tiempo, en el segundo, crece exponencialmente con el mismo. Una vez introducidas ciertas especies, éstas son virtualmente imposibles de eliminar, por lo que algunas están provocando descalabros monumentales en nuestros ecosistemas.

Desde hace bastantes décadas, los científicos han ido demostrando que el planeta Tierra no está compuesto por una serie de compartimentos estancos, desconectados entre sí, en los que la evolución sufre un proceso acrisolado. Desde la noche de los tiempos, las especies han transgredido fronteras e invadido territorios ajenos sin que eso haya supuesto un problema especial para el equilibrio de los ecosistemas; éstos últimos se van remodelando constantemente debido a ese fenómeno natural. Es el caso, por ejemplo, del camaleón del sur peninsular, introducido hace unos tres mil años desde el norte de África, perfectamente adaptado en los ecosistemas litorales andaluces, donde no ha desplazado a ninguna otra especie y ha ocupado un nicho ecológico. De hecho, dicha movilidad de fauna y flora forma parte del propio fenómeno histórico-evolutivo terrestre. Desde que el hombre comenzó a colonizar el mundo (extendiendo su hábitat) ha llevado consigo a animales y plantas, algo así como una mudanza para tratar de disfrutar en el

nuevo sitio de las comodidades mínimas de que disponía anteriormente y de mantener su entorno con aquellas cosas que le eran conocidas por un lado e imprescindibles por el otro. Este tipo de movimiento de cosas y de especies, implica también la emigración en algunos casos, de ecosistemas propiamente dichos. Estos movimientos que conllevan interacción eran efectuados en forma voluntaria, pero sin poseer el concepto actual de lo que significa la introducción de nuevas especies en hábitats distintos. Por otro lado se producían migraciones de otras especies en forma involuntaria, que eran llevadas también por el hombre a cuevas de él o de lo que el hombre transportaba consigo (carga, bagaje, provisiones, etc.) por ejemplo, parásitos, semillas, esporas, hongos, micro-ecosistemas adheridos al casco de embarcaciones, etc.

Tanto la introducción voluntaria como involuntaria de especies produce un impacto, en este último caso referido a organismos acuáticos, los cuales pueden colonizar nuevos sitios y convivir en el nuevo hábitat con las especies locales o pueden convertirse en invasoras y disputar e incluso desplazar del nicho a las especies autóctonas alterando los ecosistemas. En España, uno de cada cuatro tipos de peces que pueblan ríos y lagos es foráneo. Muchas plantas y animales han llegado, por causas accidentales o comerciales, a zonas muy alejadas de su hábitat natural. La introducción del conejo en Australia, que se convirtió en una auténtica plaga, es el ejemplo más conocido de especie invasora.

Desde el punto de vista ecológico, la biodiversidad autóctona propia de cada región se ve así sometida de forma continua a crecientes amenazas derivadas de la actividad humana. Entre muchas de ellas la destrucción del hábitat, el cambio climático, y en el caso concreto que tratamos, el abrumador número de especies exóticas introducidas voluntariamente o de forma accidental. El hombre está movilizandando especies de un lugar a otro con una desinhibición e insensatez preocupantes. Al producirse este fenómeno en un espacio de tiempo tan corto y de manera tan reiterativa, el puzzle ecológico se está descomponiendo a gran velocidad. De esta forma la acción humana no deja de provocar un grave trastorno introduciendo constantemente especies animales y vegetales exóticas en todos los ecosistemas. Tanta y tan rápida profusión de intercambios en la biota (que, a su vez, se agrava con otras acciones como la deforestación, la contaminación de suelos y acuíferos, o las transformaciones del uso del territorio) evita el reajuste dinámico de dichos ecosistemas. Entre el sinfín de especies introducidas siempre hay muchas que, al no poder adaptarse, no sobrevivirán, pero otras, en cambio, poseen mayor capacidad

adaptativa y desplazan a las autóctonas, lo cual puede transformar radicalmente las relaciones entre las demás especies e incluso, en casos extremos, desnaturalizarlas. Especies fundamentales en un ecosistema dado van cayendo consecutivamente como las fichas de un imaginario dominó, empobreciendo su diversidad biológica y genética, y por tanto, las posibilidades de recuperación futura. La rapidez del proceso impide que el mismo se equilibre autorregulándose, perdiendo de esa manera su identidad y viéndose transformado, en los casos extremos, en una mera coctelera de especies ecológicamente desconectadas.

La introducción de especies foráneas en un ecosistema acarrea habitualmente graves consecuencias en la estabilidad del mismo. Cuando menos, a medio o largo plazo, el efecto es imprevisible y suelen producirse desenlaces insospechados. En un primer momento, la punta del iceberg del fenómeno, y galardón que comparte con la destrucción del hábitat, suele ser el de situar al borde de la extinción -cuando no se logra ésta completamente-, en un breve período de tiempo, a las especies locales a las cuales sustituyen: aquéllas cuyo nicho ecológico ocupan, con las que entran en competencia, y se benefician de no tener que sufrir los ataques de sus depredadores naturales, ya que no viajaron junto a ellas. Se estima que el 39% de las extinciones conocidas de animales desde 1600 han sido causadas por la introducción de especies. De hecho, las posibilidades de recuperar el estado anterior de un ecosistema autóctono una vez establecidos dichas especies son hoy por hoy, y en la gran mayoría de los casos, ilusorias. Este fenómeno deja habitualmente secuelas irreversibles: véase el ejemplo de la introducción de cangrejos americanos en España y la regresión inmediata del cangrejo local (antiguo paradigma de la materia prima de la gastronomía tradicional española y hoy día un auténtico desconocido), situado actualmente al borde de la extinción; todo ello en una o dos décadas, no más. Veremos como sólo mediante una serie de problemas ecológicos graves, y sus consiguientes daños económicos cuantificados tradicionalmente con mayor celeridad, y producidos en diferentes partes del mundo, ha servido para concienciar a las autoridades para que pongan cada vez mas empeño en limitar y acotar la entrada de especies a través de sus fronteras. Así, los alcances y costos de las invasiones biológicas son enormes, llegando al punto de inflexión para la necesaria reacción, punto donde se equipararon los impactos ecológicos a los económicos, porque a menudo las mismas especies que amenazan la biodiversidad también causan grandes daños a una serie de industrias que dependen de recursos naturales. El “mejillón cebra”,

que veremos más adelante, causa catástrofes tanto económicas como ecológicas. La taxonomía de las especies no autóctonas invasoras es diversa, aunque ciertos grupos han producido un número especialmente elevado de daños. Miles de especies se han extinguido o corren peligro de extinguirse víctimas de estos invasores exóticos, y muchos ecosistemas nativos han desaparecido debido a estas invasiones, y son irrecuperables. Por lo tanto el coste ecológico lo constituye la pérdida definitiva y cada vez mayor tanto de especies como de ecosistemas. Todo esto compromete la integridad ecológica de los sistemas terrestres y acuáticos, impactan en forma directa a la agricultura, silvicultura y pesca, representan una amenaza para la salud pública y una pérdida de los usos culturales tradicionales de los recursos naturales. Estos recursos generados por los ecosistemas son los que han permitido desde siempre a los seres humanos cubrir sus necesidades básicas. Y aunque la mayoría de los que vivimos en grandes ciudades hemos perdido contacto con esta realidad hasta tal punto que la hemos olvidado, las comunidades rurales se enfrentan a ella diariamente. Esta dependencia directa de los recursos que les rodean hace que dichas comunidades sean más vulnerables a los impactos negativos de los cambios ambientales sobre los recursos, incluidos los cambios provocados por la introducción de especies exóticas que posteriormente se convierten en invasoras, dañando no solo estos ecosistemas, sino las economías locales que dependen de ellos. El caso es que ningún país es auto-sostenible. Todos dependemos de los bienes y servicios de otros lugares. Si bien la globalización ha aportado muchos beneficios sociales y económicos a muchos, también ha traído consigo nuevos retos. Las especies invasoras son uno de esos retos.

En el mundo actual, dominado como decimos por la globalización, las distancias se hacen cada vez más cortas y hay una cierta tendencia hacia la homogeneización. Ésta afecta a una gran diversidad de ramas, entre las que destacan las sociales, culturales, comerciales, a sectores primarios, a la industria, la economía, la seguridad, la política o a los flujos migratorios de los seres humanos. Pero también afecta, y no precisamente de modo positivo a la rama biológica, con sus desastrosas consecuencias ambientales, porque son muchas, y cada vez más, las especies que encuentran fuera de sus áreas naturales un medio apropiado para subsistir. Esta extraordinaria capacidad de adaptación es la que las ha convertido en una amenaza que puede favorecer la extinción de las especies autóctonas con las competirán por el alimento o por el territorio. Fenómeno que se ve ayudado de forma desinteresada por el creciente aumento de las actividades

comerciales y turísticas, aunado al énfasis dado al libre comercio, que ofrecen más oportunidades que nunca para que las especies foráneas se dispersen accidental o deliberadamente. Se han abierto brechas en las barreras naturales, como los océanos, las montañas, los ríos y los desiertos que permitían la intrincada evolución paralela de las especies y el desarrollo de ecosistemas únicos. Los aviones, barcos y demás medios modernos de transporte han permitido tanto el deliberado como el inadvertido movimiento de especies de unas partes del mundo a otras, lo que con frecuencia ha acarreado consecuencias inesperadas y a veces desastrosas. Las prácticas aduaneras y de sanidad resultan inadecuadas para salvaguardar la diversidad biológica nativa del impacto generado por las especies exóticas invasoras. Un buen ejemplo es el de las múltiples especies que viajan como polizones en las aguas de lastre que estiban los buques mercantes cuando navegan sin carga.

El lastre ha servido desde tiempos remotos para mejorar la estabilidad de las embarcaciones, ya que, sin el peso de la carga, su centro de gravedad puede quedar por encima de la línea de flotación y hacer que escoren. Los primeros materiales usados como lastre fueron piedras, arena y otros objetos pesados, hasta que en el siglo XIX empezó a utilizarse el propio agua del mar. Una vez descargada la mercancía en el puerto de destino, los barcos que debían regresar de vacío navegaban lastrados con agua. Cálculos actuales estiman en más de 13.000 millones de litros el agua lastre que transporta anualmente la flota mercante en todo el mundo, arrastrando consigo piedras, sedimentos y unas 4.000 especies animales y vegetales. En consecuencia, este trasiego se ha convertido en el mayor vector para la transferencia marina de organismos. Así, aunque la distribución geográfica de las especies siempre ha sido dinámica y la humanidad siempre ha alterado esta distribución para el consumo o uso de las especies, la introducción de especies exóticas tuvo que acelerarse consecuentemente en las últimas décadas por la enorme capacidad de transporte a la que hemos llegado en la actualidad.

Planteada la seriedad del problema podremos comprobar las únicas consecuencias que parecen comprender los gobiernos. Entre varios países veremos el caso de unos de los mayores afectados por este fenómeno, Estados Unidos. Un estudio indica que las especies invasoras ya le están costando a la primera potencia mundial más de 100 mil millones de dólares al año. Sin embargo, los costes para la sociedad alrededor del mundo

se miden no sólo en dinero, sino también en desempleo, bienes y equipos dañados, fallos en el suministro de energía, escasez de comida y agua, degradación ambiental, pérdida de biodiversidad, desastres naturales cada vez más frecuentes y severos, epidemias y hasta pérdida de vidas. A pesar de estas consecuencias internacionales en potencia, la mayoría de los esfuerzos para prevenir y controlar la propagación de especies externas tienen un enfoque nacional, y muy pocas veces van más allá de las fronteras políticas, ridículas para estos invasores. Las leyes y programas nacionales actuales son insuficientes para protegerse de este fenómeno global. Ningún esfuerzo unilateral puede lidiar con la magnitud de este problema. Para que las actividades que buscan prevenir y mitigar el impacto de la invasión de las especies externas sean efectivas y eficientes en costes, es necesario que se basen en la cooperación, métodos complementarios, y regulaciones en donde participen todos los implicados.

El rápido desarrollo de la biología de las invasiones, debe ser al menos paralelo al de las tecnologías de detección de especies invasoras introducidas, de gestión de las que ya se han establecido, y por supuesto a aquellas que potencian la prevención del fenómeno, sobre una de las cuales realizaremos la aplicación práctica del proyecto. Todas pueden proporcionar grandes avances en la lucha contra las especies exóticas invasoras, siempre y cuando el público y las autoridades responsables de formular las políticas de gestión sean conscientes de ellas.

La prevención y el control de especies invasoras presentan en definitiva retos científicos, políticos, y éticos. El proceso de invasión es muchas veces complejo, dando lugar en muchas ocasiones a una considerable incertidumbre científica. Las especies invasoras son en parte un síntoma de todos los cambios que ha sufrido la Tierra y el clima por la acción del hombre, así como de su desmesurada globalización. La implementación de medidas efectivas de prevención y control será a corto plazo inevitablemente costosa, requiriendo de nuevos métodos, de avances significativos en el conocimiento ecológico y de un manejo más inteligente de los recursos naturales que nos quedan, pasos imprescindibles y necesarios para empezar a obtener pequeños resultados positivos que nos beneficien a todos a largo plazo.

II.II.- Definición del problema

Llegan invadiendo poblaciones autóctonas y arrasando la zona con diversos mecanismos, como la depredación, la competencia por el espacio vital o el alimento, descomponiendo el entorno, mediante la hibridación con las especies autóctonas, haciéndoles perder su herencia genética, o contagiando enfermedades que las estirpes locales no están preparadas para combatir. Además, aquellas que se logran aclimatar suelen contar con una ventaja añadida, la que se refiere a la ausencia de enemigos naturales. Con estos antecedentes se suelen presentar las especies invasoras, definidas de múltiples formas, tantas como la cantidad aun por delimitar de las mismas, y tantas como sus formas de actuar. Tan sólo y de momento estamos empezando a saber delimitar las consecuencias de sus actos, y por ellos se podrían definir como:

“Especies exóticas que llegan a un nuevo territorio y se propagan por él a gran velocidad, alterando la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y causando daños tanto ecológicos como socioeconómicos y sanitarios.”

Son una de las mayores amenazas que enfrentan actualmente los ecosistemas y especies nativas de cada entorno porque:

- cambian los hábitats, poniendo en riesgo ecosistemas completos, tanto terrestres como acuáticos,
- dan lugar a desequilibrios ecológicos entre poblaciones silvestres, cambios en la composición de especies y en la estructura trófica,
- desplazan o reemplazan especies nativas que son beneficiosas para un hábitat pudiendo provocar su extinción,
- provocan la pérdida de la biodiversidad,
- reducen la diversidad genética,
- afectan a la salud humana y medioambiental, por ellas mismas o indirectamente, como foco de enfermedades,

- degradan las actividades humanas, tales como la industria pesquera, la agricultura y cultivos forestales (plagas), etc, con el consiguiente desastre económico.

Por supuesto es necesario señalar como hemos apuntado al principio que no todas las especies no autóctonas son dañinas. En muchas áreas, la gran mayoría de las plantas de cultivo han sido introducidas, al igual que muchos de los animales de los que nos alimentamos. Algunas industrias de explotación forestal y algunas piscifactorías están basadas en especies introducidas. Y a menudo las especies introducidas como control biológico de plagas invasoras han permitido grandes ahorros en pesticidas y en cosechas perdidas. No obstante, muchas de las peores plagas fueron introducidas deliberadamente. Las variedades hortícolas y las novedades zoológicas se han convertido en especies invasoras y destructivas, peces introducidos para consumo humano han extirpado muchas especies nativas, e incluso especies que se introdujeron para que sirvieran de agentes de control biológico han dado resultados desastrosos.

Introducción intencionada o no intencionada

La manera en que fueron introducidas las especies acuáticas problemáticas, ya sea intencional o no, tiene influencia sobre su control y las soluciones a los problemas que ocasionan. La introducción intencional de especies acuáticas que se establecen en un hábitat natural puede ocurrir a través de varias formas, tales como: la liberación de acuarios, la importación de comida viva, la liberación de recipientes de carnada, la importación de carnada, la crianza de peces para la pesca deportiva, y el control biológico.

Sin embargo son la acuicultura, el grado de expansión tras la introducción, el drenado de las embarcaciones en los puertos y el tema que nos ocupa, las aguas de lastre, los medios que han sido identificados como significativos en el transporte no intencional de especies invasoras acuáticas.

Vías de entrada

Gran parte de las observaciones y especulaciones relativas a especies invasoras, cómo se introducen y el impacto que causan están registradas de forma anecdótica. Por ejemplo, Lucas Bridges escribe sobre sus experiencias en Tierra de Fuego (Argentina y Chile), donde nació y creció en una familia misionera a finales del siglo XIX y principios del XX. Describe cómo gente caritativa de Inglaterra enviaba con regularidad grandes cargamentos de ropa para que fuera distribuida entre los indios Yahgan de la zona, y cómo la ropa solía estar un poco estropeada. A continuación añade en una nota a pie de página: "Merece la pena señalar que apareció un césped fino, no autóctono del país, y se extendió rápidamente por los asentamientos Yahgan. Mi padre estaba convencido de que la semilla había llegado adherida a las suelas de las zapatillas usadas de tenis." En la misma obra, Lucas describe cómo su padre trajo algunos conejos de las islas Malvinas y los utilizó para colonizar pequeñas islas de la zona con la intención de proporcionar "algo que comer a los hambrientos nativos y a los náufragos que pudieran quedar allí desamparados". No permitían que los conejos se escapasen y llegasen a la isla principal (la Isla Grande de Tierra de Fuego), por miedo a que se convirtieran en una plaga para los granjeros. En estas islas, con un buen suelo arenoso y matorral, los conejos prosperaron. Hoy en día los conejos europeos (junto con el castor norte-americano y el reno ártico) están perfectamente establecidos en Tierra de Fuego y se les atribuye la devastación de la flora local.

Sin embargo existen datos para asegurar que en nuestros días está produciéndose un trasiego de especies a escala mundial, mucho más intenso que en cualquier momento histórico anterior, que los desequilibrios provocados en los ecosistemas son constantes y que sus efectos cada vez son más brutales. En Madagascar, por ejemplo, la gigantesca isla en donde la biodiversidad alcanza las cotas más sorprendentes del planeta, la extensión de la colonización humana, su agricultura y la explotación ganadera y forestal, junto al impacto que produjo la introducción masiva de animales domésticos, han transformado ya más del 85 % de su superficie y están cambiando hasta la climatología de la misteriosa isla. Hoy, su fisonomía ya no es la misma que la de legendarios relatos de... ¡hace menos de veinte o treinta años!. Así, dentro de la intencionalidad o no en las introducciones, las posibles vías de entrada quedarán divididas en cuatro grupos principales:

Las introducciones accidentales son una importante vía de entrada de invertebrados terrestres, de agua dulce y de agua salada. El vector más destacado de las especies biológicas marinas invasoras es el barco, ya sea en su agua de lastre o en el exterior, pegadas al casco.

Especies que se introducen deliberadamente para su uso como cultivo, como ornamento o para la caza. Un gran porcentaje de los vertebrados y plantas ha sido introducido intencionalmente.

Las especies introducidas para conservarlas en cautividad que son tratadas aparte, aunque se podrían incluir en el primer grupo. Muchos vertebrados se han naturalizado después de escapar y vivir en libertad.

Los vectores de la propagación después de la introducción inicial. Se centra en las estructuras humanas y en las alteraciones de los hábitats naturales que facilitan o permiten la propagación de especies dentro de un país o desde un país a sus países vecinos.

Capacidad de las especies para convertirse en invasoras

A lo largo de la historia, los biólogos expertos en invasiones han estudiado las especies intentado identificar los rasgos que indican que, si esa especie es introducida en un nuevo entorno, existe la posibilidad de convertirse en invasora. Éste es el santo grial de la biología de las invasiones, poder predecir qué especies introducidas se convertirán en un problema y cuáles serán siempre inocuas.

Desde los años 50 a los 70, se realizaron esfuerzos basados en listas de rasgos que indicaban la alta probabilidad de que una especie se convirtiera en invasora, y uno de los rasgos cruciales era el número de semillas. No obstante, entre la década de los 80 y la de los 90 se abandonó casi completamente este enfoque porque no daba buenos resultados. Había demasiados falsos positivos y falsos negativos, plantas que deberían haberse convertido en malezas no lo habían hecho, y plantas que deberían haber sido inocuas se habían convertido en grandes invasoras. Por ejemplo, en cada grupo de especies del mismo género con rasgos muy similares, a menudo una de ellas se convierte fácilmente en maleza y las otras no, como es el caso de un tipo de plantas perennes flotantes, los jacintos de agua (*Eichhornia*). Durante la actual oleada de interés en invasiones biológicas, esta idea ha resurgido y ha dado lugar a la realización de nuevos estudios centrados en rasgos de los pinos y de las plantas leñosas. En el caso de

los pinos, el tamaño de la semilla determina casi con total seguridad si la especie se va a convertir en invasora o no. Tomar medidas y realizar grandes esfuerzos teniendo esto en cuenta podría ser contraproducente, y podría llevar a una sensación falsa de seguridad entre las autoridades y los responsables de formular la política relevante. De hecho, es muy difícil predecir con precisión qué especies se convertirán en invasoras. Eso no quiere decir que no sirva de nada estudiar las especies. El mejor indicador de qué especie se convertirá en un problema es si esa especie se ha convertido en invasora en otro sitio o no, especialmente en condiciones (climáticas y geográficas) similares y en ecosistemas relacionados.

La evaluación de riesgos según se aplica a especies individuales demuestra la dificultad que entraña predecir si una especie va a convertirse en invasora a juzgar por sus rasgos. Los métodos son todavía primitivos, están basados en modelos químicos que no tienen en cuenta características de los organismos vivos como la evolución y la dispersión autónoma, y las estimaciones de los riesgos están basadas principalmente en conjeturas de expertos. Es necesario por lo tanto que se investiguen procedimientos de evaluación de riesgo en especies no autóctonas. Lo que hay que recordar sobre la documentación referente a la biología de las invasiones es que, lamentablemente, no hay muchos atajos para predecir qué invasiones van a ser problemáticas. No hay sustituto para la investigación biológica intensiva de especies en sus entornos naturales y en los que han invadido, y de las comunidades objetivo. Otra consecuencia de la dificultad de tal predicción es que las listas negras por sí solas probablemente no son una herramienta adecuada. Hay demasiadas especies que nunca serán incluidas en las listas negras pero que sin embargo se convertirán en invasoras. Por lo tanto, aunque probablemente las listas blancas (especies inocuas) sean una herramienta útil, los requisitos para incluir una especie en una lista blanca deben ser muy estrictos, y es necesario ser conscientes de que aun con requisitos estrictos, se cometerán errores.

II.III.- Causas de una bioinvasión

La mano del ser humano en las invasiones

Las personas son la principal causa del tremendo aumento del número de organismos que se trasladan de un sitio a otro del planeta, sobre todo a través del comercio, los

viajes, el turismo y el transporte. El gran aumento de la importación de especies exóticas por motivos económicos, estéticos o incluso psicológicos suele llevar a un aumento del número de especies que invaden ecosistemas nativos, lo cual tiene resultados desastrosos.

Aunque las especies exóticas invasoras tienen serias implicaciones biológicas, las dimensiones humanas también tienen una importancia primordial a la hora de encontrar soluciones. En primer lugar, el problema tiene importantes dimensiones filosóficas, y requiere que las personas se replanteen ideas fundamentales, como qué es “nativo” y qué es “naturalizado”, es decir, qué es realmente autóctono originariamente y qué hemos hecho que lo fuera por nuestra intervención. En segundo lugar, prácticamente todos los ecosistemas de nuestro planeta tienen un marcado componente antropogénico que no deja de aumentar impulsado por la creciente globalización de la economía. Incluso los ecosistemas más remotos se ven afectados por la intervención directa o indirecta del ser humano, lo que debilita su resistencia a las invasiones. Y en tercer lugar, el ser humano está diseñando los tipos de ecosistema que le convienen, incorporando especies procedentes de otras partes del mundo, y poniendo finalmente en serio peligro el concepto de la Biodiversidad.

Agua de lastre

Definido el principal causante del problema, nuestro objetivo de estudio será una de sus armas más contundentes, los tanques de lastre de los grandes buques transoceánicos, una de las vías de entrada más importantes de las invasiones biológicas marinas.

Jim Carlton, biólogo y experto en especies invasoras (Programa de Estudios Marítimos (EUA)), dice que “uno de los vectores principales por los que una especie invasora es transportada es en el casco o en los tanques de agua de lastre de los barcos. Un solo tanque de lastre llenado con agua de mar para estabilizar un barco sin carga puede contener cientos de especies y millones de organismos”.

A pesar de que es difícil probar que una especie invasora ha sido introducida a través de una vía de entrada concreta, la inspección del agua de lastre ha demostrado la enorme importancia de esta vía. En muestras sacadas de un solo barco se pueden encontrar literalmente cientos de especies vivas. Se ha calculado que por término medio un tanque

suelta unos 240 millones de organismos en el agua circundante en cada viaje. Cuando los barcos descargan estos organismos diversos en aguas similares a las del punto de origen, no cabe duda que las especies se establecerán en ese nuevo entorno. Probablemente la introducción más famosa a través del agua de lastre sea la del mejillón cebrá, en los Grandes Lagos de América del Norte.

Tipo de Buque	Peso Muerto (t)	Lastre Ligero (t)	% del Peso M.	Lastre en mal tiempo (t)
Granelero	250.000	75.000	30	113.000
Granelero	150.000	45.000	30	67.000
Granelero	70.000	25.000	36	40.000
Granelero	35.000	10.000	30	17.000
Petrolero	100.000	40.000	40	45.000
Petrolero	40.000	12.000	30	15.000
Portacontenedores	40.000	12.000	30	15.000
Portacontenedores	15.000	5.000	30	-
B. de carga general	170.000	6.000	35	-
B. de carga general	8.000	3.000	38	-
RO-PAX	3.000	1.000	33	-

Figura 2.1.- Dependencia del lastre según el tipo de buque

El uso de lastre es esencial para la seguridad y eficiencia de las operaciones de navegación, proporcionando equilibrio y estabilidad a buques sin carga. El agua ha sido frecuentemente utilizada con este fin por presentar mayor facilidad y economía en detrimento del lastre sólido, en forma de arena, piedras o metales, muy utilizado en el pasado. Los organismos marinos contenidos en los tanques son transportados con el agua y el sedimento y tienen serias consecuencias ambientales. Las aguas al ser descargadas en los puertos de destino sin ningún control ni análisis, podrían estar contaminándolos. Pueden contener desde plancton, pequeños invertebrados, micro moluscos larvas y huevos en estado latente, así como bacterias y microbios patógenos capaces de provocar enfermedades letales.

La introducción de especies marinas exóticas en diferentes ecosistemas, vía lastre, incrustación en el casco u otros vectores, fue identificada por la Organización Marítima Internacional (OMI) como una de las mayores amenazas a los océanos.

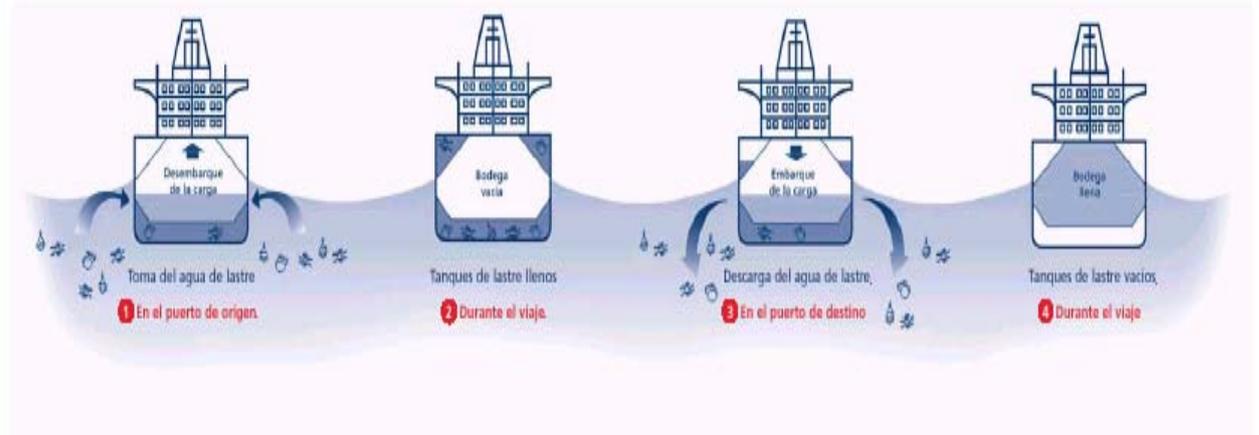


Figura 2.2.- El ciclo del agua de lastre como vector de transmisión de especies invasoras

El aumento del tráfico marítimo junto al uso de grandes buques ha hecho del agua de lastre el mecanismo más eficiente para la dispersión de organismos marinos, sin analogías en el medio terrestre. El transporte de organismos indeseables en los tanques de lastre es causado por la presencia de estados planctónicos en el ciclo de vida de gran parte de organismos marinos, en forma de huevos, quistes o larvas y por la diversidad de bacterias, pequeños invertebrados y otros microorganismos marinos. Anualmente se intercambian de 3 a 5 miles de millones de toneladas de agua de lastre, lo que implica el desplazamiento forzoso de unas 7.000 especies marinas.

Un ejemplo claro podría ser el caso de Brasil. La existencia de especies exóticas ha sido registrada en toda la extensión del estuario de la Laguna de los Patos (Sao Paulo), y puede estar asociada al proceso de deslastre de buques en los puertos cercanos, como el puerto de Río Grande. Ejemplos de esto son los moluscos bivalvos de origen asiático como el mejillón dorado. La especie invasora vino de Asia probablemente en el agua de lastre de algún navío. Apareció en el Río de la Plata, entre Argentina y Uruguay en 1991. Su proliferación fue sorprendente, avanzando hacia el norte por los afluentes del Plata llegó por el río Paraná hasta el también meridional estado brasileño. Entre los motivos de su proliferación están el clima, con una temperatura que le permite reproducirse durante

todo el año, al contrario de China, por ejemplo, y el agua con mucho material orgánico que le sirve de alimento, además de la ausencia de enemigos naturales, otro factor que favorece siempre a las especies invasoras.

Sedimentos en los tanques de agua de lastre

En el fondo de los tanques del agua de lastre se van acumulando sedimentos en los que los organismos adaptados a estas condiciones pueden sobrevivir y ser transportados de un sitio a otro. Aunque el agua de lastre es apropiada sobre todo para especies pelágicas, los sedimentos albergan especies que viven en el suelo, con lo cual aumenta el número de especies que pueden sobrevivir el viaje desde el momento en que entran en el tanque hasta que se suelta el agua de lastre. Esta agua se puede cambiar durante el viaje, pero los sedimentos permanecen en el interior. Por lo tanto, hacen falta métodos más rigurosos para tratar estos sedimentos. Además de usar tratamientos químicos o caloríficos, habría que limpiar los tanques con mayor frecuencia y regularidad.

Incrustaciones en los cascos de los barcos

Los organismos que se incrustan en los cascos de los barcos llevan causando pérdidas económicas desde que los primeros barcos surcaron los mares. Los mayores riesgos de introducción de especies invasoras corresponden a los barcos y la maquinaria que permanecen en los puertos durante un tiempo y luego son llevados a un nuevo destino. Ha habido varios casos de barcos que han sido trasladados de un puerto a otro y al llegar a su destino se han descubierto varios cientos de especies que vivían adheridas al casco.Cuál de las tres últimas vías de entrada mencionadas es más importante en lo que se refiere a la introducción de organismos marinos es discutible, y tampoco se puede saber con certeza cuál es el vector de la mayor parte de las invasiones biológicas marinas. Pero en cualquier caso, está bastante claro que el movimiento de los barcos es la vía de entrada más importante de organismos marinos de un país a otro y de un mar a otro. Los gastos asociados con los procedimientos de limpieza de los cascos de los barcos parecen ser por tanto indispensables.

Otras causas

Causas que se añadirían a las anteriores en menor medida, o mejor dicho menos medidas incluirían la acuicultura, el negocio de los acuarios, programas de aumento de pesquerías, el uso de carnada viva y otros. Es también evidente pero necesario mencionar de entre estas otras causas la relacionada con la gestión propia de soluciones a los problemas que alberga cada país. Vemos por ejemplo como las autoridades de Sudáfrica no tienen ningún tipo de programa para erradicar las especies invasoras actuales ni las futuras. La realidad de un país donde un 20% de la población tiene SIDA, un 40% está desempleada y un 50% no tiene acceso a electricidad la invasión de especies exóticas no es considerada como un hecho prioritario.

II.IV.- Impactos y consecuencias

Cada año, una media de 20 nuevos invertebrados exóticos se establece en las islas Hawai. Eso quiere decir que cada 18 días una nueva especie coloniza las islas, lo cual difiere considerablemente del ritmo natural estimado, es decir, una colonización cada 25-100.000 años. Por otra parte, en un año normal, la mitad de los invertebrados recién establecidos pertenecen a taxones de los que se sabe que pueden convertirse en plagas. Para comprender y asimilar de forma clara el grave error generalizado que hemos cometido hasta ahora, y seguimos cometiendo, empeñándonos en infravalorar la importancia del control en los repentinos éxodos de estos más o menos pequeños y por tanto aparentemente inofensivos polizontes, es necesario exponer al menos una pequeña muestra de casos reales. Veremos en este apartado los contundentes impactos de diversa tipología que provocan sin ningún esfuerzo especies con orígenes y destinos totalmente diferentes, pero que comparten unas reglas básicas a la vez que inmutables, la apabullante facilidad de la adaptación al medio, la desbordante y prolífica capacidad de multiplicarse y su voraz instinto para arrasarse ocupando el ecosistema receptor. Comprobaremos hasta el extremo que son capaces de llegar, mediante las consecuencias provocadas por una de las especies invasoras acuáticas más peligrosas del mundo en la primera super-potencia mundial, Estados Unidos.

Sin embargo en principio la cuestión fundamental no pasa por acotarlas según el grado de peligrosidad, ni clasificar las zonas del mundo más afectadas, ya que sea cual sea la especie invasora, y llegue a la costa que llegue, los impactos se harán notar. Y sobre

todo, el problema no dejará de aumentar mientras sigamos pensando a un ridículo nivel nacional mientras ellas desde el principio actuaron y actuarán a un excelso nivel global.

Ejemplos de especies

A continuación expondremos la citada selección de especies invasoras, elegida así, de forma aleatoria, y consecuentemente los distintos países afectados. Veremos las procedencias, las características, y el cómo y dónde de sus invasiones a ecosistemas marinos y/o costeros:

Algas

El alga marina *Caulerpa taxifolia* (nombre científico) o alga asesina (nombre común), originaria del Océano Pacífico y cultivada en Europa por los usuarios de acuarios, escapó de un acuario en Mónaco en los años 80. El área de distribución natural de la especie abarca las costas del Caribe, del Golfo de Guinea, el Mar Rojo, la costa este de África, Maldivas, Seychelles, la costa norte del océano Índico, el sur del mar de China, Japón, las islas Hawai, Fiji, Nueva Caledonia y las aguas tropicales y subtropicales de Australia. La especie prefiere aguas cálidas y se adapta con facilidad creciendo sobre todo tipo de sustrato (arenoso, rocoso y fangoso) tolerando también condiciones de fuerte hidrodinamismo y pudiéndose desarrollar sobre fondos caracterizados por cierta inestabilidad. La distribución vertical de la especie va desde 1 a 40 metros de profundidad revelando una gran capacidad de adaptarse a distintas condiciones de luminosidad. Estudios llevados a cabo han evidenciado una gran plasticidad del alga que se ha revelado capaz de adaptar su morfología y fisiología a las distintas condiciones físico-químicas del mar Mediterráneo. En estas aguas el alga presenta una velocidad de crecimiento y una tolerancia a la temperatura muy diferentes en comparación con aquellas mostradas en su área de distribución natural presentando además un tamaño mucho mayor (gigantismo). Su forma de dispersión es por fragmentación, una modalidad que le permite colonizar rápidamente nuevas zonas.

Para comprender el suceso de la caulerpa como invasora hay que tener en cuenta, además de su gran plasticidad y capacidad de crecimiento, la ausencia en el Mar Mediterráneo de especies vegetales antagonistas y de organismos que se alimenten de

ella. De hecho esta especie produce unas sustancias tóxicas que la vuelven poco apetecible para sus potenciales depredadores (por ejemplo los erizos de mar).



Figura 2.3.- *Caulerpa taxifolia*

Todo empezó en 1970, a raíz de ciertos experimentos llevados a cabo en Stuttgart para dotar de mayor resistencia y tamaño a la especie tropical originaria, con el propósito de obtener una variación genética que pudiera utilizarse para decorar acuarios. En 1984 el Museo Oceanográfico de Mónaco, que ya contaba en sus acuarios con la nueva variedad genética, introdujo por error el alga asesina en las costas francesas del Mediterráneo en un accidentado proceso de limpieza. Desde ahí, registrándose su mayor expansión a partir de 1991, se ha expandido rápidamente colonizando además de las zonas cercanas al punto de introducción otras áreas del Mediterráneo. La caulerpa llegó poco después a los fondos marinos y en 1992 alcanzó nuestro país introducida en las aguas de lastre de los buques. A finales del año 2000 los países del área mediterránea afectados por la invasión del alga eran el Principado de Mónaco, Francia, España, Italia, Croacia y Túnez. La caulerpa también ha sido detectada en el año 2000 en San Diego (Estados Unidos) y en 2002 en las proximidades de Sydney (Australia) aunque, en este último lugar su estatus de invasora no esté del todo claro pudiendo tratarse de una especie nativa. La primera cita documentada en España de la caulerpa se remonta a 1992 en Cala d'Or (Mallorca) infestando un área de 20 hectáreas. Sucesivamente en 1995, otras áreas de la

costa mallorquina (Cala Llonga y Porto Petro) resultaron invadidas por la especie. En 2001 se contabilizaban 63 hectáreas colonizadas, no habiendo constancia de su presencia en otras áreas de la costa mediterránea española. En los últimos años se ha comprobado una importante regresión de la especie, por causas naturales, en todos los LICs (Lugares de Interés Comunitario) de las Islas Baleares.

Con la excepción de las zonas donde la distribución del alga es continua (por ejemplo en el litoral mediterráneo francés) donde se supone una dispersión de la especie por medio de fragmentos arrancados y transportados por las corrientes marinas, un análisis de la distribución de los focos de invasión de caulerpa revela que la mayoría de ellos se encuentran en las proximidades de puertos o zonas costeras frecuentadas por la navegación recreativa y utilizadas para anclar los barcos (bahías, calas, etc.). Esto hace suponer que entre sus posibles medios de dispersión, los barcos y sus aparejos (anclas, redes, etc.) jueguen un rol fundamental a la hora de fragmentar y transportar la especie hacia otras zonas. Otras posibles vías de entrada para la especie son las aguas de lastre y el comercio del alga para uso ornamental en acuariofilia. Por su gran capacidad de colonizar cualquier tipo de substrato produce una homogenización del hábitat y reduce la complejidad estructural del medio y de las comunidades animales y vegetales asociadas. Áreas con elevado grado de infestación han mostrado un drástico empobrecimiento de las comunidades nativas. Las ramas de caulerpa capturan la luz y los rizoides atrapan y alteran químicamente el sedimento. La mayor parte de las algas autóctonas tienden a desaparecer.

Uno de los efectos más nefastos de la invasión de esta alga es la colonización de las praderas de Posidonia oceánica, una planta marina endémica que forma praderas a una profundidad de 30-40 metros. Estas praderas son uno de los más importantes productores primarios del ecosistema mediterráneo conformando el hábitat idóneo para organismos epífitos, abasteciendo alimentación y refugio a una amplia variedad de vertebrados e invertebrados y siendo zona de reproducción para un elevado número de especie. Aunque la Posidonia produzca compuestos fenólicos que alejan posibles competidores y depredadores, éstos no parecen tener efecto disuasorio sobre el alga invasora. El dominio de la caulerpa sobre la planta nativa modifica y homogeniza las praderas de tal forma que muchas de las especies animales y vegetales la abandonan con la consiguiente pérdida de diversidad biológica. Varias observaciones han puesto en

evidencia la existencia de una menor riqueza y densidad de invertebrados (moluscos, anfípodos y poliquetos) y vertebrados (peces) en las zonas invadidas por la caulerpa en comparación con las praderas de la posidonia. La caulerpa parece además afectar a la presión de los depredadores sobre sus presas. El color para los peces tiene una importante función de defensa contra los depredadores. El color verde brillante del alga invasora hace que las especies que fundamentan su defensa en el camuflaje puedan verse afectadas por una mayor tasa de depredación.

La caulerpa es originaria de zonas donde el herbivorismo ejerce una fuerte presión selectiva y ha desarrollado sustancias tóxicas y antiincrustantes. El clon de acuario, protagonista de la invasión del Mediterráneo, muestra una toxicidad más elevada que la forma original siendo ésta 80 veces más elevada que en la caulerpa racemosa, otra invasora de nuestro mar. La producción de esta toxina tiene picos estacionales alcanzando su máximo en verano y otoño. Es muy probable que los cambios cualitativos y cuantitativos descritos en las comunidades de peces sean también consecuencia de la posible transferencia de toxina en la red trófica. Sin embargo esto presenta un riesgo toxicológico no sólo para los peces sino también para los humanos. Investigaciones llevadas a cabo indican que algunas especies de moluscos que se alimentan del alga invasora han mostrado niveles de toxicidad positivos, volviéndose a su vez tóxicos para sus depredadores. Por otro lado ya se han señalado casos de intoxicación en humanos por el consumo de salema (*Sarpa salpa*) contaminado por la toxina. Esto provoca un impacto económico de cierta magnitud afectando al sector pesquero y al turístico ya que el buceo recreativo y deportivo pueden sufrir un descenso, pues la *Caulerpa taxifolia* hace menos atractivos los fondos marinos (aspecto uniforme y monótono) y empeora la calidad del agua incrementando su turbidez.

Como ya hemos citado, otra especie invasora recién llegada al Mediterráneo es la *Caulerpa racemosa*, un alga del mismo género que la *taxifolia*. Su estructura es parecida a la anterior, difiriendo de esta por el aspecto de las ramas. La especie se introdujo a través del Canal de Suez en los años 30 pero su distribución quedó limitada a la parte mediterránea oriental. Este tipo de caulerpa presenta una gran variedad genética, de hecho la que se comporta como invasora parece provenir de Australia, introducida accidentalmente con aguas de lastre. Actualmente se han localizado colonias en Albania, Croacia, Francia, Grecia, Italia, Libia, Malta, España, Turquía, Túnez, en las islas

Baleares, Córcega, Creta, Chipre, Cerdeña y Sicilia. La invasión del Mediterráneo occidental por parte de esta caulerpa comenzó en 1991. En España la especie fue detectada en Baleares a finales de los años 90 donde se ha asentado en Ibiza, Mallorca y Cabrera. Más recientemente se ha detectado su presencia en la costa levantina (Alicante y Castellón). El tipo de impacto es parecido al de la taxifolia, aunque de mayor magnitud debido a una velocidad de crecimiento mucho más elevada. Su tendencia es expansiva.

Otro caso de alga invasora sería el de la *Odontella sinensis*, un alga asiática del plancton que se reproduce con extrema facilidad. Invadió el mar del Norte en 1903. En la actualidad constituye un serio problema ambiental, ya que a su rápido crecimiento hay que sumar una gran capacidad para reproducirse y su resistencia a medios muy diversos. Todas estas características le permiten desarrollarse con velocidad y sustituir a otras especies autóctonas, al tiempo que provoca la desaparición de otras muchas debido a las toxinas que produce, inocuas para el ser humano pero letales para multitud de organismos acuáticos.

La *Undaria pinatifida*, también ha sido motivo de invasiones importantes. Conocida popularmente como alga Wakame, es anual y tiene un ritmo de crecimiento desmesurado, que le lleva a alcanzar tamaños entre uno y tres metros. Además es muy prolífica, pues el número de esporas que libera puede llegar incluso a los cien millones. Originaria de Japón, donde se cultiva para uso gastronómico (ensaladas, sopas, guarniciones de pollo y pescado, condimento para arroces y vegetales...en el mundo se consumen anualmente 20.000 toneladas de Wakame), fue introducida de forma accidental en las costas francesas en el año 1971. Desde entonces se han producido varias invasiones, como la de Argentina en 1992, donde llegó a través de las aguas de lastre de los buques procedentes de Corea. Puede haber sido introducida pegada en el casco de algún barco, que luego estuviera anclado mucho tiempo. Compete con especies algales autóctonas. El impacto sobre la fauna está en evaluación. Produce alteración del fondo marino, generando bosques monoespecíficos. El crecimiento descontrolado de la *Undaria* podría provocar el éxodo de especies como el salmón, que es un recurso importante para los pescadores artesanales. Impacta directamente sobre actividades turísticas y recreativas, al alterar los sitios utilizados para buceo y las playas.

Dinoflagelados

Entre los polizontes problemáticos que pueden introducirse con las aguas de lastre figuran también los dinoflagelados, un extenso grupo de protistas (fundamentalmente planctónicos), que pueden vivir tanto en aguas dulces como saladas. También producen potentes toxinas que, en algún caso, sí llegan a afectar a la salud humana.



Figura 2.4.- *Ceratium hirundinella*

Estos organismos son los responsables de las mareas rojas, un fenómeno conocido desde tiempos remotos y que podría explicar el célebre relato bíblico que describe cómo las aguas del Nilo se teñían de sangre. Además, las toxinas de los dinoflagelados se acumulan en peces y moluscos, con el consabido efecto sobre toda la cadena trófica. Por otro lado, una plaga de dinoflagelados puede provocar asimismo una disminución del oxígeno en el agua. Las plagas más peligrosas son las causadas por los géneros *Gymnodinium* y *Alexandrium*, que han afectado a las costas de Noruega y el Reino

Unido. Una de estas especies, la *Alexandrium minutum*, fue observada por primera vez en la costa occidental de Suecia y desde allí se extendió al mar del Norte, luego a la costa oriental de Estados Unidos y por fin a Australia y a Nueva Zelanda.

Otro dinoflagelado a tener en cuenta es la especie *Pfiesteria piscicida*, descubierta en 1988 por científicos de Carolina del Norte. Existen veinticuatro formas distintas de este microorganismo, algunas de las cuales producen una serie de toxinas inocuas para el ser humano, pero asociadas a lesiones y a mortandades de una gran cantidad de peces, como la que tuvo lugar en Carolina del Norte y en la bahía de Chesapeake tras haber sido introducida en las aguas de lastre.

Moluscos

La *Corbicula fluminea* (nombre científico), o Almeja asiática (nombre común) es un bivalvo de tamaño medio, que puede llegar a medir hasta cinco centímetros. Su forma es ovalada y presenta en las valvas unas estrías que suelen ser de color marrón. Es una especie nativa de Asia, y ocupa todo tipo de aguas, aunque las prefiere claras y bien oxigenadas. Vive un máximo de 7 años dependiendo del hábitat en el que se encuentre y se localiza en lagos y cursos de agua de todos los tamaños, con fango, arena o grava. Tolerancia el agua salobre por cortos periodos de tiempo y temperaturas entre los 2-30°C. Vive tanto en sustratos finos, como gruesos, arcillosos, etc. Se la encuentra de forma normal en el agua corriente porque requiere altos niveles de oxígeno disuelto. No tolera bien la contaminación del agua. Es capaz de autofertilizarse. Las larvas se desarrollan en las branquias de los adultos y son liberadas a través de su sifón a la columna de agua. Un solo individuo puede llegar a liberar cientos e incluso miles de juveniles al día, llegando a superar los 70.000 al año. Las almejas asiáticas pueden crear densidades de hasta 20.000 individuos/m².

Su introducción puede ser accidental, con el agua utilizada por embarcaciones transoceánicas, en aguas de lastre como en el caso de Argentina, por fouling (pegada a los cascos de los barcos), o con fines gastronómicos por tripulaciones asiáticas. Se usa como carnada en pesca deportiva (cebo vivo), como alimento en acuariofilia (suplemento de proteína y calcio para cría de animales), fertilizantes de suelos y como bioindicador de contaminación. En España está presente en el bajo Miño, donde se la considera

invasora. También está presente en el Guadiana, en las desembocaduras de los afluentes Lácara y Lacarón desde mediados del 2005. El impacto que produce la curbicula surge al competir por el espacio y los recursos alimenticios con especies nativas.

Por otro lado obstruye la entrada de tuberías, afectando a las centrales hidráulicas y otras industrias que utilizan el agua como recurso. Causa estos problemas porque los juveniles son malos nadadores y consecuentemente allá donde se introducen se fijan, crecen, se reproducen y mueren, taponando los accesos a las instalaciones con individuos vivos y conchas de ejemplares muertos. Altera la dinámica trófica de ecosistemas acuáticos así como la cadena trófica, desplazando a los bivalvos autóctonos.



Figura 2.5.- Corbicula Fluminea

El impacto económico se deriva de la obstrucción mecánica de los sistemas de riego por goteo o aspersión, por la putrefacción del agua en actividades que utilizan agua para

potabilizarla, riego y refrigeración. Puede alcanzar densidades de miles de individuos por metro cuadrado causando importantes daños a infraestructuras y centrales hidroeléctricas. En 1980 el coste para controlar esta especie se estimó en Estados Unidos en un billón de dólares al año.

A finales de marzo de 1999 se descubrió una infestación de mejillones exóticos de la especie *Mytilopsis* (también conocidos como *Congerina sallei*) en los puertos deportivos de Darwin, Australia. Este pequeño bivalvo suele incrustarse en los cascos de los barcos y en otras superficies sólidas, con lo que interfiere en el flujo del agua. Es nativo de las zonas tropicales y subtropicales del oeste del océano Atlántico y se extiende desde el golfo de México a Colombia. Esta especie ha sido clasificada como plaga importante como resultado de los posibles daños económicos y medioambientales que puede causar. Se cree que ha invadido Las Islas Fiji (antes de 1900), la India (hacia 1967), donde ha costado muchos millones de dólares a su armada, Japón, Taiwán (años 70) y Hong Kong (principios de los 80). La especie *Mytilopsis* puede asentarse en prácticamente cualquier superficie excluyendo cualquier otro tipo de vida. A las cuatro semanas de vida, su descendencia equivale aproximadamente a 100 kg de material incrustado en los cascos de los barcos, en cadenas, cuerdas, redes, boyas, pilotes, pontones flotantes, en las entradas y salidas de las tuberías y en cualquier otra superficie en contacto con el agua. También se acumulan en las salidas de los sumideros de agua de lluvia y en las entradas de los sistemas de agua de mar de las fábricas y las instalaciones de maricultura. En sus hábitats preferidos, los estuarios poco profundos cercanos a la orilla, las poblaciones introducidas de estos mejillones son capaces de formar alfombras de 10-15 cm de espesor.

Encontramos también entre los bivalvos el poder invasor de la *Limnoperna fortunei* o mejillón dorado, molusco de agua dulce originario del sudeste asiático común en los ríos de China y Honk Kong, y el de la especie *Corbicula largillierti*, también procedente de Asia, introducidos ambas en Argentina mediante agua de lastre de algún navío. Impactan de forma demoledora en industrias que toman agua del Río Paraná como refrigerante, en plantas potabilizadoras de agua, y producen incrustaciones en las tuberías disminuyendo el diámetro y por lo tanto la velocidad del flujo de agua, con la consiguiente pérdida de eficiencia del sistema.



Figura 2.6.- *Limnoperna fortunei*

Brasil y sus socios del Mercosur decidieron adoptar un plan conjunto de control del agua de lastre, después que el mejillón dorado invadió sus ríos y represas por esta vía. Este molusco representa un desafío de graves consecuencias y difícil de combatir porque es de agua dulce, una novedad en esta parte del mundo. Apareció en el Río de la Plata, entre Argentina y Uruguay en 1991. Su proliferación fue sorprendente, avanzando hacia el norte por los afluentes del Plata, llegando por el río Paraná hasta el también meridional estado brasileño de Sao Paulo. Su avance fue de 240 Km al año contra corriente, revelando una amenazadora capacidad de reproducción. Su principal víctima hasta ahora fue el gran complejo hidroeléctrico de Yacyretá, en la frontera de Argentina con Paraguay, exigiendo por los motivos ya mencionados reparaciones y trabajo de remodelación, con el consecuente aumento de costes. Desde 2000, la captación de agua para abastecer a los 1,5 millones de habitantes de esa capital enfrenta estos graves problemas adicionales, por los mejillones incrustados en las tuberías.

Crustáceos

El *Eriocheir sinensis* (nombre científico), o cangrejo chino de mitones (nombre común) es un caso llamativo de crustáceo invasor, procedente de los ríos costeros y estuarios de Corea y China a lo largo del Mar Amarillo. En Asia, es considerado un manjar y son importados vivos a los mercados de diversas partes del mundo. Recibe su nombre por los densos parches de pelos que presentan las pinzas tanto de los juveniles como de los

adultos. Los juveniles y los adultos son omnívoros y oportunistas, aunque los juveniles prefieren alimentarse de vegetación. Consumen una amplia variedad de material animal y vegetal, incluyendo algas, macrófitos, invertebrados, detritos, etc. La depredación sobre pequeños invertebrados aumenta con el tamaño. Es una especie catadroma, es decir, que habita en ecosistemas de agua dulce o salada dependiendo de su edad. Una sola hembra puede poner desde 250.000 a 1 millón de huevos. Tras el periodo de incubación aparecen las larvas, las cuales tienen una forma de vida planctónica durante 1 o 2 meses, tiempo de sobra para trasladarse alrededor del mundo sin apenas percatarse en cualquier tanque de lastre sin tratar.

El cangrejo chino fue accidentalmente introducido llegando a establecerse en el norte de Europa, donde rápidamente la población explotó y expandió su área de distribución. Probablemente fue introducido en Alemania a principios de 1900, coincidiendo con el periodo de incremento del tráfico marítimo entre Europa y el este asiático, siendo la primera cita de 1912. Durante finales de 1920 y principios de 1930, el cangrejo chino invadió muchos ríos y estuarios extendiéndose hacia otros países como Dinamarca, Suecia, Finlandia, Polonia, República Checa, Holanda, Bélgica, Francia, Reino Unido, etc. Su introducción se debió posiblemente a una liberación intencionada para establecer una pesquería aunque también se baraja la posibilidad de que fuese introducido accidentalmente por medio de las aguas de lastre de alguna embarcación procedente de Asia. Hoy se sabe que el cangrejo chino puede expandir su área de distribución a través de varias vías, pero principalmente por medio de:

- Aguas de lastre. Su transporte y liberación posterior en nuevas aguas es muy común. Este es el método más probable de introducción en Alemania y Reino Unido. Por este medio se puede introducir cualquier tipo de estado de vida del cangrejo.
- Las corrientes de los océanos. Esta especie puede haberse distribuido por este mecanismo a lo largo de las costas del norte de Europa.
- Actividades humanas. La expansión del cangrejo chino ha sido también facilitada de esta forma, por ejemplo como decíamos anteriormente, mediante la liberación intencionada para establecer pesquerías locales.

- También es posible que el fouling haya contribuido a su introducción.

Una vez establecidos en nuevas regiones (en cualquier estado de su ciclo de vida) se expanden con rapidez cubriendo grandes distancias durante el periodo de migración.



Figura 2.7.- *Eriocheir sinensis*

Los cangrejos chinos producen fuertes impactos negativos en diversos frentes:

Impacto ecológico. La actividad excavadora acelera la erosión de las riberas y diques provocando el desplome de las orillas y acelerando los procesos erosivos. Las madrigueras y los túneles pueden llegar a superar el medio metro de profundidad. Sus hábitos de alimentación contribuyen a reducir la vegetación en zonas de agricultura y hábitats naturales. Aunque los juveniles suelen consumir vegetación, también depredan

sobre animales a medida que crecen, sobre todo invertebrados. Grandes poblaciones tienen el potencial de reducir las comunidades de invertebrados nativos alterando la estructura de comunidades de invertebrados bentónicos de agua dulce y salobre. Provocan cambios en la estructura de la cadena trófica y afectan a la abundancia y grado de crecimiento de varias especies por competencia y depredación.

El impacto de la depredación, competencia, alteración del hábitat y alteración de la cadena trófica en las poblaciones puede llevar a una disminución en la biocenosis nativa y en la biodiversidad, así como cambios en la estructura de las comunidades.

Impacto económico. El mayor problema es que se concentran en las redes y trampas, consumiendo los cebos y depredando sobre los peces que caen en las redes de pesca con el consiguiente perjuicio para la industria pesquera. El caparazón espinoso y las patas de los cangrejos dañan las redes de pesca. Los cangrejos pueden también enredarse en ellas, incrementando el tiempo necesario para faenar con las redes. El uso recreativo e industrial del agua puede verse limitado por la interferencia de los cangrejos bloqueando y atascando los sistemas. Las plantas de gas natural pueden tener problemas por el bloqueo de la entrada de agua por los cangrejos. Los cangrejos entran en los sistemas de refrigeración durante sus migraciones río abajo bloqueando las tuberías y reduciendo el flujo del agua. Un problema similar sucede en las instalaciones de acuicultura y en las zonas de uso recreativo del agua. Dañan los cultivos de arroz al comerse los brotes de la planta. La pesca recreativa y comercial está sujeta a interferencias y reducciones en la eficacia y oportunidad debido al atasco de redes, trampas, robo de los cebos, daños en los equipamientos...

Impactos en la salud. La salud pública y de la vida silvestre presenta un mayor riesgo por la bioacumulación potencial y el aumento de contaminantes, transferencia de enfermedades o expansión de parásitos. Estos riesgos son intensificados por el consumo directo de este cangrejo o indirectamente por la asociación con animales que lo consumen. Los cangrejos chinos son el hospedador secundario del trematodo oriental del pulmón *Paragonimus westermani*, cuyo hospedador final son los mamíferos, incluyendo a los humanos. Los humanos pueden ser infestados por comer crudos o mal cocinados los cangrejos, o por la transferencia del trematodo por utensilios contaminados. Los síntomas son parecidos a los de la tuberculosis. Además el cangrejo chino acumula muchos

contaminantes. Por ejemplo, existe una extensa población de cangrejos en Guadalupe con altas concentraciones de mercurio.

Una de las evidencias claras por las que no debería existir margen a la relajación en el tema que tratamos es el alto grado de actualidad que alcanza el problema. Respecto al cangrejo chino, por ejemplo, una noticia de Europa Press con fecha del 25 de Febrero de 2007 nos dice: "Capturados en Sevilla más de 500 cangrejos chinos, una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo". La noticia aparte de hablarnos de las características y formas de actuar del mencionado crustáceo que ya conocemos leemos, en este caso una vez más, que ha llegado a través del agua de lastre que sueltan los barcos en el Puerto de Sevilla, y nos vuelve a hacer ver en síntesis la "grave amenaza" para las especies autóctonas y los ecosistemas que supone este invasor, desgraciadamente uno de los más peligrosos del mundo. Veremos cuáles han sido las reacciones ante esta reciente invasión.

Aunque desgraciadamente ya hemos tenido este tipo de visitas a nuestro país desde mucho antes. El cangrejo rojo americano, una de las mayores plagas de nuestros ríos. Se introdujo en 1974 para repoblar los ríos y poco a poco ha provocado la extinción de la especie autóctona. Se halla a lo largo de las riberas, en las que desarrolla su labor de zapa y mina, horadando toda el área, provocando desprendimientos y variando la orografía natural de las orillas. Se ha convertido en un problema acuciante para los cultivos de arroz del Delta del Ebro y la Albufera de Valencia, pues la biomasa de los cangrejos puede llegar a ser de 500 kg por hectárea, devorando los brotes de esta planta.

En similares circunstancias se encuentra el crustáceo *Balanus glandula* (del Pacífico Nororiental), introducido en Argentina principalmente como incrustación de barcos, aunque no se descarta que también haya sido introducido mediante agua de lastre, produce de forma similar incrustaciones en instalaciones portuarias y en tomas de agua.

Existe también el caso del cangrejo verde europeo, o *Carcinus maenas*, que ha invadido numerosas comunidades costeras en el mundo entero a través de diferentes vías. Estos cangrejos son omnívoros, alimentándose de moluscos y otras presas. Ellos parecen ser los responsables del colapso de por lo menos una pesquería de almejas en Norteamérica.



Figura 2.8.- *Carcinus maenas*

Es un voraz crustáceo de unos 8cm de longitud que ha sido introducido por las aguas de lastre en Hawai, ambas costas de Estados Unidos, Panamá, Madagascar, el Mar Rojo, la India, Australia y Tasmania. Es muy agresivo y se alimenta de todo aquello que pueda atrapar, vivo o muerto, en el fondo del mar. Incluso es capaz de abrir las conchas de muchos bivalvos con sus fuertes patas, lo que le convierte en un serio competidor de otras especies autóctonas. Además, puede adaptarse a un rango muy amplio de condiciones ambientales y, si tenemos en cuenta que sus larvas son capaces de sobrevivir más de 80 días en el plancton, concluiremos que es un buen colonizador.

Medusas

La medusa (comúnmente llamada aguamala) *Mnemiopsis leidyi*, transportada en el agua de lastre de barcos. Proveniente de las costas occidentales del continente americano, fue registrada por primera vez en el Mar Negro en los años 80, y desde ese momento el crecimiento poblacional explotó, consumiendo casi todo el zooplancton, larvas y huevos

de pescado del mar. Actualmente ha alcanzado densidades de hasta 1kg de biomasa por metro cuadrado. Ha diezmo las reservas de plancton hasta tal punto de hacer imposible la viabilidad comercial pesquera del Mar Negro.

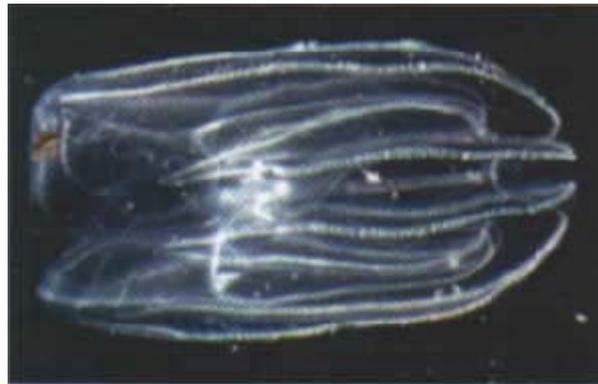


Figura 2.9.- *Mnemiopsis leidyi*

La pesca excesiva y la contaminación han provocado el declive de sus principales depredadores, como el rodaballo, el pez azul y la foca monje. Debido a la introducción de esta medusa, la pesca en la antigua Unión Soviética ha caído de manera brusca desde las 250.000 hasta las 30.000 toneladas anuales. Prácticamente lo mismo ocurrió en Turquía, donde se perdieron aproximadamente 300 millones de dólares en ingresos pesqueros entre mediados de los 80 y principios de los 90, con graves consecuencias económicas y sociales.

Estrellas de mar

Otro intruso reciente es la estrella de mar *Asteiras amurensis*, originaria del Pacífico Norte (China, Corea, Japón y Rusia). Tiene un diámetro de 50cm y se reproduce con extrema rapidez, ya que las hembras adultas de mayor tamaño pueden llegar a producir hasta 19 millones de huevos entre Junio y Septiembre. Las larvas son capaces de permanecer más de 90 días en el agua. Se alimenta de una gran cantidad de moluscos, por lo que puede provocar graves alteraciones del ecosistema. Recientemente se ha introducido en el Mar de Bering, en las costas del norte de Canadá y, sobre todo, en Tasmania, unas veces a través de las aguas de lastre y otras fijada al casco de los buques.

Peces

Los Estados Unidos tienen la variedad de peces de origen externo más amplia del mundo. El número de especies de peces introducidas en los Estados Unidos ha crecido durante los últimos 150 años. Sin embargo, se ha registrado un incremento especialmente grande en los últimos 50 años. La tendencia en el sudeste ejemplifica la tendencia de todo el país. Los números en el sudeste se mantenían hasta cierto punto estables, hasta los años 50, cuando se dio lugar un incremento dramático.

Un ejemplo claro sería el caso del gobio redondo o *Neogobius melanostomus* proviene de las cuencas del Caspio y del Mar Negro. Los gobios son peces extremadamente agresivos que compiten fieramente con otras especies por los lugares más apropiados para desovar. También tienen un sistema sensorial muy desarrollado que les permite detectar cualquier movimiento en el agua, lo que supone una gran ventaja pues pueden alimentarse en aguas turbias o sumidos en una total oscuridad.



Figura 2.10.- *Neogobius melanostomus*

Al igual que otras especies invasoras, este pez cuenta con una enorme capacidad de reproducción y las hembras llegan a producir 5.000 huevos en los meses de verano. Su introducción accidental en los Grandes Lagos en 1990 ha supuesto un grave problema medioambiental, económico y social, especialmente en los puertos del área Duluth-Superior, donde apareció en 1995 causando enormes daños a la pesca y gigantescas pérdidas económicas.



Figura 2.11.- *Gymnocephalus cernuus*

Otra especie que también se introdujo en la zona de los Grandes Lagos hacia el año 1980 es la acerina o *Gymnocephalus cernuus*, un pequeño pero agresivo pez originario de Eurasia y dotado asimismo de una alta capacidad reproductiva. Puede vivir en condiciones ambientales muy diversas y, debido a su voracidad, fácil adaptación y rápido crecimiento, tiene graves efectos sobre la pesca comercial y deportiva, con toda su cohorte de consecuencias ambientales, económicas y sociales. Tanto es así que las autoridades consideran ilegal poseer una acerina, viva o muerta, en los estados de Michigan, Minnesota, Wisconsin y Notario. Además, desde 1992 obligan a todos los buques que quieran entrar en los Grandes Lagos a que cambien las aguas de lastre más allá del límite de la zona económica y a una profundidad superior a los 2.000 metros. En caso contrario, deben someterse a un control a cargo del servicio de guardacostas de los Estados Unidos.

Bacterias

El agua de lastre puede suponer una seria amenaza para la salud del ser humano. La dispersión de patógenos a través de los barcos puede jugar un papel importante en la aparición y epidemiología de algunas enfermedades que se transmiten a través del agua.

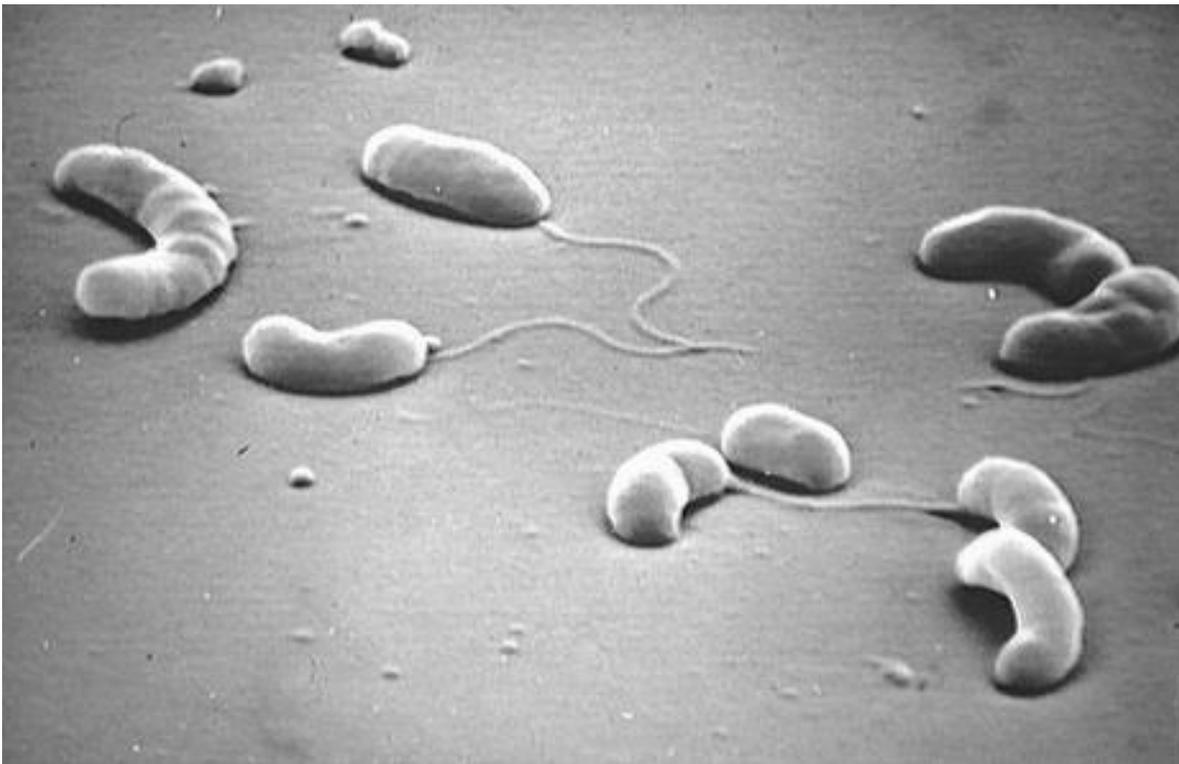


Figura 2.12.- Vibrio cholerae

La bacteria *Vibrio cholerae* ha sido transportada desde Asia a América Latina muy probablemente a través de descargas de agua de lastre. Ese agua fue presumiblemente descargada por el buque en o cerca del puerto de destino de carga. En este caso concreto comprobamos que este descuido no nos afecta a nuestra economía, ni siquiera a los ecosistemas, sino que nos ataca directamente a nosotros mismos, a nuestra salud. La bacteria es responsable de la enfermedad del cólera. Esta bacteria produce una enterotoxina que origina diarreas, vómitos y una fuerte deshidratación, capaz de provocar incluso la muerte si no se aplica rápidamente el tratamiento adecuado. La mayor parte de los individuos infectados por el cólera no presentan síntomas de ningún tipo, aunque la bacteria puede permanecer en las heces por un período de tiempo que oscila entre los siete y los catorce días. Sólo un 10% desarrollan la enfermedad y padecen los típicos síntomas de deshidratación. El cólera causa unas 120.000 muertes al año y en África hay 79 millones de personas que corren el riesgo de padecerlo. La bacteria puede sobrevivir en el agua durante largos periodos de tiempo, incluso 50 días cuando se asocia con algas o crustáceos marinos, lo que la convierte en una buena candidata al transporte en aguas de lastre. Entre 1991 y 1992 se localizó la presencia de *Vibrio Cholerae* en el agua

de lastre de 5 cargueros atracados en Estados Unidos, concretamente en el Golfo de Méjico. Actualmente también se hacen controles en Australia para evitar la introducción accidental de esta peligrosa bacteria.

Un caso especial, el mejillón cebra

Descripción

Su nombre científico, *Dreissena polymorpha*, comúnmente llamado mejillón cebra, debido a su concha triangular surcada por un dibujo irregular de bandas oscuras y blancas en zig-zag, a semejanza del pelaje de las cebras. Este molusco bivalvo es oriundo de la región pontocáslica (Mar Negro, Mar Caspio, Mar de Aral y sus estuarios), donde habita en equilibrio ecológico. No es comestible (acumula multitud de biotoxinas), y su esperanza de vida está entre los 3-5 años. Es pequeño, alcanzando en estado adulto los 3cm de largo. Se sujeta al sustrato mediante el biso, formando racimos densos y de gran extensión, semejantes a las mejilloneras marinas. Habita en aguas dulces, aunque también resiste las aguas salobres, prefiriendo las aguas estancadas y con poca corriente. Tolerancia estar expuesto al aire por periodos de más de 5-6 días. Se alimenta de fitoplancton, que es un alimento esencial del que se ve privado el zooplancton, con lo que las redes alimenticias naturales se ven perturbadas. También se adhieren a las conchas de los mejillones de agua dulce, a veces en grupos de más de 10.000 en un solo mejillón nativo, con lo cual interfieren en su alimentación, su crecimiento, su movilidad, su respiración y su reproducción. Como consecuencia, las poblaciones de moluscos nativos suelen llegar al colapso en un plazo de cuatro años desde el comienzo de la colonización de estos moluscos invasores. Son unisexuales (aunque se han constatado casos de hermafroditismo), existiendo más o menos la misma proporción de machos y hembras en una población. Las hembras se reproducen en el segundo año de vida y cada puesta es de unos 40.000 huevos. Unos días después de la fertilización nace una larva planctónica, la cual se dispersa y crece muy rápidamente, convirtiéndose en un mes en juvenil. Un mejillón cebra puede producir hasta un millón de descendientes al año.

Historia de la introducción

La navegación es considerada como la principal vía de entrada de esta especie. A partir del siglo XIX el mejillón cebra se extendió por Europa a través de los canales de

navegación interfluvial que se construían entre los ríos de esa zona (se construyeron numerosos canales de navegación que unieron gran parte de Europa; basta con decir que, por ejemplo, se puede ir desde el Báltico hasta el mar Caspio a través del sistema de ríos y canales ruso). Fue en 1824 cuando se encontró en Londres. Más tarde fue apareciendo en Holanda (1827), Copenhague (1843), Frankfurt (1855), Estocolmo (1940) e Irlanda (1994). En los años 80 del siglo XX empezó a invadir también América del Norte. Fue citada por primera vez en 1988, en los lagos Erie y Saint Clair, con el transporte marítimo de mercancías. En 1999 la especie se había extendido a la cuenca del Missouri. En tan sólo 10 años fue capaz de colonizar la mitad oriental de los Estados Unidos. Actualmente ha colonizado numerosas aguas continentales (ríos, lagos, lagunas y embalses) tanto de América del Norte como de Europa central y occidental. El mejillón cebra ha demostrado ser una especie invasora muy perjudicial en determinadas condiciones, y se encuentra dentro de las 100 especies más dañinas del mundo según la UICN. Por un lado, es un invasor perfecto, capaz de soportar cambios bruscos de temperatura, de salinidad, y aguantar varios días fuera del agua, con lo que puede colonizar otras aguas en forma de adherencias en embarcaciones o equipos de pesca, como cebo o viajando en las aguas de lastre de los grandes buques. Por otra parte, su rápido crecimiento y ciclo biológico le permiten expandirse con rapidez. Su velocidad de expansión es pasmosa, por ejemplo, cuando se introdujo en los Grandes Lagos de Norteamérica a principios de la década de los 80, presumiblemente en el lastre de los barcos europeos. En su primera aparición (1988) debutó con un grupo de 200 individuos/m² en uno de los lagos. Al año siguiente la densidad aumentó hasta los 4.500 individuos/m² en dicho lago, mientras que en otro alcanzó la escalofriante cifra de 750.000 individuos/m² en pocos meses. Su poder colonizador ha infectado ya alrededor del 40% de las vías acuáticas de estos lagos.



Figura 2.13.- *Dreissena polymorpha*

Para propagarse, basta que algunos mejillones se peguen a los cascos, o las larvas vayan en las aguas de consumo o de lastre. Como vemos por sus cifras, las larvas de mejillón cebra tienen una gran capacidad de dispersión, lo que favorece una rápida expansión de esta especie aguas arriba y abajo desde el punto donde se haya introducido en el río, cubriendo todas las áreas húmedas en lagos, lagunas o embalses. Tienen un crecimiento rápido y prácticamente cada mes se reproducen, de manera que pronto forman las características mejilloneras constituidas por numerosos individuos, acumulándose sus conchas vacías en las orillas y fondos de los cauces.

En nuestro país los primeros ejemplares jóvenes de mejillón cebra se detectaron en la cuenca media del río Llobregat. Su origen se desconoce pero se sabe que desaparecieron con las riadas de octubre de 1982. Fue en agosto de 2001 cuando un grupo de naturalistas y malacólogos de Cataluña especialistas en náyades (bivalvos de agua dulce) detectaron su presencia en el bajo Ebro (Cataluña), desde Xerta hasta el embalse de Ribarroja (Aragón). A día de hoy no sólo se ha extendido a los embalses de la cabecera de este río, sino que también ha colonizado el embalse de Sitjar en el Río

Mijares y el de Forata en el Júcar, ambos en el levante español. Han sido varias las teorías con las que se ha especulado sobre la aparición del mejillón cebra en la península Ibérica. No se sabe cuál ha sido exactamente el mecanismo de introducción de la especie, aunque lo más probable parece ser su llegada al Ebro en una embarcación infestada con mejillones cebra o cargada con agua de lastre infestada por sus larvas. Si estos mejillones se emplean como cebo de pesca fluvial, se corre el riesgo de aumentar el área de distribución de esta especie. Pero además, la navegación fluvial en un cauce parcialmente infestado puede provocar una rápida y drástica expansión de este molusco exótico en otros lugares no afectados de la cuenca del Ebro o de otros ríos. El Ebro es un importante corredor biológico, tanto para especies nativas como para especies exóticas, por lo que podría ser la vía de entrada definitiva del mejillón cebra al resto de ríos y humedales españoles.

Pero se le pueden seguir dando todavía más facilidades. Hemos visto que la especie lleva en Europa más de 100 años y en EEUU desde la década de los 80. El primer libro monográfico sobre el mejillón cebra y su problemática data de 1993, y centenares de artículos científicos sobre el tema se han escrito desde principios del siglo XX. La pregunta sería entonces por qué de repente esta alarma. Por qué nos está invadiendo el mejillón cebra. Pues aparte de la mal llevada globalización donde cada día es más habitual contaminar nuestras aguas con especies exóticas, se da la circunstancia añadida que nuestros ríos en concreto están cada vez más regulados, y los embalses les encantan a los mejillones cebra. Dicen los expertos que en un río sin embalses la especie nunca se convertiría en la gravísima plaga que es hoy. Los ríos peninsulares son, por ahora, no sólo los ríos más cálidos por donde esta especie se ha propagado, sino donde el nivel de regulación se sitúa por encima del 40%, superando con creces la media europea, del orden del 15%, y la mundial, del 8%. Según el prestigioso profesor de Ecología, Ramón Margalef, el nivel de extracción o regulación de un río nunca debería sobrepasar una 1/3 de su caudal para así poder liberar el suficiente volumen de agua necesario para cumplir con sus funciones ecológicas. Como se puede comprobar no es el caso de la mayoría de ríos españoles, y este es un factor decisivo que puede llevar a la proliferación del mejillón cebra. Según un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente, de 18 de junio de 2004, los ríos ibéricos padecen de estrés hídrico, y ya han perdido una gran parte de su caudal ecológico, que podría verse aun más agravado a causa del cambio climático.

La analogía que existe de trasfondo entre estas aguas estancadas por excesivas regulaciones en los ríos con respecto a las de lastre es muy evidente, pero profundicemos un poco más en esta problemática que albergan nuestros ríos, para comprobar el sin sentido que en muchas ocasiones esconde el origen de estas invasiones, aparentemente impredecibles a priori e incontrolables a posteriori.

Vemos que la regulación de un río se asocia al nivel de extracción que sufren sus aguas. Los únicos beneficiarios de esta situación son los mejillones, los empresarios, y aquellos que permiten hacer y deshacer a éstos últimos variaciones en las cuencas de los ríos según vaya el negocio en cuestión. En España es un elemento que facilita enormemente la expansión de esta especie a otras cuencas, la construcción de trasvases, como el previsto en su momento y actualmente descartado, trasvase del Ebro al Júcar y al Segura, o el existente del Ebro al Besaya, aparte de los numerosos ya previstos o en construcción.

El 13 de Septiembre de 2006 se confirmó la presencia de larvas de esta especie invasora en el meandro de Ranillas (Zaragoza), donde se ha comprobado la concentración de 0,65 larvas por litro. Ello significa que existe al menos una población de ejemplares adultos instalada en algún punto aguas arriba de Zaragoza. Precisamente la aparición de estas larvas en Ranillas refuerza la oposición que ya se venía manifestando en la zona a las obras del Ayuntamiento de Zaragoza de construcción de un azud, con motivo de la EXPO 2008 de Zaragoza, por tratarse de una obra con escasa justificación, enorme impacto ambiental y un coste excesivo. Obras a ciegas o por lo tanto cegadas por intereses económicos a corto o medio plazo, que por otra parte (parte que en principio no interesa ver), reportarán desastres ecológicos, o por lo tanto económicos, que no dejan de ser única y desgraciadamente lo que en última estancia queda siempre más claro y llega más alto. Por el momento sólo se tiran piedras sobre nuestro propio tejado, o mejor dicho, sobre los bivalvos de nuestros propios ríos, el grupo de invertebrados en mayor peligro de extinción probablemente de Europa. Son las náyades, y entre ellas la mencionada Margaritifera auricularia, almeja que se encuentra ya en la misma situación que el lince, casi totalmente extinguida. Desaparecida en toda su antigua área de distribución y hoy relictas en el Ebro. Aproximadamente 2.500 ejemplares (frente a las decenas de miles que poblaban los fondos del río hace menos de 100 años), los últimos del planeta, malviven

en el Canal Imperial de Aragón, que toma sus aguas del Ebro cerca de Tudela. Pues resulta que el mejillón cebra ha entrado también en dicho canal, y sabemos ya del letal efecto del mejillón sobre las náyades. Así que los 2.500 ejemplares de *Margaritifera auricularia* que teníamos están ahora en mucho mayor peligro. Ante esta dramática perspectiva cómo se actúa en el Canal Imperial, pues mirando hacia otro lado. Se instalan unas compuertas para retener el agua y crear grandes tramos embalsados donde el mejillón cebra vivirá a sus anchas. De este modo, además de adornar con recias compuertas de acero y taludes de hormigón un monumento histórico, han creado una serie de ambientes donde la especie exótica invasora se va a instalar y va a convertirse en fuente permanente de larvas, enriqueciendo el canal y el río con poblaciones eternas de mejillones cebra.

Impacto

En el momento en que se introduce con éxito el mejillón cebra, y teniendo en cuenta los antecedentes de otros lugares del mundo, podemos hablar de que nos encontramos con una situación de extremo riesgo ambiental. Este riesgo debe ser contrarrestado mediante medidas de prevención para evitar la expansión de la especie hacia zonas no afectadas así como su proliferación donde ya está presente.

Pero se puede pasar rápidamente de estar en esta situación de riesgo ambiental a padecer los graves efectos perjudiciales y sufrirlos directamente. La gran explosión demográfica que experimenta este mejillón una vez introducido hace prácticamente imparable la progresiva colonización de los distintos sustratos naturales y artificiales que se hallan en contacto con el medio dulceacuícola en el que se encuentra. Esta amenaza de los ecosistemas fluviales puede provocar un desastre ecológico y socioeconómico a corto o medio plazo allí donde se produzca.



Figura 2.14.- Motor colonizado por el mejillón cebra

Al agarrarse al fondo de los barcos disminuye su velocidad y aumenta la corrosión. Son muchos los impactos producidos en España por esta especie. Entre los principales impactos ecológicos se describen:

Al alimentarse de fitoplancton, compite con otras especies autóctonas por este alimento desplazándolas, e incrementa el nivel de materia orgánica, afectando así a la calidad de las aguas continentales. Por lo tanto, afecta a toda la fauna y flora silvestres debido a la alteración de los ecosistemas.

Desplaza las especies autóctonas de bivalvos. En el Ebro hay dos especies de náyades y una de ellas como hemos visto (la *Margaritifera auricularia*) está en peligro de extinción, ya que en los tramos con mayores densidades del bivalvo intruso presentan normalmente las náyades numerosos ejemplares adheridos a sus valvas, anulándolos mediante la asfixia.

El mejillón cebra se caracteriza por causar vastos desequilibrios tanto ecológicos como económicos al cubrir y tapizar todo el sustrato que encuentra a su paso: lecho fluvial, cantos rodados y rocas, vegetación de ribera, conchas de bivalvos autóctonos, construcciones hidráulicas de todo tipo, turbinas, desagües, depósitos, cascos, motores y anclas de embarcaciones, embarcaderos, provocando la obturación en todo tipo de conducciones en general, en industrias, centrales hidroeléctricas, plantas potabilizadoras de agua, presas, azudes, acequias y canales de riego, etc.; e incluso llega a obstruir totalmente cañerías, tuberías, conductos de irrigación, sin excepciones, llegando a

taponar incluso los canales de entrada y salida de agua de centrales energéticas, como las nucleares, con el riesgo que ello conlleva.

La acumulación de miles de valvas de los especímenes muertos de mejillón cebra altera drásticamente las características del sustrato de los fondos de los ríos, de las playas de ribera y de los sedimentos fluviales.

Hay una disminución de la concentración de oxígeno debido a la respiración de los mejillones y a la eliminación del fitoplancton.

También se han constatado efectos como un aumento en la transparencia de la columna de agua dando unas condiciones más propicias para el desarrollo de las plantas bentónicas en los tramos afectados y una acumulación de materia orgánica en descomposición en el lecho del río.

Promueve los blooms de algas o floraciones algales, por el incremento de la proporción entre N/P y por la selectividad que presenta a la hora de alimentarse.



Figura 2.15.- Corte trasversal de una tubería taponada por mejillones cebra

Consecuencias

El escarmiento vale más que mil advertencias. Al hablar de los costes económicos de especies exóticas invasoras en América destacan las pérdidas multimillonarias que refleja un informe publicado por la Oficina de Evaluación Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos. Se calculaba que las especies introducidas en dicho país cuestan ya a sus contribuyentes de cientos a miles de millones de dólares al año, sin incluir en estos cálculos los efectos sobre los ecosistemas nativos, como la extinción de especies autóctonas, que evidentemente no tienen consecuencias económicas inmediatas.



Figura 2.16.- Foto del Laboratorio de Investigación Ambiental en Los Grandes Lagos

Estas son las cifras que mueven actualmente los denominados “zebra mussels” euroasiáticos, taponando tuberías de redes de suministro de agua, como las que abastecen de agua a los sistemas de refrigeración de las centrales eléctricas. Su control en la zona de los Grandes Lagos ya ha costado unos 2.000 millones de dólares, de los cuales 750 millones han sido para la toma, realización y gestión de medidas a tomar en su erradicación tan sólo entre los años 89 y 2000. Por otra parte los investigadores que están estudiando este problema han pronosticado que las invasiones de este mejillón en la cuenca del río Misisipi provocarán la reducción de hasta un 50% de sus especies nativas de mejillón en un periodo de tan sólo 10 años. Debido a que los mejillones nativos juegan un papel muy importante en el reciclaje de nutrientes y en la mezcla de sedimentos, su reducción podría afectar a la ecología del sistema del río. Esta cuenca

contiene más especies endémicas de mejillones de agua dulce que cualquier otro sistema fluvial del mundo. Por consiguiente, la pérdida de sus mejillones nativos en una medida similar a la que ya se ha observado en los Grandes Lagos podría ocasionar la extinción de hasta 140 especies.

En nuestro país se han comprobado ya los primeros daños, en la cuenca del Ebro. En uno de los trabajos realizados por Endesa en el 2004 en el embalse de Ribarroja, para sustituir los filtros de las turbinas de la presa, revelaron que las rejas metálicas habían sido colonizadas con una densidad que llegaba a los 200.000 individuos/m². Más recientemente el Ayuntamiento de Mequinenza ha detectado la presencia de ejemplares en uno de los depósitos de agua potable del municipio, y una comunidad de regantes ha localizado larvas de esta especie alóctona en sus conducciones de agua. La central nuclear de Ascó (Tarragona), y ahora también la de Santa María de Garoña (Burgos), sufre la amenaza de esta especie que podría taponar las captaciones de agua de refrigeración, siendo este un problema bastante grave, ya que la refrigeración es fundamental para la seguridad nuclear y su interrupción podría devenir en un accidente severo. Seguramente por ello la central de Ascó propuso a mediados de 2004 poner en marcha un método para la erradicación del mejillón cebra, consistente en verter directamente el agua de refrigeración, de tal manera que suba la temperatura del río a 38°C durante media hora dos o tres veces al año. Los técnicos argumentan que, de esta forma, se acabará con el mejillón cebra, incapaz de reproducirse tras sufrir este choque térmico. Sin embargo, estas elevadas temperaturas no sólo afectarán al mejillón, sino evidentemente a toda la fauna del río, pudiendo provocar una auténtica eliminación de especies en torno a la central, y por lo tanto arreglando un problema para provocar otro.

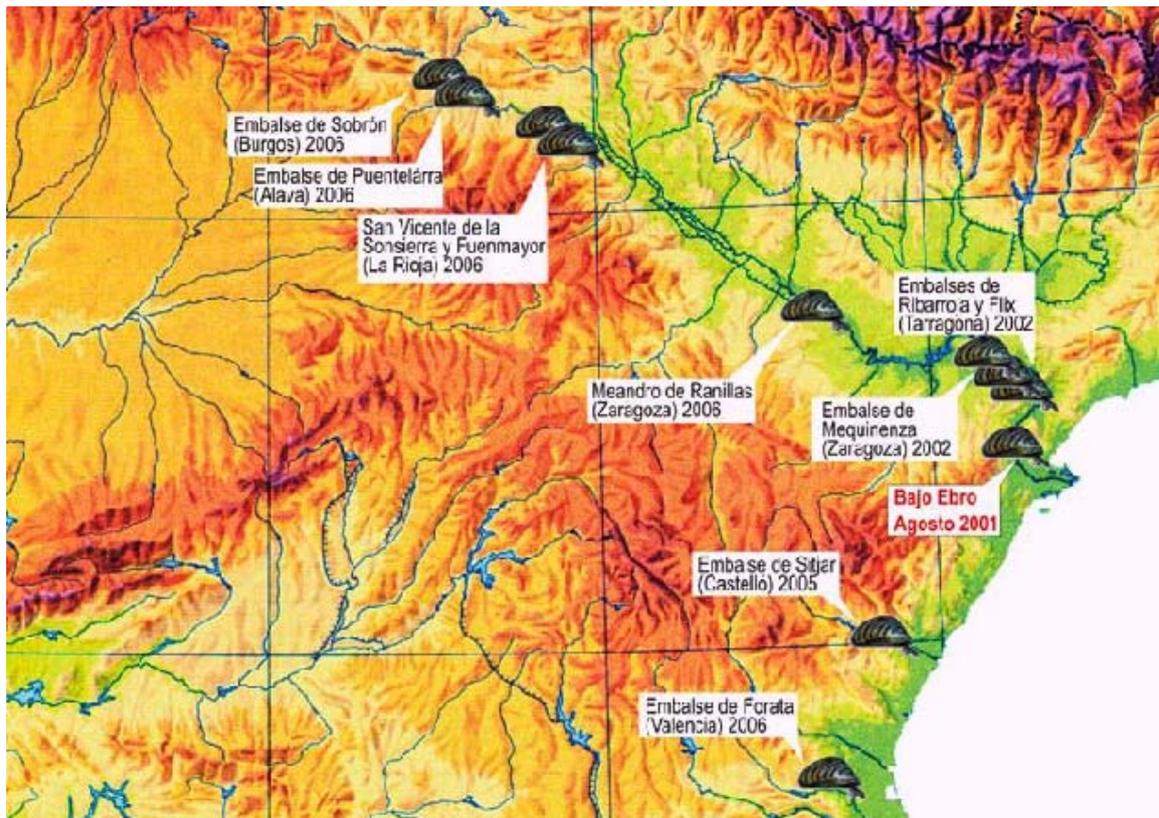


Figura 2.17.- Mapa invasión del mejillón cebra

Es suficiente echar una ojeada al mapa de afección potencial de la plaga, que señala las zonas donde se han encontrado larvas o mejillones adultos, así como las áreas que, con una probabilidad muy superior al 90% pueden estar potencialmente afectadas. Las leyendas en este caso no mienten, ya que casi todas se tratan de embalses, uno de los principales focos del problema.

Según un reciente estudio de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en el bajo Ebro ya se cifran en 2.000.000€ anuales los daños, sobre todo a las empresas hidroeléctricas, en limpieza de las tomas y en la merma de producción. Sólo en Fayón, una pequeña localidad zaragozana, se ha tenido que sustituir la infraestructura hidráulica por la concentración del molusco en las conducciones, con un coste de 400.000€. Por lo tanto el avance de las poblaciones de mejillón cebra en las cuencas del Ebro y del Júcar en solo 5 años supone un claro fracaso de las medidas preventivas que las diferentes administraciones han adoptado. Buena parte del fracaso se ha debido a la lentitud en adoptar las medidas y en que estas hayan sido poco estrictas. Cuando se detectó la

presencia de los primeros mejillones cebra en el Ebro la amenaza que ello suponía fue infravalorada por las administraciones ambientales e hidrográficas, y hasta la detección de ejemplares de esta especie aguas arriba de Zaragoza se ha subestimado el riesgo que esta invasión suponía. Por ello no se han adoptado medidas más drásticas para evitar al máximo en la zona la utilización de embarcaciones y otros elementos que pueden favorecer la expansión del mejillón. Aunque, según declaraciones del Jefe del Servicio de Biodiversidad del Gobierno de Aragón en los últimos 4 años se llevan invertidos 300.000€ en el seguimiento de esta especie y en intentar controlar su expansión, la realidad es que las medidas han sido insuficientes y no se han cumplido.

Por todo ello, la presencia de la especie en los mencionados puntos de las cuencas de ambos ríos, y teniendo en cuenta su rápida expansión en otros países, hace muy previsible que nos encontremos ante una progresiva y rápida invasión de otras cuencas peninsulares, con las consecuencias ambientales, sociales y económicas que ello podrá generar.

II.V.- Reacciones y soluciones

Las dimensiones humanas del problema de las especies invasoras ilustran claramente que el origen del problema no son las propias especies, sino los comportamientos del ser humano, que son los que provocan las invasiones. Por lo tanto, para encontrar una solución es fundamental tener en cuenta estas dimensiones humanas de las invasiones y eliminar las verdaderas causas del problema, como por ejemplo los motivos económicos que llevan a la introducción de especies, y hacer frente a los complejos problemas globales planteados por las especies exóticas invasoras mediante una mejor cooperación internacional.

Perspectivas de los Países

Los países apenas han empezado a darse cuenta de la magnitud y del significativo impacto del problema de las especies invasoras. De momento sólo se está comenzando a dar pasos para prevenir y controlar las especies invasoras de una manera estratégica y holística. Sin embargo, estos pasos aún no son los adecuados, ya que se descubren muchas nuevas invasiones de especies dentro de sus fronteras cada año. Los costes

ambientales, económicos, y en términos de salud humana continúan en aumento. Por citar alguno de los innumerables obstáculos a los que se enfrenta cualquier grupo dedicado a las especies invasoras en cada país, podríamos incluir las cuestiones éticas. Los métodos para limitar la propagación de especies invasoras pueden ser controvertidos desde el punto de vista ético. Algunos grupos que promueven los derechos de los animales se oponen a la erradicación de especies invasoras, especialmente los mamíferos grandes. Existe preocupación sobre la aplicación de ciertos pesticidas, tales como los DDT, para controlar a los mosquitos en las regiones infestadas de malaria. A algunos científicos y grupos ambientales les preocupa que los agentes de control biológico (organismos importados para controlar plagas) representen riesgos que puedan exceder a los que representan las especies invasoras establecidas ya en el lugar. Veremos casos y resultados objetivos de dichos agentes.

El principio cautelar

La esencia del principio o enfoque cautelar que aparece en numerosos tratados y declaraciones internacionales es bastante simple. Cuando una actividad suponga una amenaza para el medio ambiente o la salud humana, deben tomarse medidas cautelares incluso si no se han probado científicamente ciertas relaciones de causa y efecto. Un dicho basado en el sentido común dice: “más vale prevenir que curar”. Aunque puede ser interpretado de distintas formas y estar definido de maneras distintas en diversos tratados y declaraciones internacionales, se está convirtiendo rápidamente en un principio fundamental de la legislación internacional sobre el medio ambiente. A finales de los 80 y principios de los 90, el principio fue adoptado en numerosos tratados multilaterales y declaraciones internacionales, por ejemplo, el Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992. Puede que haya variaciones en los criterios extremos y en el rigor de las medidas medioambientales de control, pero se podría definir el concepto del principio de la siguiente forma:

“El principio cautelar estipula que cuando la falta de medidas reguladoras suponga riesgos para el medio ambiente a) inciertos, pero b) no desdeñables, dicha falta de medidas reguladoras no está justificada.”

También se han identificado una serie de elementos esenciales o direcciones fundamentales entre las que se incluye:

- tener iniciativa, estar dispuesto a tomar medidas antes de disponer de las pruebas científicas oficiales,
- tomar medidas rentables, es decir, considerar la proporcionalidad de los gastos,
- proporcionar márgenes ecológicos de error,
- tener en cuenta el valor intrínseco de otras entidades aparte del ser humano,
- transferir la responsabilidad de presentar pruebas a aquellos que proponen el cambio,
- tener en cuenta las generaciones futuras, y
- pagar las deudas ecológicas a través de regímenes estrictos de responsabilidad objetiva/absoluta.

Prevención

Es la principal línea de defensa frente a especies exóticas invasoras y la más rentable. Combatir las especies invasoras consiste en impedir que se establezcan en absoluto. En ella está la clave para el éxito de un programa, especialmente en medios acuáticos porque una vez que las especies se han establecido, se ha perdido gran parte de la batalla o, cuando menos, estaremos sujetos a mantener un control indefinido. El control de la lamprea marina (*Petromyzon marinus*) es un buen ejemplo. El control es un programa exitoso que ha recibido el apoyo de los gobiernos de Canadá y Estados Unidos, pero a un coste total de 14 millones de dólares anuales. La mayoría de los intentos de erradicar este tipo de especies fracasan y encima suelen ser costosos, como fue el caso de la campaña fallida de erradicación de la “hormiga de fuego” (*Solenopsis invicta*) sudamericana del sureste de Estados Unidos, que tras 22 años se llevan gastados 200 millones de dólares. Una vez que la erradicación ha fracasado (el resultado

más frecuente), la sociedad tiene que enfrentarse a los daños y a los gastos de gestión eternamente. Estos gastos pueden ser escalonados, lo que justifica las medidas estrictas de prevención.

Los componentes claves de la prevención consisten en una detección temprana seguida de un minucioso control, así como el desarrollo de un programa de respuesta rápida, como única réplica válida a la igualmente rápida propagación de estas especies. Es cierto que la prevención de invasiones lleva asociados gastos considerables, pero éstos son compensados por los beneficios que ésta reporta a la sociedad. Estos beneficios derivados de algo que no ha ocurrido son difíciles de evaluar, de describir y más aún de justificar. Pero dicha descripción y el reforzamiento de los beneficios que supone no tener una determinada especie invasora constituyen un elemento muy importante de las campañas publicitarias centradas en las especies invasoras.

En el caso de introducciones no planificadas, la relación beneficios/daños inclina la balanza hacia la exclusión. Incluso si sólo una pequeña fracción de especies introducidas inadvertidamente se establece y sólo una pequeña fracción de éstas se convierte en una plaga invasora, las consecuencias siguen siendo sumamente costosas para la sociedad y superan a los posibles beneficios que dichas introducciones podrían haber aportado y al coste del mantenimiento del mecanismo de exclusión. Si se hubiese prevenido la entrada del mejillón cebra en América del Norte por ejemplo, purgando el agua de lastre en alta mar, o tratando el agua de lastre con sustancias químicas o luz ultravioleta, no se habrían perdido miles de millones de dólares en daños ocasionados a instalaciones industriales y demás consecuencias que ya conocemos de la incrustación de los mejillones, así como el peligro de extinción de muchas otras especies acuáticas (principalmente invertebrados), que sería mucho menos grave que ahora. El gasto continuo que supone purgar el agua de lastre en alta mar, o utilizar tratamientos de lastre no es desdeñable, pero sí inmensamente inferior a las consecuencias que se obtienen al infravalorar estos ataques, no emprendiendo ningún tipo de acción preventiva, de gestión o control, y siendo al final seriamente afectados ecosistemas enteros, el comercio internacional, las distintas sociedades, y sus gobiernos, sufriendo continuos gastos en programas de conservación de dichos ecosistemas.

La forma más común de prevenir las invasiones es concentrarse en especies concretas. No obstante, un método global es identificar las vías principales de entrada y gestionar los riesgos que suponen. Aunque se considera que el comercio y los viajes internacionales son la principal causa de introducciones dañinas no intencionales, no se dispone de datos detallados sobre las vías de entrada, excepto en el caso de unos pocos países. Los métodos de exclusión centrados en las vías de entrada en lugar de en especies concretas pueden ser más eficaces cuando es probable que por una frontera entren plagas. De esta forma se evita desperdiciar recursos en otras cosas. Es más, este método incluye a más especies, incluso a los falsos negativos del planteamiento común, así como más vectores, sistemas de vías de entrada y mecanismos subyacentes de introducción. Así pues, se pueden realizar evaluaciones de los riesgos de las vías de entrada así como de cada una de las especies.

El razonamiento según el cual algunas vías de entrada han sido usadas sin ningún tipo de prevención durante décadas o incluso siglos, por ejemplo el agua de lastre y las incrustaciones de los cascos de los barcos, y por lo tanto las especies invasoras ya se han propagado a todas las áreas donde podían propagarse es engañoso. Hay casos de especies exóticas que han sido introducidas durante décadas pero no se han establecido hasta hace poco, lo que demuestra que el ritmo de establecimiento puede variar con el tiempo. Los motivos pueden ser cambios en las propias especies exóticas, cambios en la vía de entrada (al pasar menos tiempo de pasaje porque los viajes trasatlánticos son más rápidos, la probabilidad de supervivencia de las especies que se introducen a través del agua de lastre aumenta), cambios climáticos como los que estamos experimentando recientemente y cambios en el impacto del ser humano en el área de introducción (cambios en la salinidad y los nutrientes, etc.). El ritmo acelerado de establecimiento de especies exóticas demuestra que las introducciones accidentales deben ser motivo de preocupación.

Medidas preventivas: Predicción y Evaluación del riesgo de amenazas de invasiones acuáticas

Algunos modelos probabilísticos simples de bajo costo pueden producir valiosas evaluaciones de los riesgos. Para empezar, se deben entender dos conceptos clave:

Uno de ellos ya lo hemos introducido, la Vía de Entrada. Hemos visto que se trata de un vector de desplazamiento y combinación de rutas por las que se transportan a las especies a nuevos sitios (como puede ser el tráfico de embarcaciones desde el Mar Báltico hacia los Grandes Lagos de Norteamérica), y el otro se trata de la Presión de Propagación, que es el grado cuantitativo de introducción de un grupo de organismos en un sitio. Mientras más fuerte sea el corredor de invasión (por ejemplo mientras mayor sea el tráfico del vector), mayor será la presión de propagación.

Para apreciar el valor de estos conceptos, debemos considerar los obstáculos que las especies deben superar para establecerse en una nueva región. Podemos imaginar que un invasor potencial debe pasar a través de una serie de “filtros”. Obviamente, el primer filtro, y el más importante, es la barrera geográfica (un océano, una península, un tramo de tierra entre dos cuerpos de agua). Los corredores de invasión le permiten a las especies pasar por este filtro ya que un corredor fuerte hace que el filtro sea más permeable y por lo tanto, ofrece las mejores oportunidades para la dispersión.

El segundo filtro es el ambiente físico del nuevo hábitat. Las especies se han transportado a hábitats que pueden o no ser adecuados para ellos (como el caso de la platija europea y el calamar, que pueden encontrarse en los Grandes Lagos, pero no se pueden reproducir debido a la baja salinidad). Podemos asumir que las especies cuyo hábitat corresponde físicamente a su nuevo hábitat muy probablemente pasarán este filtro.

El tercer filtro es la resistencia demográfica. Para poder establecerse, no es suficiente el hecho de que la especie entre a un hábitat adecuado. También es necesario que llegue un número lo suficientemente grande de invasores individuales para establecer una población viable (algo particularmente importante en las especies con sexos separados). Por lo tanto, muchas veces se necesita que haya introducciones múltiples para que una invasión pueda ser exitosa.

El filtro final es biológico. La competencia y la depredación de las especies residentes pueden evitar una invasión, especialmente si los invasores llegan en números pequeños. La presión de la propagación permite a las especies sobrevivir los últimos dos filtros. Un número suficientemente grande de invasores podrá superar la resistencia demográfica y

será capaz de soportar los efectos negativos de la interacción con las especies residentes.

Controles en el puerto de destino: Metodología Globallast

De manera general se pueden adoptar planes uniformes de control del agua de lastre, donde todos los buques atracados sean sometidos a los mismos procedimientos, o selectivos, donde se establecen procedimientos específicos de acuerdo con el riesgo que el buque representa para el ambiente portuario receptor, previamente determinado. La primera opción constituye un plan de tratamiento más simple, que no requiere mayores ni más complejos antecedentes. Sin embargo, la necesidad de aplicar procedimientos estandarizados, aún para aquellos buques que no representan el más mínimo riesgo, torna esa alternativa económicamente inviable, además de técnicamente impracticable. Un plan selectivo, al contrario, requiere un gran volumen de información y tomas de decisión, pero ofrece como ventaja la mayor factibilidad.

El siguiente método constituye una propuesta dirigida a seleccionar adecuadamente los procedimientos de administración del agua de lastre, constituyentes de un plan de acción ambiental, a ser incluido en un programa de gestión ambiental portuaria. Más específicamente, esta iniciativa pretende aplicar una metodología para determinar el nivel de riesgo del problema de la contaminación por aguas de lastre en una zona concreta, en este caso en el área portuaria de Río Grande (Brasil), y señalar las acciones adecuadas para su control ambiental.

El sistema de evaluación utilizado fue desarrollado por el Programa Globallast (Global Ballast Water Management Program), propuesto por la Organización Marítima Internacional, y que veremos en el último apartado. Parte del principio que: “cuanto mayor es la frecuencia y el volumen de agua de lastre proveniente de un determinado lugar, similitud ambiental entre los puertos donantes y receptores y localización de especies de riesgo en la bioregión del puerto donante, mayores son los riesgos representados en el área de descarga del agua de lastre”. Este sistema requiere de una serie de datos sobre el agua de lastre descargada, parámetros ambientales del puerto de Río Grande y de los puertos de origen, destino del agua de lastre y de las especies de riesgo por bioregión, clasificadas según su origen como nativa o introducida, así como según el impacto que

causen en no-nociva, potencialmente nociva o reconocidamente nocivas, datos que serán utilizados en la determinación de coeficientes de riesgo primarios.

Los formularios de agua de lastre establecidos en la resolución A-868 (20) por la OMI, aplicados a todos los buques que atracan en este caso en Brasil como requisito necesario para la obtención del certificado de libre tránsito, proporcionaron los datos que permitieron calcular el coeficiente de riesgo primario C1, que representa la frecuencia relativa del número de tanques de lastre provenientes de un determinado puerto en relación al total de tanques descargados. De esos formularios también se obtuvo la información necesaria para calcular el coeficiente C2, dado por la proporción del volumen de agua de lastre de un determinado puerto de origen en relación al volumen total descargado en Río Grande.

El coeficiente C3 proviene del llamado análisis múltiple de coeficiente de Distancia Euclidiana (resultante de un método geométrico vectorial), realizado paralelamente, donde se generaron valores de similitud ambiental entre el puerto receptor y cada puerto donador de agua de lastre. Este coeficiente presenta valores de 0,005 (similitud mínima) a 1,0 (similitud máxima). El análisis de similitud ambiental fue realizado utilizando las variables ambientales que vemos a continuación y el citado coeficiente geométrico.

- Temperatura del agua (°C) -Media y máxima durante el período lluvioso, media mínima durante el período seco y máxima durante el período seco.
- Temperatura del aire (°C) - Media y máxima del día durante el período lluvioso, media de la noche durante el período seco y mínima de la noche durante el período seco.
- Salinidad - Media y mínima durante el período lluvioso, media durante el período seco y máxima del período seco.
- Marea (m) - Variación media de sizigia (momento en el que un planeta o la Luna está directamente en línea con la Tierra o el Sol) y variación media de cuadratura (situación relativa de dos cuerpos celestes que en longitud o en ascensión recta están entre s respectivamente, a una distancia de uno o tres cuartos de círculo).

- Precipitación total en los seis meses más secos (mm).
- Precipitación total en los seis meses más lluviosos (mm).
- Número de meses con 75% del total de la precipitación anual.
- Distancia entre fuentes y la desembocadura del río más próxima (km).
- Tamaño de la cuenca hidrográfica (km²).

Además de estos parámetros ambientales, se utilizaron para fines de comparación de similitud ambiental las distancias entre el puerto y los hábitats marinos próximos. Las distancias medidas en las cartas náuticas del área del puerto son catalogadas conforme a la siguiente convención:

- 5 de 1 a 5 km; - 4 de 5 a 10 km; - 3 de 10 a 50 km; - 2 de 50 a 100 km; - 1 >100 km

Las estructuras consideradas fueron muelles de paredes verticales, de pilares de hormigón, escolleras/espigones y muelles de pilares de madera. Los hábitats marinos considerados fueron salinas, playas arenosas, playas de piedras, manglares (en el caso de Río Grande, marismas, como equivalente ecológico para esta latitud), planicies de marea (fangosa), acantilados rocosos, fondos arenosos con conchas, fondos limo-arcillosos, pastos marinos, infralitorales rocosos y arrecifes de coral.

El coeficiente C4 proporciona una medida del riesgo presentado por cada puerto donador debido al número de especies de riesgo presentes en la bioregión de cada puerto, de acuerdo a lo indicado en el siguiente mapa:

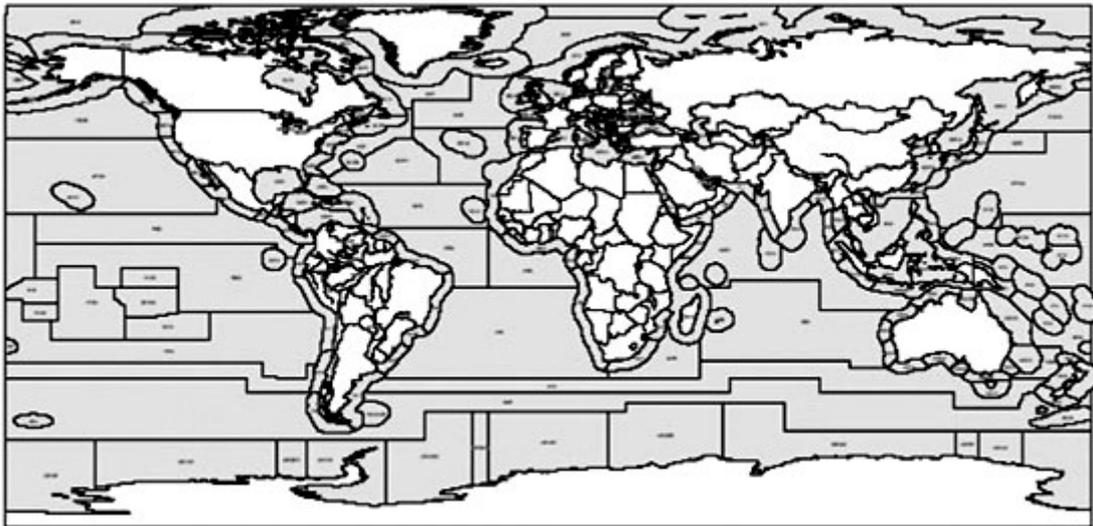


Figura 2.18.- Mapa de las bioregiones marinas del globo en 2004

El valor de este coeficiente representa la proporción de riesgo que el puerto presenta en relación al riesgo total. Este riesgo total se refiere al sumatorio de cada uno de los valores representativos de cada especie de riesgo identificada en las bio-regiones de todos los puertos donadores de agua de lastre con respecto al puerto en estudio. En este análisis, para las especies introducidas (*I*) se atribuyó un coeficiente de valor 1, para las especies potencialmente nocivas (*P*) uno de valor 3, y para las especies reconocidamente nocivas (*N*) uno de valor 10, como se expresa en la ecuación:

$$C4 = \frac{[I+3P+10N]}{\text{“Total de especies de riesgo en las bioregiones de todos los puertos donadores”}}$$

Además se utilizaron dos factores de reducción de riesgo, R_1 , relacionados con el tamaño del tanque de agua de lastre, puesto que cuanto menor es el tanque, más rápido se deteriora la calidad del agua y menor es la supervivencia de los organismos en el tanque:

Volumen (t)	<100	100 - 500	500 - 1.000	>1.000
R_1	0,4	0,6	0,8	1

Figura 2.19.- Factor de reducción de riesgo en función del volumen máximo descargado por el tanque

El segundo factor se relaciona con el tiempo de almacenamiento del agua de lastre. Cuanto mayor es el tiempo de almacenamiento, menor es la supervivencia de los organismos y, por tanto, menor es el riesgo. Para calcular este factor, se registró el número mínimo de días de almacenamiento en un determinado puerto y se atribuye un valor siguiendo una escala de categorías logarítmicas:

Tiempo (días)	<5	5 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
R ₂	1	0,8	0,6	0,4	0,2

Figura 2.20.- Factor de reducción de riesgo en función del tiempo mínimo de almacenamiento

Los cuatro coeficientes de riesgo primario y los dos factores de reducción de riesgo fueron integrados en el coeficiente de riesgo global (CRG), por medio de la fórmula:

$$CRG = [C_1 + (C_2 * R_1) + C_3 + (C_4 * R_2)] / 4$$

Durante el período de análisis atracaron 971 buques en Río Grande, de los cuales 61 (6,28%) declararon deslastrear en el puerto, con un total de 237 tanques de agua de lastre y un volumen de aproximadamente 375.326 toneladas métricas (TM). El bajo porcentaje de buques que descargaron lastre (6,28%) puede ser indicio de que el volumen total, si bien es enorme, sea meramente orientativo y posiblemente mucho mayor, lo que representa un impacto potencial significativo.

La similitud ambiental fue calculada para 356 puertos comparados con el puerto receptor, de los cuales 19 constituyen puertos-fuente de aguas de lastre para el puerto de Río Grande. Para los restantes puertos (indicados con asterisco en la [siguiente](#) tabla) se utilizó una media de los coeficientes C₃ estimados para todos los puertos analizados. Se identificaron 40 puertos-fuente de aguas de lastre para el puerto de Río Grande, localizados en 21 bioregiones marinas distintas. Esta cobertura ambiental de los donadores justifica el uso de una metodología de control selectivo de aguas de lastre según los niveles de riesgo. De acuerdo con los coeficientes globales de riesgo

determinados, los puertos pueden ser clasificados en diferentes categorías de riesgo. Los resultados obtenidos no indican a priori una característica destacada en términos del nivel crítico de riesgo para el conjunto de puertos que aportan el agua deslastrada al puerto de Río Grande. Más bien, sugieren una variabilidad de potencial de riesgo que justificaría una muestra selectiva para el acompañamiento y gestión de este problema ambiental. En este sentido, la metodología propuesta por el Programa Globallast parece ser indicada para su implementación en este puerto, en vez de una que considere uniformemente el riesgo del agua deslastrada. Esa característica aparece claramente al considerar los valores de las desviaciones estándar en relación a las medias de los diferentes coeficientes primarios, destacados en las líneas inferiores de la [de](#) la siguiente tabla. Los valores de riesgo encontrados podrán, a partir de este análisis, servir como indicadores de los puertos exportadores de mayor peligrosidad para Río Grande, y generar una base útil de información a ser incluida en un programa integrado de gestión ambiental portuaria.

Puerto de origen	Bioregión	País	C1	C2	R1	R2	C3	C4	CG	Riesgo relativo (%)
Niigata	NWP-4*	Japón	0,1308	0,3127	0,8	1	0,392	0,168	0,235	3,64
Buenos Aires	SA-IIA	Argentina	0,0338	0,0061	0,8	1	0,549	0,306	0,223	3,46
Santos	SA-IIB	Brasil	0,1097	0,0609	0,6	1	0,45	0,285	0,22	3,41
Rotterdam	NEA-II	Holanda	0,0211	0,0601	0,6	1	0,486	0,306	0,212	3,29
Durban	WA-V	Sudáfrica	0,0127	0,0018	1	1	0,584	0,235	0,208	3,23
Savona	MED-II	Italia	0,0042	0,0035	1	1	0,501*	0,321	0,207	3,21
Itajaí	SA-IIB	Brasil	0,0042	0,0005	0,8	8	0,572	0,285	0,201	3,11
Valencia	MED-II	España	0,0253	0,0376	1	1	0,391	0,321	0,194	3
Ámsterdam	NEA-II	Holanda	0,0253	0,0615	1	0,6	0,501*	0,306	0,193	2,99
Porto Alegre	SA-IIA	Brasil	0,0379	0,0268	0,6	0,6	0,501*	0,306	0,185	2,86
Cádiz	NEA-V	España	0,0084	0,0402	1	0,6	0,501*	0,308	0,184	2,84
Montevideo	SA-IIB	Uruguay	0,0464	0,006	1	0,6	0,491	0,306	0,182	2,81
Rio de Janeiro	MED-VII	Brasil	0,0042	0,0003	1	0,8	0,479	0,285	0,178	2,75
Monfalcone	CAR-III	Italia	0,0295	0,0295	1	0,4	0,501*	0,298	0,17	2,63
Cabello	EAS-VI	Venezuela	0,0084	0,0022	1	1	0,501*	0,161	0,168	2,6
Singapur	SA-IIB	Singapur	0,0042	0,0018	0,6	0,8	0,506	0,176	0,163	2,52
Tramandaí	SA-IIB	Brasil	0,0127	0,0101	0,8	0,4	0,501*	0,285	0,159	2,46
Imbituba	CAR-I	Brasil	0,0169	0,0052	0,6	0,4	0,501*	0,285	0,159	2,46
Houston	SA-IIB	EEUU	0,0042	0,0006	0,8	0,4	0,591	0,092	0,158	2,45
Paranaguá	CAR-VI	Brasil	0,0379	0,0146	1	0,4	0,457	0,285	0,156	2,41
Paramaribo	SA-III	Surinam	0,0042	0,0089	1	0,6	0,501*	0,161	0,153	2,36
Haratu	NWP-2	Brasil	0,0084	0,001	0,6	0,8	0,501*	0,124	0,152	2,36
Hong Kong	SA-III	Hong Kong	0,0084	0,0034	0,6	0,6	0,388	0,338	0,15	2,33
Recife	MED-II	Brasil	0,0084	0,0167	0,6	0,6	0,501*	0,124	0,148	2,3
Livorno	SA-IIB	Italia	0,0084	0,0065	1	0,6	0,368	0,321	0,144	2,23
Sepeitaba	WA-I	Brasil	0,0042	0,0007	1	0,4	0,456	0,285	0,144	2,23
Jorf Lasfar	WA-III	Marruecos	0,0379	0,0597	0,6	1	0,501*	0	0,144	2,22
Douala	SA-IIA-RP	Camerún	0,0211	0,0135	0,8	1	0,501*	0,023	0,139	2,15
Zarate	SA-I	Argentina	0,0211	0,0178	1	0,4	0,501*	0,021	0,137	2,12
Bahia Blanca	WA-IV	Argentina	0,0211	0,0145	1	1	0,501*	0,006	0,136	2,1
Saldaña	CAR-II-OR	Sudáfrica	0,0211	0,0349	1	0,4	0,392	0,237	0,136	2,1
Puerto Ordaz	SA-I	Venezuela	0,0042	0,0371	1	1	0,501*	0	0,136	2,1
Puerto Madryn	SA-IIA-RP	Argentina	0,0211	0,0218	0,6	0,8	0,501*	0,006	0,134	2,07
San Lorenzo	NEA-II	Argentina	0,0042	0,0007	1	1	0,501*	0,021	0,132	2,04
Amberes	SEP-A*	Bélgica	0,0084	0,004	0,8	0,4	0,382	0,306	0,129	2
Punta Arenas	SEP-A*	Chile	0,0042	0,0007	1	0,6	0,501*	0	0,126	1,96
Cabo Negro	SEP-A*	Chile	0,0042	0,0011	0,6	1	0,501*	0	0,126	1,96
Paso Summer	SEP-A*	Argentina	0,0042	0,0003	1	1	0,501*	0	0,126	1,96
Chacabuco	SEP-A*	Chile	0,0042	0,0003	0,4	0,6	0,501*	0	0,126	1,96
Campana	SA-IIA-RP	Argentina	0,0042	0,0066	1	1	0,31	0,021	0,085	1,32
Media			0,02	0,0232	X	X	X	0,183	0,161	2,5
DS			0,0262	0,0506	X	X	X	0,13	0,033	0,68
Otras áreas			0,1983	0,0682						

Figura 2.21.- Puertos fuente analizados de bioregiones distintas a la de Rio Grande

Vemos entonces que la estrategia más importante hoy día en el tratamiento de las bioinvasiones marinas es la reducción y prevención de la invasión en sí, al enfocarse en los vectores de transporte y liberación de las especies exóticas. Un ejemplo que es bastante crítico a la hora de reducir la amenaza de invasiones sería el de controlar cómo los barcos sueltan el agua de lastre. En este contexto, en Febrero del 2004 la OMI aceptó las medidas del Convenio Internacional para el Control y Gestión del Agua y Sedimento de Lastre en Barcos estableciendo estándares mundiales para mejorar el tratamiento del agua de lastre. Este convenio regula dónde, cuándo y cómo soltar agua de lastre y está a la espera de ser ratificada por 30 naciones para que las medidas entren en acción. Veremos de qué tratan dichas medidas, cómo se han desarrollado y cuáles son las expectativas que representan.

Tecnologías de tratamiento aplicables a las vías de entrada para prevenir nuevas invasiones biológicas

La fumigación es un método utilizado con frecuencia para matar insectos en las frutas, las verduras, la madera, etc. Estos productos básicos son tratados con gases (como el metilbromuro, aunque cada vez se utiliza menos y se están buscando alternativas) a presiones atmosféricas y temperaturas específicas durante periodos de tiempo específicos, dependiendo de los productos básicos de que se trate y de la plaga que se sospeche que contienen. Una tecnología muy usada para limpiar el cereal es aplicar dióxido de carbono. Otros protocolos de tratamiento químico prescriben el uso de fluidos y procedimientos de inmersión. También hay tratamientos consistentes en someter a los productos a temperaturas altas o bajas. Los productos básicos son refrigerados a temperaturas específicas durante un número de días específico o, en el caso de las frutas y verduras, se congelan a temperaturas bajo cero para su posterior almacenamiento y transporte. Otro tratamiento consiste en sumergir los productos básicos en agua calentada a temperaturas específicas durante periodos de tiempo específicos.

Respecto al agua de lastre veremos cómo actualmente se están investigando métodos para tratarla. Una medida que ya se está aplicando para prevenir más invasiones

biológicas por ejemplo en los Grandes Lagos es el cambio obligatorio en vez de voluntario del agua de lastre. En el entorno marino este cambio sigue siendo voluntario. Otros métodos que se están estudiando consisten en diferentes sistemas tales como filtrado a la entrada del agua, irradiación mediante luz ultravioleta, métodos de tratamiento químico, calentamiento térmico mediante los gases residuales de los motores, o verter el agua de lastre en plantas ubicadas en tierra firme, como las utilizadas para el tratamiento de aguas cloacales.

Veremos como la esterilización del agua de lastre con luz ultravioleta es un método viable y respetuoso con el medio ambiente. La alta intensidad de la luz ultravioleta resulta especialmente eficaz para destruir organismos pequeños. Además la irradiación también se puede utilizar en otros términos para tratar productos básicos. Los sistemas de filtrado ubicados a la entrada de los tanques de agua de lastre solo serán eficaces contra los organismos más grandes, a no ser que se pueda desarrollar algún tipo de sistema de filtración a presión. Este método podría resultar especialmente útil combinado con otros, como los mencionados métodos químicos o térmicos, o la opción en la que nos centraremos, la esterilización mediante luz ultravioleta. De esta manera se cuenta con un método atacando a los organismos más grandes y otro a los más pequeños.

Por el momento, el cambio del agua de lastre en alta mar sigue siendo la principal opción de tratamiento recomendada para el tráfico internacional de barcos. Y aunque hemos comentado que en la mayor parte del mundo el cambio del agua de lastre sigue siendo voluntario, algunos países están considerando la posibilidad de hacerlo obligatorio, y en una importante minoría (por el país en cuestión) ya es una realidad, como en el conocido caso de los Grandes Lagos. Comprobaremos que los principales problemas que plantea el cambio del agua de lastre lejos de las costas confluyen en la falta de estabilidad del barco durante el proceso, sobre todo en alta mar, y la falta de eficacia de este método. Ciertos estudios han demostrado que su efectividad varía según las especies que haya en el agua de lastre. Aunque el número de ejemplares de ciertos grupos taxonómicos se redujo drásticamente al cambiar el agua de lastre, otros no se vieron afectados de forma significativa.

En un número significativo de casos ya se están utilizando una combinación de varias tecnologías de tratamiento. Cuando la eficacia de un solo método no es satisfactoria y el

riesgo de introducción de organismos no autóctonos excede un nivel aceptable, la combinación de varios métodos suele tener éxito. En algunos casos sólo es posible conseguir un resultado aceptable con un solo método de tratamiento si se aplican dosis muy altas, con lo cual la comunidad autóctona se vería afectada. Pero aplicando dos métodos en dosis no letales, ya sea uno después de otro o simultáneamente, se puede alcanzar el nivel de seguridad necesario.

Control de invasores marinos una vez establecidos

Digamos que no se ha alcanzado un alto nivel de tecnología en los avances referentes al control de invasiones biológicas marinas una vez que se han establecido. En la mayoría de los casos donde se ha podido, la especie invasora ha sido eliminada retirándola manualmente del lugar que estaba ocupando. En otros casos la especie fue erradicada aplicando plaguicidas. Y aunque el control biológico mediante parasitoides, depredadores o patógenos se utiliza con éxito para controlar muchos tipos de especies invasoras, todavía no se ha intentado nunca en un entorno marino. No obstante, actualmente se están llevando a cabo investigaciones de opciones de control biológico de invasores marinos. La gestión de especies invasoras en el entorno marino parece ser más difícil que en áreas terrestres por varias razones. El conocimiento de la taxonomía de las especies marinas todavía tiene que avanzar mucho. La falta de información disponible sobre el alcance de la mayoría de los organismos marinos es otro problema adicional. Por eso, en muchos casos resulta muy difícil averiguar el origen de una especie que presenta un comportamiento invasor, y determinar si efectivamente es exótica o en realidad es nativa. Aun cuando no se tiene ninguna duda sobre el organismo invasor, el control puede resultar difícil de conseguir en entornos marinos abiertos en los que es complicado aplicar medidas de control orientadas únicamente a una especie en concreto. Muchas especies marinas se adaptan rápidamente a las condiciones cambiantes y han evolucionado desarrollando mecanismos para propagarse por diversos ecosistemas que les resultan adecuados. Muchos organismos sésiles (capacidad para crecer adherido, agarrado o arraigado en su sustrato, del que no se separa y sobre el que no se desplaza, como los mejillones por ejemplo) o semisésiles tienen larvas pelágicas (aquellas que se desarrollan en zonas alejadas de la costa) capaces de dispersarse a grandes distancias dejándose llevar por las corrientes. Por lo tanto, existen menos barreras naturales que en los entornos terrestres, lo cual dificulta los esfuerzos de control y de erradicación. Por este motivo, nos debemos centrar la prevención como la principal y de momento mejor

forma de defensa frente a especies invasoras marinas, y sobre todo es vital centrarse en su medio de distribución principal y vía de entrada protagonista: las embarcaciones.



Figura 2.22.- Ejemplo de organismos sésiles: Tridacnas (bivalvos gigantes) adheridas a corales

Reacciones a casos establecidos concretos

- Para el control por ejemplo de la *Caulerpa taxifolia* (alga asesina) se han llegado a emplear una amplia gama de métodos que van desde el arranque manual a las bombas de succión, el uso de productos químicos, etc. El control manual mediante arranque de la planta resulta efectivo sólo para erradicar parches pequeños, sin embargo es un procedimiento inviable para amplias extensiones y tiene costes exorbitantes. El uso de bombas de succión no garantiza la erradicación completa de la especie que incluso puede regenerar a ritmos más elevados. Tampoco los métodos químicos (sal, cobre,

cloro, etc.) han dado grandes resultados en amplias extensiones siendo su empleo más indicado para áreas pequeñas.

Sin embargo en los últimos años se ha considerado en distintas ocasiones la posibilidad de emplear agentes de control biológico. Las pruebas de laboratorio han permitido seleccionar unas cuantas especies de moluscos como potenciales agentes de control. Se trata de especies que pastan activamente sobre la caulerpa y que presentan escasa tolerancia a las bajas temperaturas no pudiendo sobrevivir en aguas mediterráneas en el período invernal. Este punto débil se ha vuelto según algunos científicos en un factor positivo ya que garantizaría que el agente de control introducido no provocaría una nueva invasión. Por el momento las autoridades francesas (el país donde se han realizado dichos estudios) rechazan la experimentación en mar abierto ya que aunque el agente de control no sobreviva a los inviernos podría orientar su actividad trófica hacia especies autóctonas del mismo género.

Posiblemente, sobre la base de conocimientos actuales, la erradicación de este alga sea inviable. La prevención resulta un elemento clave para evitar nuevas introducciones. La mitigación debería enfocarse en mantener los focos existentes bajo control y erradicar las colonias de tamaño más pequeño. La labor llevada a cabo en España para frenar su expansión se centra por un lado en el control y erradicación de las áreas afectadas y por otro en prevenir la instalación de nuevos focos mediante una red de vigilancia ubicada en el litoral levantino. A lo largo de estos años se han realizado numerosas campañas de sensibilización dirigidas a pescadores, buceadores, turistas, etc. mediante las cuales se pretendía fomentar la prevención de nuevas introducciones e implicar al público en la detección temprana de la especie. Desde el punto de vista legal tanto en las Islas Baleares (1995) como en Cataluña (1992) se prohíbe la venta de la caulerpa, medida que quizás hubiese sido oportuna en todas las comunidades autónomas del litoral mediterráneo. En esta misma línea actuó el Gobierno de Canarias en 1997 cuando se detectó la presencia de la especie en establecimientos dedicados al comercio de animales y plantas.

- Las poblaciones de la *Corbicula fluminea* (Almeja asiática) se han conseguido controlar por varios métodos. Las medidas mecánicas tales como eliminar a mano los ejemplares vivos y muertos pueden ser utilizadas pues no provocan impactos sobre el medio. En sistemas cerrados tales como tanques o depósitos de agua, pueden ser usados métodos

de control basados en la regulación térmica (por ejemplo, en tanques, aumentando la temperatura del agua por encima de los 37°), pero este método no se puede usar en la mayoría de los casos en los que esta especie está presente en el medio natural. A veces se ha trabajado con control químico con cloro o bromo matando a juveniles y adultos, pero es desaconsejable su uso en el medio natural. Actualmente se investigan métodos nuevos para poder erradicar esta especie que sean más efectivos y tengan un impacto menor sobre el medio. Muchos países previenen su introducción por medios legales. Por ejemplo desde 1987 en Massachusetts (EEUU) está totalmente prohibida la importación, transporte o tenencia de esta especie en cualquier parte de la comunidad.

- En el caso de la *Limnoperna fortunei* (mejillón dorado), para mantener las líneas de tubería en condiciones adecuadas y controlar la multiplicación del molusco se emplea la limpieza manual, mediante buceadores, y a veces usando sustancias químicas, como el sulfato de cobre en baja concentración, para sacar los mejillones. No hay riesgo de contaminación de las tuberías de distribución a los consumidores, porque el agua para suministro es tratada con sulfato de aluminio y cloro, haciendo imposible la supervivencia de las larvas del mejillón.

Hay otras alternativas, como dejar las tuberías secas durante algún tiempo, realizar descargas eléctricas y el control químico en las aguas de captación, pero presentan inconvenientes y dificultades, como la evidente suspensión del normal funcionamiento de las tuberías por un período largo o el riesgo de contaminación química. Vemos que se vuelve hacer evidente el hecho de que resulte en muchos casos un problema nuevo, en el que aún queda mucho por investigar. Se ha propuesto incluso usar un campo electromagnético en las tuberías, como se hace en la exploración y extracción petroleras en yacimientos marítimos. También puede ser útil, pero se trata de tecnología de agua salada, de mayor conductividad, que exige adaptaciones en agua dulce. Así pues erradicar el mejillón dorado en Sudamérica no es una meta posible por ahora.

- Respecto al *Eriocheir sinensis* (cangrejo chino de mitones) es prioritario establecer medidas proactivas para prevenir su introducción, como aplicar medidas restrictivas en las descargas de las aguas de lastre. Sigue siendo por lo tanto prioritaria la investigación sobre tratamientos efectivos de aguas de lastre.

Debe realizarse un esfuerzo en reducir el uso de este cangrejo por los humanos en la acuicultura, por ejemplo, prohibiendo la importación de cangrejos vivos. Es básico establecer medidas de intercepción en aquellos sitios en los que se ha observado su presencia. Como hemos visto esta especie en particular se trata de la última invasión que está sufriendo nuestro país, y que aunque en la Península Ibérica esta especie ya fue localizada (aparte de Andalucía), en Galicia, el norte de Portugal y el oeste de Castilla y León, ha sido esta vez en el Guadalquivir donde se ha encontrado el mayor número de ejemplares. Así que se han organizado (por medio de la Consejería de Medio Ambiente) unos puntos de captura fijos y móviles, que se encuentran en la esclusa, en la zona de la dársena, en el puente de las Delicias, en la Cartuja, en el monumento a Colón, en el Brazo de la Torre y de los Jerónimos, en Reina Victoria, en Veta la Palma y en la zona de Gelves, con la esperanza de tener al menos controlado al crustáceo asiático. Las nasas de orilla y fondo (herramientas utilizadas para su captura) son revisadas dos veces a la semana y las nasas de control, semanalmente. Tanto los cangrejos chinos como el resto de especies exóticas son retirados y eliminados del Guadalquivir.

La Consejería ha capturado ya en la zona portuaria de Sevilla y en otros puntos de la provincia un total de 567 ejemplares, a través del Plan Andaluz para el Control de Especies Exóticas invasoras, puesto en marcha en 2001 contra esta especie, para evitar que lleve a cabo una de sus mayores preferencias, provocar daños irreversibles en arrozales y marismas. En sus países de origen es responsable de importantes pérdidas económicas en arrozales al alimentarse de los brotes. De igual modo, Medio Ambiente realiza dentro de una estrategia de prevención, una campaña de divulgación y comunicación mediante la elaboración de fichas divulgativas con todas las especies invasoras para distribuir entre los sectores implicados (pescadores y puertos). En caso de encontrarlos, la Consejería advierte a la ciudadanía de que no debe consumirlos, pero tampoco soltarlos para no contribuir a su expansión. No obstante, se debe comunicar el hecho a Medio Ambiente, quién nos indicará cómo proceder.

En Alemania con el mismo caso actuaron de forma algo distinta, utilizando trampas corriente arriba de los cursos de agua donde se les había encontrado, capturando juveniles mientras realizaban la migración. Es importante prevenir la importación ilegal realizando esfuerzos orientados a vigilar su expansión y futuras medidas para prevenir su introducción y expansión.

- En el caso más famoso de nuestro país, la *Dreissena polymorpha* (mejillón cebra) las medidas de lucha que se han adoptado en los países que fueron invadidos han sido muy variadas, en general con escaso éxito. Una de las prioridades en la lucha contra el mejillón cebra, es eliminar cualquier vía de introducción natural o artificial en un ecosistema o zona que se encuentre libre de su presencia. Como la navegación fluvial puede provocar una rápida expansión de este molusco exótico, algunas de las principales medidas adoptadas suelen ser la prohibición o limitación de las mismas y la limpieza de dichas embarcaciones antes de que se trasladen a zonas no afectadas. También se suelen aplicar restricciones a la práctica de la pesca o como mínimo obligando a la limpieza del material utilizado y prohibiendo expresamente el uso del mejillón cebra como cebo. Para erradicar esta especie una vez introducida se suelen utilizar, según los casos, métodos manuales, químicos, termales o por ondas de radio, aunque en general son muy costosos y en ocasiones peligrosos para la conservación de los ecosistemas. Otra medida adoptada una vez introducida la especie, encaminada a lograr la protección efectiva de las náyades autóctonas, algunas de ellas como hemos visto en peligro de extinción, suele ser sacar algunos ejemplares de su hábitat y criarlas en cautividad mientras permanece la amenaza. En lo que se refiere a los daños producidos por esta especie debido a la obstrucción de las conducciones hidráulicas, se suelen controlar manteniendo revisiones periódicas y aplicando métodos químicos o termales para eliminar los racimos de mejillón cebra en dichas conducciones.

La erradicación de esta especie no será fácil a juzgar por los antecedentes en Europa y Norteamérica. En este último, a pesar de las grandes inversiones realizadas para controlarlo, la especie está completamente establecida y se han tenido que criar en cautividad las especies nativas de bivalvos más amenazadas para evitar su extinción. Para frenar la propagación en la península Ibérica, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha elaborado una normativa que obliga a la desinfección de las embarcaciones, las cuales han sido publicadas en el B.O.E. en fecha 12 de noviembre de 2002. Se debe ser consciente de que cualquier área donde se haya introducido esta especie podrá ser un área donante para futuras invasiones.

Por otra parte y haciendo un inciso en el problema que vienen arrastrando nuestros ríos las diferentes administraciones deben cuestionarse proyectos que obedezcan a una

cultura de progreso obsoleta, refiriéndonos al excesivo abuso de instalaciones como las presas, que no dejan de frenar el caudal natural de los ríos ya afectados por este molusco. Hoy día existen alternativas energéticas suficientes productoras de electricidad como la eólica, igual de rentable. Además, en cualquier proyecto de este tipo, debería incluirse en su correspondiente estudio de impacto ambiental, un estudio específico sobre el mejillón cebra en este caso, que incluya como mínimo las medidas de prevención y control de la plaga, así como un análisis de costes. Dado que no existe ningún método que haya demostrado ser totalmente eficaz para la erradicación de la plaga del mejillón, y que el uso de productos químicos para el control y/o erradicación de esta plaga puede ser causa de nuevas agresiones ambientales, como por ejemplo el hipoclorito sódico (lejía) que puede alterar el equilibrio bacteriano de las aguas, es fundamental que se evalúe de forma muy estricta cualquier método que se quiera utilizar. Lo que resulta evidente para empezar a recuperar nuestros ríos de posibles invasiones como en los casos citados es concentrarse en recuperar un caudal ecológico no sólo en los ríos afectados sino generalizar dicha actitud a toda la península, acercándonos al menos a unos porcentajes más coherentes para una cierta sostenibilidad. Las descargas de agua se realizan a criterio de las empresas que no cesan de regular los ríos, actuando única y exclusivamente en beneficio propio. Por lo tanto, para llegar a un equilibrio sería de obligado cumplimiento enfocar la regulación más a las empresas propietarias de las presas, y menos a los ríos. Las concesiones de aguas no pueden ir en detrimento de la conservación de un buen estado ambiental de los ríos.

Opinión de nuestros expertos

Los investigadores de nuestro país califican las especies invasoras como una de las mayores amenazas a la diversidad. Los participantes de "EEI 2006", en el 2º Congreso Nacional sobre este tema, han elaborado de forma consensuada el siguiente decálogo de conclusiones sobre las cuales debería articularse la participación y la iniciativa de todos los estamentos implicados en el uso y/o gestión de especies exóticas y de aquellas que sean a la vez exóticas y potencialmente invasoras.

Conclusiones

Dichos participantes, cuya mayoría son científicos, conservacionistas, profesionales y técnicos de la administración del área de medio ambiente:

- 1.- Reconocen las invasiones biológicas como una de las mayores y crecientes amenazas para la diversidad biológica autóctona y el bienestar humano y manifiestan su preocupación por el impacto que las especies exóticas invasoras (EEI) están ejerciendo sobre la biodiversidad, la salud pública y la economía en España.
- 2.- Reconocen el carácter transversal del problema de las invasiones biológicas y el elevado número de estamentos implicados directa o indirectamente (administraciones, sector empresarial, público en general, etc.) e instan a las administraciones competentes a crear los mecanismos necesarios para la coordinación de políticas y acciones en materia de EEI (entre distintos Ministerios, entre Estado y Comunidades Autónomas, entre Comunidades Autónomas y entre éstas con las administraciones locales) con el objetivo de aumentar la eficacia de las acciones emprendidas y evitar incoherencias.
- 3.- Alertan de la escasa percepción social del problema y las consecuencias que de ello se derivan (suestras, translocaciones, etc.). Reiteran la importancia que la educación ambiental tiene a la hora de influir en el conocimiento y en las actitudes ambientales de la población, y recomiendan su potenciación a todos los niveles (escuelas, comercios, agencias de viajes, sector caza y pesca, etc.) como elemento imprescindible para prevenir nuevas introducciones.
- 4.- Reconocen, frente a la dispersión de la información existente sobre EEI en España y a la proliferación de bases de datos que duplican en muchos casos los esfuerzos, la necesidad de aunar las mismas en un portal de Internet accesible al público y de libre consulta.
- 5.- Expresan su preocupación por el escaso intercambio de información entre la comunidad científica y la administración, invitando a ambas partes a poner los medios necesarios para facilitar accesibilidad a la misma, y reconociendo la investigación científica como elemento imprescindible para dar soporte a la toma de decisiones en materia de gestión de EEI por parte de las administraciones.

6.- Urgen a las administraciones competentes la puesta en marcha de un programa de prevención para frenar la entrada de nuevas especies exóticas invasoras o potencialmente invasoras:

- Suspendiendo de forma inmediata las introducciones o repoblaciones con especies alóctonas invasoras y con aquellas que lo son potencialmente, condicionando la autorización para la introducción de cualquier especie exótica, para cualquier fin, al resultado de los procesos de Análisis de Riesgos.
- Regulando el comercio y la tenencia de todas aquellas especies exóticas que han demostrado elevada peligrosidad y capacidad invasora y pueden provocar un grave impacto ecológico, económico y sanitario.
- Incentivando la vigilancia, el control y la investigación sobre vías de entrada, particularmente no intencionales (por ejemplo, las aguas de lastre).
- Impulsando la investigación sobre las consecuencias económicas de las EEI.
- Capacitando a los agentes (estatales, autonómicos y locales) encargados de la vigilancia ambiental y el comercio exterior e interior con los conocimientos e instrumentos necesarios para la detección temprana de EEI.
- Creando fondos de emergencia para permitir una respuesta rápida frente a los primeros estadios de una invasión biológica.

7.- Alientan al gobierno español a seguir apoyando las labores de los distintos convenios y tratados internacionales (Convenio sobre Diversidad Biológica, Ramsar, Berna, etc.) en materia de EEI cumpliendo con las recomendaciones ratificadas, invitándolo a promover una iniciativa dentro de la Unión Europea para la elaboración de una directiva comunitaria en materia de EEI.

8.- Instan a las administraciones competentes a elaborar un proyecto de ley específico sobre EEI recomendando refundir los aspectos medioambientales, de sanidad vegetal y animal bajo el marco unificado de "bioseguridad" y acogen con beneplácito la elaboración

de una Estrategia Nacional sobre EEI lanzada por el Ministerio de Medio Ambiente al cual hacen un llamamiento para que garantice la participación activa de la más amplia representación de estamentos con el fin de producir un documento consensuado por todas las partes.

9.- Acogen con beneplácito las medidas emprendidas por parte de las autoridades competentes para mitigar el impacto de algunas de las EEI establecidas en el territorio nacional, y recomiendan que tales iniciativas,

sean sometidas a la realización de análisis costes/beneficios y otras valoraciones socio-económicas,

sean respaldadas por el apoyo de la opinión pública y dotadas de los recursos necesarios para que puedan ser llevados a cabo con éxito, reiterando al mismo tiempo la importancia de la prevención como la medida más deseable para combatir las invasiones biológicas.

10.- Recuerdan que la lucha frente a las invasiones biológicas no constituye un objetivo per se, sino que el fin último es la restauración y la conservación de la diversidad biológica autóctona.

Situación internacional

Para comprobar en qué estado se encuentra el problema a nivel internacional pongamos un ejemplo. Se trata de una de las herramientas de control de invasiones establecidas, que aunque no es de las que entran en las posibilidades acuáticas, como ya sabemos más limitadas que las terrestres, nos sirve para poner al descubierto dónde está realmente el quid de la cuestión, si queremos progresar. Nos referimos a la propagación y no menor repercusión que tuvo un agente de control biológico, la *Cactoblastis cactorum*, en la cuenca del Caribe. La introducción de este tipo de polilla de Argentina a Australia en la década de los 20 para que sirviera de agente de control biológico del cactus *Opuntia* tuvo un gran éxito, por lo que se convirtió en un programa modelo que desde entonces se repitió en Sudáfrica y otros países. En 1957 esta especie de polilla fue introducida en la isla caribeña Nevis, con lo que se consiguió un éxito total en el control de la especie de cactus *Opuntia*. Posteriormente, la polilla se propagó a lo largo de los poco más de 3km de la isla de Saint Kitts, y se introdujo en las islas Caimán, en Antigua y Montserrat. En los últimos años, la polilla se ha propagado aún más por el Caribe, llegando en 1989 a

Florida y en 2000 a la Península de Yucatán, en Méjico. No se sabe cuál fue el mecanismo que utilizaron para introducirse en tierra firme, pero se sospecha que vinieron del Caribe. En el caso de Florida, probablemente llegaron en ejemplares infestados de la especie *Opuntia* trasladados inadvertidamente por el hombre desde la República Dominicana.

Ahora es motivo de preocupación en Florida porque está atacando a la especie *Opuntia* autóctona, cactus que ha sido llevado al borde de la extinción por la destrucción de su hábitat y que ahora, en aquellas zonas donde su hábitat todavía está intacto, va a ser llevado a la extinción por esta polilla. El cultivo de esta especie en Méjico es bastante importante, ya que se aprovecha su fruta y sus hojas, pero identificar a los responsables de esta situación no es nada fácil. Puede que sea consecuencia de la introducción original de la polilla en Nevis como agente de control biológico, o al fracaso de la cuarentena que le permitió propagarse por áreas en las que ahora es considerada como plaga. Lo que sí está claro es que no se debe a que no se supiese cuál podría ser su impacto en otros organismos aparte del organismo objetivo, ya que se sabía de antemano que esta polilla atacaba a toda una gama de especies *Opuntia*. De lo que hay que dudar es del proceso de toma de decisiones y de la eficacia de la cuarentena. Puede que en Nevis se hayan olvidado prácticamente del control biológico de la especie *Opuntia* hace más de 40 años, pero si se lo recordasen, pensarían que se tomó la decisión correcta. Estados Unidos, Méjico y los países del Caribe no se consultan unos a otros acerca de los agentes de control biológico que van a utilizar. Pero una cosa está clara, y es que el control biológico es irreversible, y que los valores e intereses de la sociedad cambian con el tiempo, de manera que lo que en el pasado era una decisión correcta hoy en día podría ser puesta en duda. Tradicionalmente lo mismo ha estado ocurriendo hasta el día de hoy, si queremos verlo aún más claro, al asemejar este uso que se ha venido haciendo o el tipo de decisiones que se han ido tomando en controles biológicos con ciertas decisiones adoptadas por ciertos gobiernos, que aún estando convencidos de que serán puramente unilaterales lo único conseguido suele ser la irreversibilidad.

Dado que cada país es un exportador e importador de bienes y servicios, cada país contribuye a la invasión de especies no nativas y al mismo tiempo es víctima de ésta. A medida que se incrementa la demanda de comercio internacional, el turismo, y los viajes, se volverá más difícil minimizar la propagación y el impacto de las especies invasoras, ya

que éstas no solamente son trasladadas, sino que se trasladan ellas mismas. Éstas pueden saltar, volar, o nadar atravesando fronteras jurisdiccionales. Por lo tanto, una vez que las especies se establecen dentro de un país, éstas representan un problema para toda la región, así como para sus socios comerciales y todos los países que se encuentran en la ruta de comercio. Pocos países han invertido en el desarrollo de políticas bien coordinadas y programas para tratar el problema. Los países en desarrollo que reconocen la gravedad de la situación y desean tomar medidas inmediatas se ven limitados por falta de recursos científicos, tecnológicos, y financieros.

Los esfuerzos de muchos gobiernos para tratar los problemas de especies invasoras se encuentran pobremente coordinados. Los países vecinos muchas veces no están al tanto de las políticas y las prácticas de cada uno de los otros países. Buscando soluciones a este perjudicial aislamiento en el que se comprueba la evidencia de que acciones independientes entre gobiernos vecinos (o no tan vecinos) lo único que producen es encarecer más el problema, encontramos un ejemplo de coordinación internacional, o de al menos, de un control sensato de lo que llega de fuera. Se trata de la supervisión que se realizó del mejillón negro a rayas, en el Territorio del Norte, Australia. A finales de marzo de 1999 se descubrió una infestación de mejillones exóticos de la especie *Mytilopsis* (también conocidos como *Congerina sallei*) en los puertos deportivos de Darwin. Reconociendo las consecuencias negativas que el posible establecimiento de este bivalvo en aguas australianas podría tener para la economía y la biodiversidad del país, el Gobierno del Territorio del Norte implementó un programa inmediato de contención y erradicación que tuvo éxito. Debido a que esta especie está establecida en muchos puertos a lo largo de las rutas internacionales que siguen los yates de recreo, se pidió la cooperación de todas las embarcaciones que tuviesen la intención de entrar en los puertos deportivos de Darwin. Toda embarcación procedente de otro país que no pudiera demostrar que su casco estaba libre de incrustaciones tenía que someterse a una inspección de dicho casco y a un tratamiento de los sistemas internos de agua salada. La medida sigue vigente. Las embarcaciones procedentes de otros países que han sido limpiadas en Australia y han permanecido en aguas australianas, sólo tienen que someterse al tratamiento de los sistemas internos de agua salada antes de poder entrar en los puertos deportivos de Darwin. Así, el Equipo de Gestión de Plagas Acuáticas australiano ha inspeccionado, tratado y dado su visto bueno a un total de 30 embarcaciones visitantes al mes procedentes de otros países. Los patrones de las

embarcaciones han cooperado voluntariamente y han elogiado el trabajo que el Gobierno está llevando a cabo para preservar nuestro medio ambiente marino.

El valor de los protocolos de inspección y de tratamiento ha quedado demostrado. A una embarcación que solicitó permiso para entrar en un puerto deportivo de Darwin se le denegó el permiso porque había pasado los últimos 6 meses en aguas de Indonesia y no se habían limpiado las incrustaciones de su casco después de regresar a aguas australianas. El casco de la embarcación resultó estar limpio, pero se encontraron 4 especies de mejillón en los filtros de los sistemas internos de agua salada. De esas 4 especies de bivalvo, 2 eran de una especie que se consideraba similar a la especie *Mytilopsis*: el mejillón verde asiático (*Perna veridis*) y el mejillón bolsa (sp. *Musculista*). Si estas dos especies hubiesen conseguido entrar en un puerto deportivo de Darwin y se hubiesen establecido de forma similar al mejillón negro, es muy probable que los sucesos de abril de 1999 se hubiesen repetido en 2000.

La erradicación se consiguió en tres puertos deportivos de Darwin ya en 1999, y hasta ahora no han vuelto a aparecer. Pero para que sea así es imprescindible el cumplimiento de una serie de controles periódicos en cada puerto. De esta forma la operación consistió en someter a cada puerto a un tratamiento químico, supervisar y tratar 420 embarcaciones (algunas de ellas mientras estaban fuera de puerto), y en inspeccionar las aguas circundantes. Participaron 270 personas, costó 2,2 millones de dólares australianos (sin incluir la mano de obra) y llevó 4 semanas. Posteriormente se ha implementado un programa de supervisión que documenta la calidad del agua y registra la presencia o ausencia de plagas marinas en los puertos y en otros puntos seleccionados del área de Darwin Harbour. Este programa consiste en supervisar colectores de asentamientos distribuidos por los 4 puertos deportivos y por puntos seleccionados de alto tráfico de embarcaciones. Las placas desmontables y las cuerdas se retiran con regularidad y se examinan para ver si tienen alguna especie acuática invasora. Estas placas también proporcionan indicios de la recuperación de los puertos deportivos. Además de estos colectores se realizan inspecciones submarinas mensuales durante las que se fotografían puntos especialmente seleccionados de los puertos. Con todo esto se va archivando información sobre la recuperación de los puertos deportivos. Las fotografías y las muestras biológicas que se recogen cerca de las áreas fotografiadas

cada tres meses permiten evaluar con más detalle la recuperación de los puertos y confirmar la ausencia de plagas marinas.

Vemos claramente la necesidad urgente de acciones regionales. Como es el caso de muchos problemas ambientales, el impacto que las especies invasoras pueden tener puede ocasionar un efecto "cascada" o expansivo que se puede sentir, primero a nivel local, luego nacional, y finalmente a nivel regional. Sin embargo, a diferencia de muchos otros problemas ambientales, las especies invasoras se pueden mover solas. Se pueden propagar rápidamente y muchas veces con patrones impredecibles. Por lo tanto, una vez que las especies invasoras se han establecido dentro de un país, representan una amenaza para la región entera, así como para los socios comerciales y para cada país que se encuentre en la ruta comercial. La capacidad que tenga un país para prevenir nuevas invasiones depende en gran medida de la capacidad que tengan otros países para manejar efectivamente las especies invasoras y las rutas de invasión de manera doméstica.

Se puede ver claramente que ningún país podrá resolver de manera exitosa sus problemas de especies invasoras nacionales, a menos que sus actividades se lleven a cabo bajo un marco de cooperación internacional, e invierta en estrategias que contribuyan a mejorar la capacidad de las otras naciones para manejar las especies invasoras.

Una herramienta efectiva pero hasta la fecha bastante infravalorada es el uso de los medios de comunicación, para concienciar al público y obtener su apoyo en la gestión de especies invasoras. Veamos una pequeña muestra curiosamente en una zona del mundo donde esta herramienta aún no se ha masificado, las Islas Seychelles. Habrá países de gran tamaño relativamente ricos, con una política definida y con recursos e infraestructura para hacer frente a las especies invasoras (Australia, Estados Unidos o Nueva Zelanda son de los más avanzados en este sentido), pero qué hacer en aquellos estados isleños de pequeño tamaño y en vía de desarrollo que apenas disponen de recursos. Los estados integrados por islas pequeñas suelen coincidir en las limitaciones y dificultades a las que se enfrentan, sobre todo en lo que se refiere a infraestructura y logística, y en cómo esto limita la coordinación y el mantenimiento de las operaciones. Sin embargo, hay que procurar sacar el mayor provecho posible a las características nacionales.

La República de Seychelles tiene unas 115 islas esparcidas por una zona económica exclusiva de 1,3 millones de kilómetros cuadrados, y una población de unos 80.000 habitantes. Estas circunstancias hacen que se enfrente a las dificultades asociadas con el escenario estereotipado de un estado en vía de desarrollo integrado por islas pequeñas. La población tiene un nivel de vida relativamente bueno y en el 29% de los hogares hay un televisor. En Seychelles solo hay una cadena de televisión. Naturalmente, que sólo haya un canal de televisión tiene la ventaja de que se pueden hacer llegar mensajes a la población con gran eficacia, sobre todo durante las horas de mayor audiencia. De ahí que la televisión sea una herramienta excelente para concienciar al público. A pesar de la falta de opciones, los programas deben tener cierta calidad y estar bien presentados, tienen que ser relevantes para el telespectador medio con el fin de mantener el interés del público. En Seychelles los niños ven un programa semanal especial llamado "Telezenn" que más menos quiere decir "Televisión joven". Los presentadores de este programa son también niños que hablan sobre cuestiones medioambientales desde la perspectiva de un niño y utilizando el lenguaje de los niños. A través de la televisión se han llevado a cabo campañas de concienciación del público acerca de plantas trepadoras invasoras, plantas que crecen en los estanques, y la liberación de aves exóticas que podrían convertirse en invasoras, como los loros. Gracias a estas campañas ha aumentado considerablemente la cooperación del público para detener la introducción de estas especies invasoras y para controlar las que ya han sido introducidas.

Conclusiones

La dimensión humana de las invasiones biológicas ilustra claramente que nuestro comportamiento está en la raíz de las introducciones. El público en general es la principal fuerza que arrastra el asombroso incremento en el movimiento de organismos que vienen trasladados de una parte a otra del globo, especialmente a través del comercio, del transporte y del turismo. El aumento en la importación de especies exóticas por razones económicas, estéticas, etc., favorece que nuevas especies invadan los ecosistemas nativos con consecuencias desastrosas también para la economía y la salud pública. Una especie exótica invasora perjudica a todos los sectores, nadie queda exento. Una plaga agrícola, por ejemplo, afecta al productor, implica gastos para las autoridades (gastos de mitigación) y afecta a los consumidores que no pueden beneficiarse del producto.

Combatir estas especies es, por lo tanto, un deber, ya que no se trata simplemente de una cuestión medio ambiental sino también de desarrollo.

No obstante, esta lucha no puede ser prerrogativa exclusiva de los gobiernos, de las administraciones o de los negociadores comerciales. La solución requiere la comprensión y la participación de los consumidores, los cuales, por medio de nuestras propias elecciones, influenciamos en el mercado global.

III.- Tratamiento del agua de lastre

III.I.- Introducción

Hay pocas dudas respecto al hecho de que en la última década se le ha dado un considerable énfasis a la palabra “tratamiento” dentro de la industria marítima, la cual está llegando a adquirir una respetable importancia cuando se habla en conjunto del tratamiento o gestión del agua de lastre. Así, como resultado del incremento en la conciencia de los impactos por parte de las actividades marítimas al medio ambiente en los últimos años, un grupo formado por una serie de gobiernos junto con la OMI se han centrado, como hemos podido comprobar, en el transporte de especies acuáticas dañinas alrededor del mundo, por medio del agua de lastre. Se han introducido regulaciones ya en algunos países con la intención de prevenirse de aquellos buques que descarguen lastre conteniendo materia indeseada.

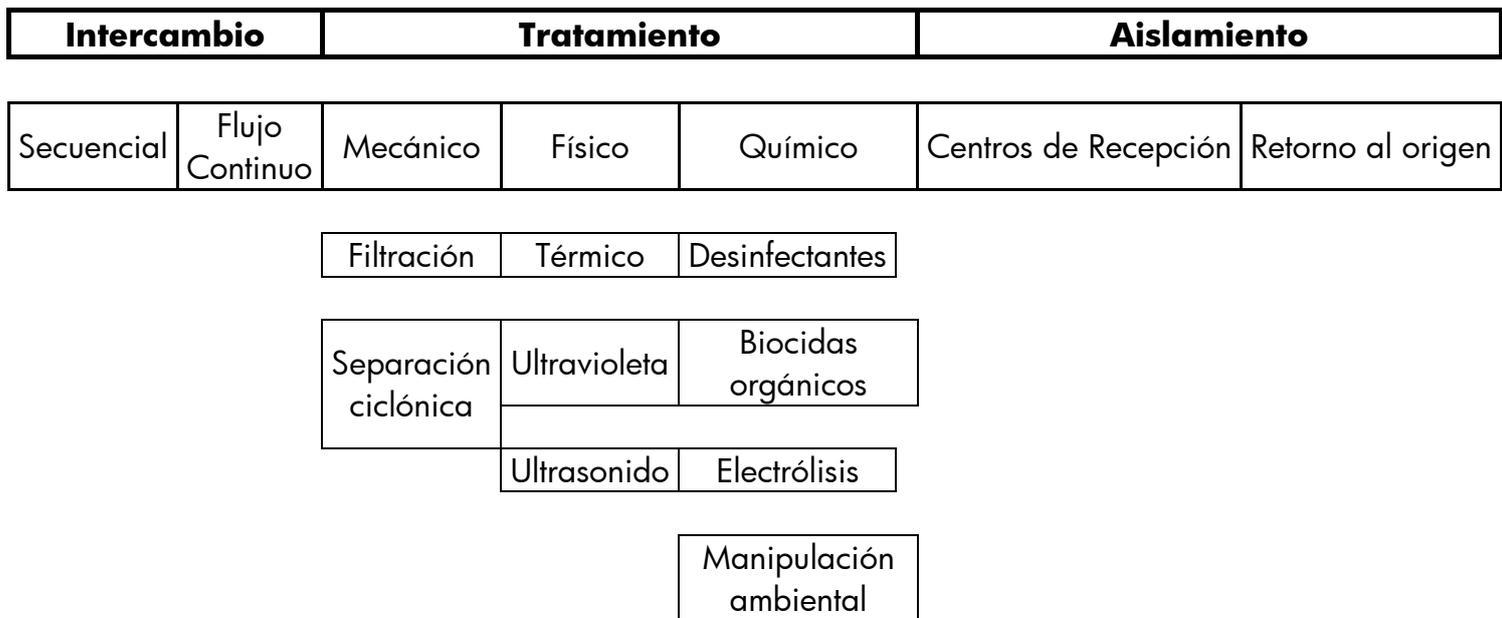
Mientras que los organismos acuáticos dañinos se pueden transportar adheridos en el fondo de un casco, o en la cadena del ancla, hemos visto sin embargo que las Administraciones han decidido tratar con el transporte de dichos organismos en el agua de lastre, porque ven que la posible solución al problema pasa por la gestión del mismo.

Se sugieren varios medios y procedimientos a los capitanes de buque de manera que puedan demostrar que han tomado medidas para evitar la descarga sin tratamiento previo. La resolución A868(20) de la OMI sugiere que el plan de gestión de lastre se prepare para cada buque. Trataremos así las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento disponibles y también aquellos que se encuentran en estudio para su desarrollo. Observaremos las distintas alternativas presentadas por la industria, pero una vez dejada clara la actual predilección por los procedimientos más básicos y socorridos de la actualidad, los métodos de intercambio secuencial y de flujo continuo, siendo el primero el más extendido, por su sencilla inmediatez de puesta en práctica. Se discutirá por lo tanto el impacto de estos medios de intercambio en el diseño y especificaciones del

buque. Ejemplificaremos casos prácticos de maniobras de intercambio y daremos también los pasos para llegar a una segura y efectiva política en la gestión del lastre.

Pero debe ser sobre todo imperativo resaltar la importancia determinante de la prevención en la transferencia de estos organismos, antes que tener que actuar a posteriori. También es imprescindible que los problemas generalizados a nivel socio-económico afrontados hoy día por muchos países, y de los cuales sabemos que no estamos exentos, tengan como respuesta soluciones factibles tecno-económicas.

Métodos de Tratamiento del Agua de lastre



III.II.- Métodos

Figura 3.1.- Posibilidades para la gestión del lastre

De acuerdo con la OMI hay tres métodos reconocidos de gestión del lastre:

- Intercambio en el mar.

- Tratamiento.
- Aislamiento.

Dentro de cada uno veremos a continuación de forma general los tipos, descripción de los mismos, así como las ventajas e inconvenientes que los caracterizan. En los siguientes apartados profundizaremos más exhaustivamente en cada uno de ellos.

Procesos de Intercambio

En la primera categoría nos encontraremos con dos tipos:

Secuencial

Descripción.- El método supone un vaciado y rellenado secuencial de tanques de lastre usando agua del océano. Se basa en que las formas de vida acuática de los océanos no sobreviven en aguas costeras y viceversa, con lo que el intercambio de agua en medio del océano daría lugar a lastre limpio a la llegada, en la localización de descarga.

Ventajas.- Hay un intercambio efectivo de casi la totalidad del volumen de lastre, y los sistemas de bombeo y tuberías experimentan sólo un moderado incremento de carga de trabajo.

Desventajas.- Este método requiere planificación y control muy cuidadosa por parte del equipo del buque para asegurar que tanto la resistencia global como local, la estabilidad y el asiento del buque se mantengan dentro de los límites permitidos. Como el buque estará en mar abierto se tiene que tener en cuenta el efecto de las cargas dinámicas, luego este método es dependiente del tiempo. La tripulación tiene que mantenerse alerta.

Flujo Continuo

Descripción.- Este método supone la recirculación continuada por los tanques o bodegas de lastre de agua en mar abierto, ya de antemano llenos, permitiendo el desplazamiento del lastre no deseado mediante la situación que se produce de rebose (evitando así

problemas de escora, asiento, etc del anterior método). Este sería, por lo tanto, un intercambio por dilución. La investigación ha demostrado que el equivalente en volumen del tanque (o bodega) tiene que ser bombeado varias veces a través del tanque para alcanzar un alto porcentaje de renovación del lastre, evitando áreas estancadas.

Ventajas.- Es relativamente fácil de seguir por el equipo del barco. No afecta a la resistencia longitudinal, la estabilidad, o el asiento del barco como el método anterior.

Desventajas.- No todos los tanques están diseñados con válvulas en la parte alta de rebose. Además, algunas configuraciones de tanques complican el necesario flujo a través de ellos con cierta efectividad, sobre todo en zonas de doble fondo y piques. Para vencer este inconveniente se requiere de un conjunto de tuberías adicionales.

Por otra parte hay un peligro de presurización de tanques, y de ahí una acumulación de agua en cubierta, con lo que en condiciones a temperatura bajo cero hace el método impracticable y peligroso para la tripulación. Las bombas y tuberías experimentan un incremento de carga de trabajo.

Tratamientos en el Sistema de Lastre

En la segunda categoría, se encuentra el principal campo de investigación y desarrollo tecnológico actual. Los principales métodos son del tipo:

Mecánico

Descripción.- Este método normalmente utiliza o bien un equipo de filtrado o dispositivos basados en separadores ciclónicos.

Ventajas.- Son métodos que no afectan a la resistencia longitudinal, estabilidad o asiento del buque, no son dependientes del tiempo, y pueden ser altamente efectivos contra los organismos del tamaño que pueden tratar.

Desventajas.- No son efectivos para pequeños patógenos, la obstrucción y necesaria eliminación de organismos retenidos en el filtro, o la posible recalibración de bombas para cubrir el aumento de resistencia en el filtro. El equipamiento que se usa actualmente no

es el adecuado realmente para movimientos de grandes volúmenes de lastre, por ejemplo en aquellos cargueros de peso muerto tales como graneleros o buques tanque, aunque una elevada tasa de estos sistemas están siendo desarrollados. Para el caso de buques ya construidos, la disponibilidad espacial debe ocupar una prioridad básica en la elección de estos métodos.

Físico

Descripción.- Incluyen los dispositivos térmicos, ultravioletas y de ultrasonido. De éstos, los dos últimos son considerados los más prometedores, ya que destruyen las células orgánicas y las proteínas, componentes esenciales en las formas de vida microscópica encontradas en el lastre.

Ventajas.- Son métodos que no afectan a la resistencia longitudinal, estabilidad o asiento del buque, no son dependientes del tiempo, y pueden ser altamente efectivos contra los organismos del tamaño que pueden tratar.

Desventajas.- Algunos organismos pueden ser resistentes a estos métodos. Se requiere un trabajo adicional en sistemas de tuberías, junto con la limitación del espacio en barcos ya construidos. Para métodos térmicos se pueden producir efectos adversos en revestimientos de los tanques, tuberías y bombas, que a largo plazo pueden llevar a la corrosión. Además la descarga de agua caliente con este tipo de método puede ser inadecuada por razones medioambientales. Y sobre todo hay que tener muy controlado los aspectos de salud y seguridad para la tripulación, que trabajarán a diario con estos métodos.

Químico

Descripción.- Requieren la introducción, como el nombre nos sugiere, de productos químicos en el agua de lastre para neutralizar o matar lo que en ella se encuentre.

Ventajas.- Son métodos que no afectan a la resistencia longitudinal, estabilidad o asiento del buque, no son dependientes del tiempo, y pueden ser altamente efectivos contra los organismos del tamaño que pueden tratar.

Desventajas.- En relación también tanto a la salud como a la seguridad de la tripulación con respecto al manejo de dichos productos químicos. La limitación por otra parte del espacio en barcos ya construidos. También se pueden producir efectos adversos en el revestimiento de los tanques, tuberías y bombas que pueden llevar a la corrosión, junto con la descarga de agua tratada químicamente que en principio, y mediante legislaciones que fluctúan desgraciadamente en mayor o menor permisibilidad según qué país, no está permitida por razones medioambientales evidentes.

Aislamiento

En la tercera y última categoría nos encontramos con una variedad muy poco extendida internacionalmente, y poco o nada factible para la mayoría de los buques:

Instalaciones de recepción

Descripción.- La descarga del lastre en servicios de recepción proporcionados por el puerto, evitando los inconvenientes del intercambio.

Ventajas.- El barco evita la descarga en aguas regionales. No afecta a la resistencia longitudinal, estabilidad o asiento del buque, y no dependen del tiempo.

La terminal “Flota” en Scapa Flow (Islas Orkney), la cual puede tomar el lastre de los tanques, es un raro ejemplo, o el caso de la Autoridad Portuaria de Vancouver, con la introducción de un contenedor de tratamiento de lastre, con una capacidad de 1000 m³/h. En un caso similar hay informes que apuntan al diseño de una gabarra de tratamiento medioambiental que se está considerando en Noruega.

Desventajas.- Esta opción se ve como una solución muy limitada ya que, como vemos, no hay muchos puertos que puedan proporcionarla. Los barcos perderán más tiempo en puerto, con lo cual además del incremento de costes se sumaría el asociado al aumento de carga de trabajo en los sistemas de bombeo y tuberías.

Lastrado de una terminal

Descripción.- Se proporciona directamente agua limpia de instalaciones en tierra, normalmente de plantas de tratamiento del agua.

Ventajas.- Las posibilidades del buque de descargar el lastre en el siguiente puerto de destino. No afecta a la resistencia longitudinal, estabilidad o asiento del buque, y no dependen del tiempo.

Desventajas.- Una solución muy limitada ya que no hay muchos puertos que proporcionen este método. Si la velocidad de bombeo no puede igualar a las velocidades de lastrado del barco entonces los buques perderán más tiempo en puerto.

Retorno al origen

Descripción.- Retener el lastre y devolverlo a la zona donde fue cargado.

Ventajas.- Evita la descarga en aguas regionales. No afecta a la resistencia longitudinal, estabilidad o asiento del buque, y no dependen del tiempo.

Sería adecuado para grandes buques de pasaje, diseñados para redistribuir el lastre interiormente o intercambiarlo durante o al final del viaje de vuelta, si se trata de un trayecto fuera de la Zona Exclusiva Económica. También sería aplicable a buques tanque que utilicen la carga de balance hidrostático, donde debido a restricciones en el calado y asiento para ciertas condiciones de carga, el lastre se podría mantener a bordo y ser intercambiado durante el viaje de vuelta.

Desventajas.- Es una solución impracticable en la mayoría de los casos puesto que reduciría la capacidad de carga, especialmente para los cargueros de peso muerto como los buques tanque y graneleros, donde el lastre es necesario descargarlo en el puerto de carga como requisito indispensable para ir metiendo la nueva carga. Este método podría incluso introducir un gasto de tiempo adicional en el mar.

III.III.- Situación actual de los Métodos de Tratamiento

La investigación a nivel mundial se va dirigiendo al desarrollo de métodos de tratamiento de lastre cada vez más eficientes y efectivos, para irnos acercándonos lo máximo posible al 100% de funcionalidad. Pero por el momento siguen surgiendo como hemos citado varias preocupaciones en relación a los métodos actuales.

Así que mientras las ganancias económicas son evidentes para aquellas empresas que logren avanzar en sus investigaciones, y por lo tanto las mejoras deberían ir aumentando necesariamente, no son tan palpables de puertas para fuera, por el tradicionalmente conocido hermetismo industrial, poniendo así en evidencia las dificultades legislativas de las Administraciones, que deben identificar y valorar los productos individualmente. Este hecho se puede hacer extremadamente arriesgado en aquellas naciones donde existan leyes estrictamente anticompetitivas. Por lo tanto se hace palpable la solución ecuánime, aprobaciones internacionales, fundamentados de momento en convenios con muy buenas intenciones de futuro y potenciales reglamentaciones a estandarizar globalmente, que veremos en siguientes capítulos.

III.IV.- Intercambio en el mar

Introducción

De los tres principales métodos en el tratamiento de agua de lastre nos centramos ahora en el que se refiere a los procesos de intercambio como herramienta de gestión. Actualmente es el que mejor cumple los términos coste-efectividad, y el más aplicable a la mayoría de los buques ya construidos. Como hemos visto en el apartado anterior de forma general, actualmente se reconocen dos tipos:

- Secuencial.

- Flujo Continuo.

Si los procesos de intercambio se ejecutan respetando todos los pasos, cada uno de estos métodos han sido probados y han demostrado resultados para poder alcanzar el mínimo 95% requerido (o superarlo) de intercambio de lastre de alto riesgo, eliminando así casi la totalidad del lastre original. Estos procedimientos se deben llevar a cabo a

partir de 12 millas náuticas de los límites jurisdiccionales de cada país, es decir, tan lejos como sea posible de tierra, y en aguas de al menos 2000 m de profundidad.

Un problema que se suele dar en este tipo de métodos es que muchos organismos, de mayor densidad que el agua, tienden a asentarse en el fondo de los tanques como sedimento. Para mejorar la eficiencia en este sentido, la estructura interna de los tanques y el sistema de tuberías deben ser diseñados para asegurar el mayor grado de mezcla del lastre original con el que se mete del océano, reduciendo así las áreas estancadas, y alcanzando altas velocidades en el flujo del agua para levantar el sedimento del fondo y arrastrarlo a la salida lo más rápidamente posible.

Procesos de Intercambio; Tipos y Definición

Método Secuencial

Este método implica el vaciado al mar de tanques (un grupo cada vez) de lastre potencialmente peligroso antes de volverlos a llenar con agua limpia de mar abierto, para asegurar que el barco llegue a su puerto de destino con agua de lastre conteniendo especies propias del océano o de áreas vecinas, preferibles siempre a aguas muy distantes y potencialmente dañinas, autóctonas del puerto de partida.

Es imposible asegurar que el nivel de mezcla que se alcance en ambos tipos de lastre con este método no vaya a contener más de un 5% de lastre no deseado, pero es éste en definitiva el baremo que se persigue. Se deben recopilar por lo tanto sondeos de tanques al final de la fase de vaciado tal que la muestra de la mezcla de lastre posterior sea verificada por los servicios de inspección a su llegada a puerto.



Figura 3.2.- Muestreo de agua de lastre vía registro de hombre

Cuando se utiliza este método, los sistemas de tuberías y bombeo experimentan un aumento de carga de trabajo. El intercambio efectivo de casi todo el volumen de lastre da como resultado la percepción de que éste podría ser una manera eficaz de evitar la transferencia de organismos acuáticos dañinos. Sin embargo este método requiere cuidadosas planificaciones para mitigar los riesgos que afectaran al barco respecto a la resistencia longitudinal, cargas dinámicas, asiento excesivo, falta de visibilidad en el puente, posibles machetazos de proa, situaciones de emergencia en la hélice o falta de estabilidad.

De esta manera no todos los buques son capaces de vaciar los tanques de lastre en mar abierto, por los citados motivos de seguridad, que definiremos con detalle. Tanto es así que los capitanes deberán asegurar a priori la viabilidad en sus buques de cada uno de los diversos estados operativos que se deben superar satisfactoriamente para un intercambio secuencial. Por lo tanto vemos en principio que por una parte este proceso de lastre/deslastre tiene la gran ventaja de no necesitar ninguna modificación en los equipamientos existentes del buque. Ventaja ya de por sí más que válida para colocarlo como así es actualmente en la posición más solicitada por el mundo marítimo internacional. Sin embargo, por otro lado debemos ver también que su implementación da lugar a una serie de problemas en la práctica:

La operación es laboriosa y requiere una continua atención de un oficial cualificado durante todo el proceso. Hoy en día, ya con el personal a bordo de los buques reducido al mínimo imprescindible, tal método constituye una carga adicional para el trabajo de la tripulación, ya de por sí bastante significativa.

La secuencia de la operación debe desarrollarse cuando las condiciones de mar, momentos flectores y esfuerzos cortantes, bajo la condición de carga en curso del buque, no ponga en peligro la resistencia de la estructura.

El documento de OMI MEPC 44/4, Regulación 15.1(c)iii se refiere a "... mar favorable y buenas condiciones...". Esta explicación limita el entorno operativo del método a sólo algunos segmentos reducidos de la mayoría de las rutas oceánicas.

Aparte de la resistencia longitudinal total del buque, hay que encargarse de las cargas dinámicas adicionales debido a la inercia del lastre y al bailoteo del líquido (sloshing). Además, estos ciclos dinámicos imponen unas cargas de fatiga extra a la estructura, y en algunas condiciones de lastre, la inmersión de la hélice afecta a la maniobrabilidad del buque, y la línea de la visibilidad no debe exceder los límites OMI durante la operación.

El diseño de la estructura en el interior de los tanques de lastre provoca un mayor o menor asentamiento de sedimentos en las esquinas, especialmente en las partes de a proa o popa del tanque, debido al hecho que el intercambio de lastre se realiza a través de una sólo boca de succión localizada en la mitad del tanque.

A pesar de las muchas desventajas de este método, su mayor ventaja se encuentra en el hecho de que se trata de la solución más factible a nivel costes-efectividad para un tratamiento de lastre a bordo para buques ya construidos y con efecto inmediato.

Criterios a seguir para el desarrollo de un Método Secuencial

Los criterios que definen a un método secuencial se relacionan con los aspectos de clasificación, aspectos reglamentarios y operativos.

Aspectos de clasificación:

Resistencia longitudinal, como pueden ser los momentos flectores permitidos, los esfuerzos cortantes o los pares de carga.

Cargas dinámicas, como la fatiga, la inercia del lastre o el bailoteo del líquido en tanques.

Aspectos reglamentarios:

Estabilidad intacta, como por ejemplo la altura metacéntrica.

Visibilidad en puente, como las superficies límite desde la posición de gobierno del buque.

Aspectos operativos:

Calado mínimo a proa, como el riesgo de cabezadas de proa en fondo.

Situaciones de emergencia en la hélice, como los riesgos de una maniobrabilidad inadecuada o las cabezadas de popa.

Para el estudio de dichos criterios se pueden seguir las siguientes propuestas:

La asignación de momentos flectores y esfuerzos cortantes permitidos. Los cálculos se llevan a cabo con los tanques llenos y vacíos, asumiendo que la resistencia estructural se encuentra en buenas condiciones.

Como indicación de la estabilidad intacta del buque, la altura metacéntrica, corregida para superficies libres, se comprueba frente a la altura metacéntrica mínima del buque al 20% y 50% de niveles de llenado, mientras que los tanques de lastre a babor y estribor se lastran y deslastran simultáneamente para prevenir la escora.

Como indicación de la visibilidad en puente del buque, la vista de la superficie libre hacia proa desde la posición de gobierno del buque se comprueba para que sea no más de la longitud de dos buques, o 500 m como mínimo.

Calado mínimo a proa, como indiquen los planos del buque y/o el manual de carga. Donde no se mencione se tomará la medida de 0,045L.

Respecto a la inmersión de la hélice hay que asegurarse que la parte alta de la misma se encuentre inmersa.

Consecuencias respecto a los factores determinantes de un Método Secuencial

Hay pocos cargueros por ejemplo que pasarían sin ningún problema una exhaustiva evaluación respecto a los mencionados aspectos de clasificación, reglamentarios o legales y operativos con el método secuencial, en marcas máximas de carga y movimientos del buque. Pero ésta no deja de ser la mejor forma de exponer los riesgos respecto al método secuencial, y poder describir así las opciones para mitigar dichos riesgos. Si las operaciones de cambio de lastre que sigan este método en buques ya construidos se llevan a cabo por lo tanto sin tener en cuenta dichos riesgos la seguridad del buque se encontrará entonces en serio peligro. Los resultados de confrontar diversos tipos de buques a estos factores son los siguientes:

Resistencia Longitudinal:

Todos los petroleros de casco sencillo y algunos de los de doble casco indican una resistencia longitudinal insuficiente.

Altura Metacéntrica:

Todos los casos indican una altura metacéntrica correcta en superficies libres.

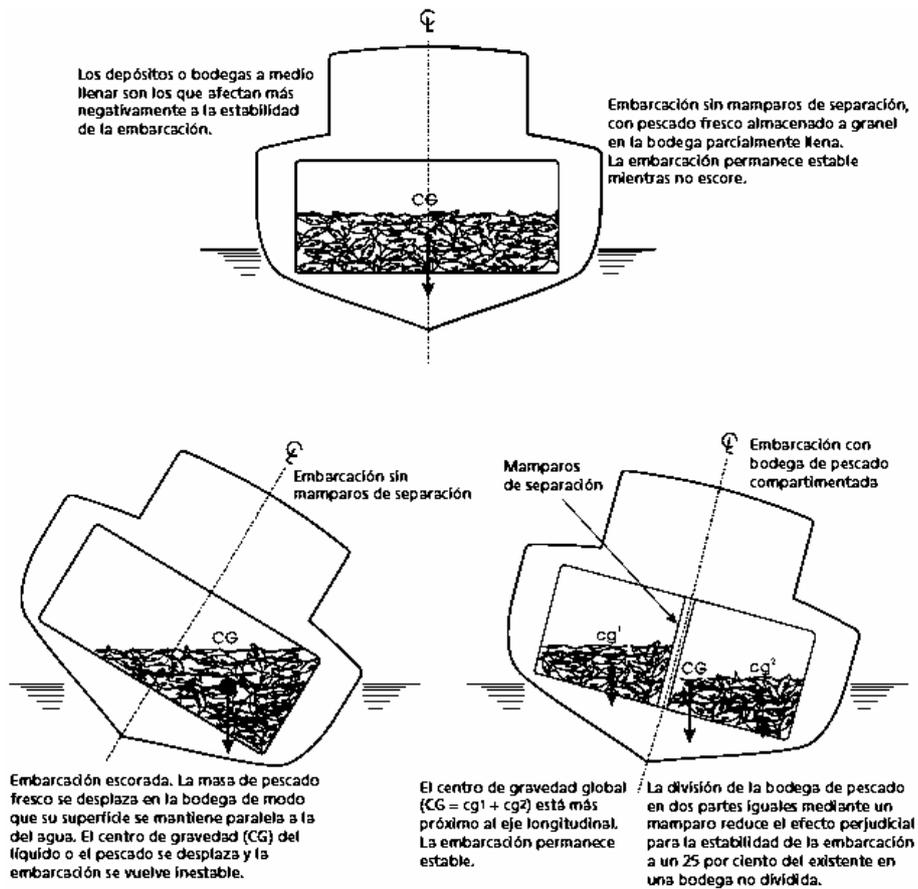


Figura 3.3.- Efecto de superficie libre: depósitos de carga medio llenos y bodegas con y sin mamparas longitudinales

Visibilidad del mar:

En condiciones de lastre ligero, la mayoría de los casos indican una vista insuficiente de la superficie del mar a proa del buque desde la posición de gobierno.

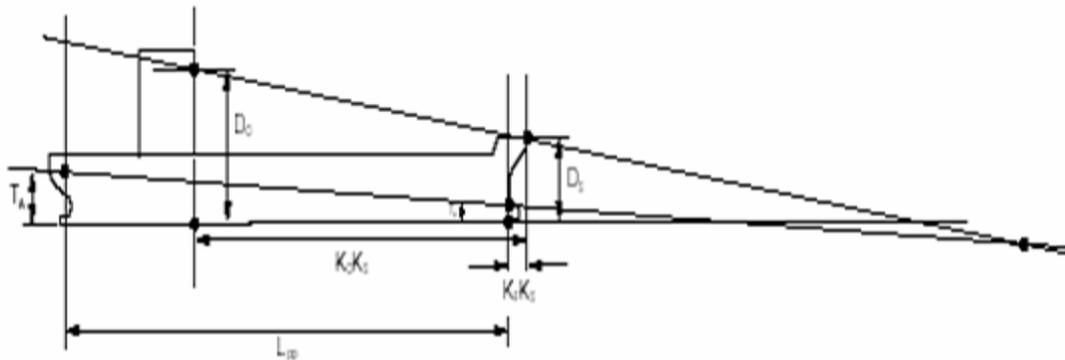


Figura 3.4.- Vista de la superficie del mar por delante de proa desde la posición cónica

Mínimo calado a proa:

En la mayoría de los casos el calado a proa resulta menor al valor mínimo necesario, que puede dar lugar a cabezadas de proa en el fondo.

Inmersión de la hélice:

En la mayoría de los casos la hélice pasa por situaciones de emergencia, que puede dar lugar a pérdida temporal de maniobrabilidad y cabezadas a popa.

Cargas dinámicas; Fatiga:

El vaciado y relleno de un tanque de lastre implica un ciclo de carga adicional. Preocupa que el nivel de fatiga admisible en las conexiones finales de los longitudinales se vea reducido debido al aumento del número de ciclos de carga. En localizaciones críticas donde la tensión media cambia a grandes tensiones, la vida de la fatiga se verá reducida. Este apartado necesitará ser investigado con mayor profundidad en futuros estudios.

Cargas dinámicas; Sloshing:

Respecto a este fenómeno que se produce en tanques de lastre parcialmente llenos, en petroleros de casco sencillo, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

Los llenados parciales deben evitarse, a menos que los tanques estén diseñados para niveles de llenado sin restricciones por la condición de lastre que se esté tratando. De esta manera, a menos que se trate de tanques de este tipo, debe requerirse una investigación de este fenómeno.

Los tanques parcialmente llenos de doble revestimiento no deberían dar origen a preocupaciones de bailoteo. Así, aunque los análisis indiquen que el fenómeno puede ocurrir, se podrán necesitar más análisis adicionales para determinar la capacidad estructural, que puede ser suficiente para resistir las cargas máximas de bailoteo.

Donde los tanques sean trapezoidales en plano, como los tanques de piques de proa o popa, diversas pruebas han demostrado que cuando se produce cabeceo, la presión dinámica en la parte estrecha del mamparo de colisión puede ser mucho mayor al compararla con un tanque de sección uniforme. Los mamparos de balance, que representan más del 85% del área transversal del tanque, pueden ser utilizados como barreras efectivas frente al sloshing.

Donde dos o tres cuadernas, o componentes transversales se fijan en lugar de un mamparo de balance, la presión en el mamparo estanco disminuye a alrededor del 80% de la presión dinámica obtenida sin cuadernas u otros elementos transversales. Esta presión no disminuirá más aunque se siga aumentando el número de cuadernas o demás elementos transversales.

Operaciones para mitigar riesgos en un Método Secuencial

Donde se utilice el método secuencial y los criterios no sean alcanzables para todos los espacios, se puede considerar la adopción de uno o una combinación de las siguientes opciones:

Método diagonal secuencial

Se puede deducir que dicho método reduce los momentos flectores y esfuerzos cortantes a niveles permisibles. Un simultáneo vaciado y rellenado de tanques diagonales en

equilibrio exacto controla mejor la escora. Puede inducir a un par torsor a lo largo de la eslora de apoyo, que puede ser minimizado con tal que los tanques seleccionados estén relativamente cercanos entre sí, así como la proa tan cerca como sea posible de la línea de mar.

Método flujo continuo

Aunque haya riesgos y desventajas con este método, que veremos en su apartado, se puede tener en cuenta para tanques que fallen para el método secuencial. A menos que se especifiquen límites operativos, se puede deducir que este método podría necesitarse para: bodegas de lastre en cargueros con condiciones de lastre pesado, tolvas de cargueros con condiciones de lastre ligero, tanques de lastre para petroleros de casco sencillo, o piques de proa y popa de cargueros y petroleros.

Por otra parte, cuando se utiliza este método los tanques de lastre están permanentemente interconectados, así que se podría aplicar a todos aquellos que tengan los tanques conectados entre sí.

Entorno operativo

Respecto a las condiciones dadas para el intercambio de lastre secuencial, que son aprobadas en base a “tiempo en calma” o “mar en calma”, se evidencia que no es práctico para la mayoría de los operarios. Y es que hay que especificar que la Organización Meteorológica Mundial (WMO) define mar en calma a aquella donde el rango de una ola significativa es de 0-0,1m. Éstas se encuentran muy raramente en aguas profundas de mar abierto y deja un margen pequeño para las operaciones llevadas a cabo con efectividad y seguridad.

Por otra parte, en OMI MEPC 44/4 (siglas que desarrollaremos en el capítulo de reglamentaciones) se hace referencia a los valores permisibles asignados al balance de agua para unos determinados momentos flectores y esfuerzos cortantes. Así, para poder satisfacer estos criterios muchas de las nuevas secuencias de tanques parcialmente llenos necesitarían introducirse en el plan de intercambio de lastre. Esto implicaría que el capitán tuviera que asegurar varios niveles de llenado, controlándolos muy de cerca y

nunca excediéndolos. Tal plan puede añadir mucha tensión al personal del barco y, por lo tanto, llegar a un punto de indecisiones potencialmente peligrosas respecto a cuestiones prácticas y de seguridad.

La solución a estos problemas puede llegar con una buena gestión de riesgos, permitiendo periodos amplios donde los niveles de resistencia longitudinal, bailoteo del líquido, cabeceos de proa y de inercia del lastre sean puestos a prueba, llegándolos a exceder en cortos periodos, para que el barco pueda ser maniobrado dentro de unos límites operativos aceptables y bien definidos.

Donde la resistencia y/o el asiento no satisfagan los límites se podrán definir en la amplitud del tiempo de respuesta de los operadores. La degradación estructural, si se diera, se puede ver también reflejada al sobrepasar en mayor o menor medida los límites operativos.

Teniendo en cuenta la forma del casco de un buque y la distribución de su peso, se pueden realizar cálculos directos para el tipo de respuesta a olas regulares, por teoría de bandas, y con respuesta corta a olas irregulares, usando el concepto del espectro de mar. Consecuentemente se puede desarrollar analíticamente una solución, en el mencionado formato de tarjeta límite operativa, la cual vendría definida en términos de altura de ola significativa permisible y/o altura de ola observada, velocidad, impulso, duración de la operación y probabilidad de excederse del límite específico. La combinación de ciertas tarjetas límite darían lugar finalmente al entorno operativo del buque.

Se entiende que esta aproximación puede ser laboriosa por cada paso que hay que dar en un intercambio secuencial. Lloyd's Register ha desarrollado al respecto un programa de análisis de mantenimiento a bordo para una continuidad de respuestas adecuadas a diferentes entornos operativos, respecto a buques específicos o genéricos. Para los segundos están actualmente en desarrollo, en la segunda parte del estudio de esta Sociedad de Clasificación.

El entorno operativo es una solución basada como hemos visto en aproximaciones, gestionando riesgos, y en una autorregulación. Donde los límites operativos hayan sido

definidos para condiciones específicas de cambio de lastre, éstos requerirían ser añadidos durante la operación.

Modificaciones

Son necesarias en la estructura y/o en los sistemas auxiliares. Es esencial si se elige la opción de los métodos de flujo continuo. La primera recomendación respecto a la estructura sería por ejemplo que las conexiones de entrada y salida de la línea de tuberías estén localizadas lo más separadas posible las unas de las otras.

El doble fondo y los piques necesitan un trabajo de tuberías adicional para mejorar las condiciones de flujo.

El área total de las tuberías de descarga de lastre en cubierta no debe ser menor a dos veces el área de las tuberías de succión/llenado. Una de las tuberías de descarga de lastre (opuestas a la tubería de succión/llenado) debe tener mayor diámetro que la otra tubería de descarga. Por ejemplo para una tubería de succión de $\varnothing=250\text{mm}$, se fijan tuberías de descarga de 300mm y otra de 200mm.

Las tuberías de aire se instalan para permitir al aire la entrada, o salida de un tanque, durante las operaciones de lastre, y son normalmente del tipo de disco plano o flotador esférico. No están fabricados en principio para soportar grandes descargas de lastre, como resulta por ejemplo de la continua circulación de lastre que experimentan los sistemas de flujo continuo. Por eso se recomiendan las salidas de aire con dispositivos de cierre automático. Se debe observar que cuando la parte alta de los tanques laterales y las tolvas no están interconectadas, se tiene que llegar a modificar sus escantillones llevando la descarga de ambos a la parte alta o a la mitad de la distancia de la parte alta de desbordamiento, la que resulte mayor.

Como sabemos, con este método los tanques se rellenan hasta que el lastre rebosa. Lo que ocurre justo después es la caída inmediata de la presión del agua, debido al aire encerrado, que reducirá el nivel del agua en las pequeñas tuberías de rebose. Sin embargo este método mantendrá una presión alta y constante durante los largos periodos que se necesitan para completar la operación. Por eso con sistemas de flujo continuo

donde no haya conexiones entre la parte alta de los tanques de lastre y las tolvas, los escantillones de la estructura límite de cada tanque deben verificarse usando como modelo aquel tanque que sea equivalente a la distancia total de la parte alta de rebose. Así pues será tan importante una buena interconexión del conjunto de tanques de lastre como aumentar los escantillones, debido a la considerable y constante presión del agua.

Mientras que el daño a un buque por sobre-presión de tanques parece obvio, a veces no se tiene en cuenta que en los sistemas secuenciales la baja-presión puede, en algunos casos, dar lugar a daños más severos. Ésta se crea debido a una gran caída de presión debido al rápido cambio en el contenido del tanque. Por ejemplo, es normal en cargueros realizar la descarga por gravedad de la parte alta del lastre por encima de la línea de carga, a través de una válvula fueraborda, que da lugar al aumento de un alto vacío potencial, debido a la alta velocidad de descarga.

La solución al problema va más allá de las tuberías de aire, ya que con la única ayuda de éstas no es suficiente, no tiene la capacidad para soportar grandes cambios de presión, que es lo que ocurre en las descargas por gravedad. Así que a menos que se usen ventiladores, o las escotillas de la parte alta de los tanques laterales se mantengan abiertas antes de la descarga, pueden darse entonces daños serios. Para estos sistemas, el incremento en la frecuencia de descargas parciales de lastre por gravedad aumenta la probabilidad de daños por incidentes como el que se muestra continuación.



Figura 3.5.- Resultado del daño provocado por el vacío en una bodega de lastre

Por otra parte, al realizarse este tipo de operaciones en mar abierto hace que el efecto sea más indeseable.

Los tanques o bodegas de lastre suelen estar provistos normalmente de adecuados ventiladores, los cuales aseguran que la bodega no se someta a una excesiva presión o a vacío. Para sistemas secuenciales se recomienda a su vez que estas bodegas y grandes tanques de lastre en general se equipen con válvulas de presión/vacío, las cuales necesitarán mantenerse en buen estado, ya que una válvula bloqueada puede provocar daños en la escotilla.

En aquellos sistemas secuenciales donde se especifiquen límites operativos se fijarán al menos dos bombas independientes. Deben estar dispuestas de tal forma que, si una de ellas falla, entre inmediatamente en servicio la que se encuentra en stand-by, dispuesta para continuar la operación. La mayoría de los buques están equipados con dos servicios exclusivos de bombas, y por eso esta recomendación no suele implicar variaciones de diseño en casi ningún buque en servicio.

Para grandes buques de pasaje el método secuencial no debería plantear problema alguno, ya que dichos buques tienen normalmente limitada la capacidad de lastre, que se utiliza para compensar a su vez el uso de consumibles, así que retienen el lastre a bordo y lo redistribuyen internamente, o bien realizan el intercambio durante o al final del viaje de vuelta, si la navegación se realiza fuera de la zona económica exclusiva (EEZ).

Por otra parte se han llegado a instalar zonas de recepción de lastre, como las citadas en anteriores apartados, aunque como ya hemos apuntado sin mucha difusión.

Tratamiento

Se podría seleccionar en principio cualquier sistema de tratamiento aceptable por las Administraciones. Sin embargo, lo que se considera un método viable no ha sido todavía definido globalmente por dichos estamentos. Por eso, sin un criterio específico internacional, lo que es aceptable para unos puede no serlo para otros, ahora o en el futuro.

Hemos visto cómo nos está afectando el problema de las invasiones de microorganismos en todo el mundo, y consecuentemente cómo se está tratando a nivel internacional. Pero definir el enemigo no debe ser el único problema que se debe abordar. Los sistemas de tratamiento, antes de ser aceptados como parte del equipamiento estándar de un buque, necesita probar su efectividad con enemigos concretos, como por ejemplo asegurar que éstos no supongan una amenaza tras el tratamiento.

El Grupo de Guarda Costas de los Estados Unidos (USCG) ven métodos de tratamiento capaces de alcanzar un 100% de efectividad. Por el momento consideran como medida a medio-largo plazo el uso del intercambio como única herramienta provisional, hasta que llegue el momento en que se identifique y se estandarice una tecnología de tratamiento adecuada.

Método de Flujo Continuo

Se define cuando agua de mar abierto es bombeada en los tanques de lastre, llegando ésta a inundarlos, provocando así una sustitución del lastre mediante el desplazamiento, posterior rebose, y consiguiente dilución del lastre original. Así, a través de un continuo rebose en los tanques de lastre, el agua de mar es intercambiada regularmente y consecuentemente renovada durante el viaje.

Se ha confirmado que tal método puede ser efectivo sólo si el agua bombeada es igual a varias veces el volumen del tanque. Varias demostraciones empíricas con este método indican que entre un 95-98% de agua llega a ser realmente intercambiada tras un bombeo de entrada de agua equivalente a 3-4 veces el volumen de tanques respectivamente, asumiendo perfectas condiciones de mezclado entre el lastre que entra con el que estaba originalmente. Como hemos mencionado en la introducción de estos procesos, para poder llegar con ciertas garantías al porcentaje requerido de intercambio debe existir un flujo adecuado en todas las áreas del tanque, es decir, sin zonas de estancamiento. Por lo tanto, se necesita una distribución de red de tuberías que asegure un flujo razonable dentro del tanque. Se estima que un reajuste de la línea de tuberías por este motivo puede llegar a suponer un coste considerable, especialmente para buques ya construidos. Por otra parte podría ser comparable a los costes de instalación de un futuro sistema de lastre.

En aquellos casos donde, al principio de la operación, un tanque está solamente lleno parcialmente con lastre de riesgo potencial, o se quiere dejar el tanque parcialmente lleno al final de la operación, se debe bombear primero hasta el mencionado 300% de su capacidad total, para cumplir con la normativa y obtener un efectivo intercambio volumétrico. Este porcentaje se mide desde el momento que el agua comienza a fluir dentro del tanque, provocando que éste empiece a rebosar. En el caso del tanque que no esté completamente lleno al comienzo de la operación, este porcentaje empezará a ser medido desde el justo momento en que las bombas son conectadas. Se debe verificar que estos intercambios se han llevado a cabo de acuerdo con normativas que vayan a regular este tipo de operaciones. Para ello se irán anotando convenientemente todos los pasos que se hayan seguido en el barco para la operación de intercambio.

Algunas configuraciones de tanques, tales como el doble fondo o los piques, pueden ser difíciles de bombear, y requerirían una mejora del sistema de tuberías para asegurar la mezcla. Así pues, con este método se deben recalibrar bombas, debido al aumento de la resistencia y de la carga de trabajo, montaje de nuevos sistemas de bombeo y tubería, conducciones alternativas de sobre-presión para evitar posibles daños estructurales o por las posibles heladas en cubierta a temperaturas bajo cero.



Figura 3.6.- Tripulación trabajando en cubierta en condiciones extremas del buque

Para llevar a cabo un proceso de flujo continuo se deben prestar atención a los pasos siguientes:

Los tanques deben ser bombeados uno cada vez, o en parejas similares. Por ejemplo en el caso de una pareja de tanques de doble fondo, como sería el No1 de babor y el No1 de estribor (DBT 1P con DBT 1S), se pueden bombear simultáneamente usando la misma bomba. Pero no serían aceptables parejas del tipo DBT 1P con DBT 2S, para que fueran bombeadas juntas. No se puede tener pleno control, respecto a velocidad o temporización de bombeo con una bomba que deba encargarse a la vez de espacios distintos, y por tanto con volúmenes distintos en su interior.

Estimando la cantidad de agua bombeada a través de cada tanque tendremos a su vez la estimación de velocidad de entrega de las bombas de lastre y del tiempo de funcionamiento de las mismas. Ya que las bombas no entregan su capacidad total debido al desgaste y rozamientos tanto en las mismas bombas como en la línea de tuberías, se debe asegurar que la velocidad alcanzada en los cálculos hechos para el intercambio es la misma que se ha ido utilizando en las operaciones recientes de intercambio. Las velocidades de entrega actualizadas se deben determinar mediante la observación del tiempo que se tarda en bombear una cantidad conocida de agua, temporizando el periodo desde que la bomba empieza a llenar un tanque vacío hasta que lo hace rebosar. Este método asegura que muchos de los peligros asociados al sistema secuencial sean descartados o lleguen a ser de menor importancia. La mayor parte del tiempo los tanques de lastre están llenos, para reducir así los efectos de superficies libres, y permanecen llenos durante todo el proceso. Sólo con esto ya sería suficiente por ejemplo para evitar los riesgos respecto a la resistencia estructural y la navegabilidad, relacionados con el anterior sistema.

Por otra parte las válvulas de ventilación de rebose y no-retorno existentes en cubierta no fueron diseñadas en principio para el flujo continuo. Además, en el caso de un mal funcionamiento de la válvula, la sobre-presión dentro del tanque llega a ser un peligro considerable, especialmente con la disminución de la resistencia a nivel local en puntos concretos de barcos antiguos. Por lo tanto no deben sobrepasarse las presiones de las especificaciones de diseño en el interior de los tanques cuando se use este método.

La operatividad y el mantenimiento, teniendo por ejemplo la cubierta principal inundada, no es definitivamente el mejor entorno para los equipos de cubierta, ni para la gente que trabaja en cubierta. Por eso este método no sería recomendable si el sistema de tuberías para el lastre no ha sido diseñado para trabajar de esta manera, si no se le ha aplicado el necesario reforzamiento, o finalmente si afectara a la rutina diaria de trabajo en cubierta.



Figura 3.7.- Momento del rebose del agua de lastre en un proceso de flujo continuo

Posibles soluciones a los diferentes impactos que producen los Procesos de Intercambio en el diseño del buque y en sus características

Opciones a los inconvenientes del Método Secuencial

Mientras que los riesgos operativos han sido muchas veces discutidos, sólo ha sido recientemente cuando se ha presentado el impacto de los métodos de intercambio en el diseño y características del buque. A continuación se proporciona una selección de opciones para varios ejemplos:

- 1.- Encontrar una nueva secuencia
- 2.- Definir un estado de la mar aceptable o desarrollar un entorno operativo
- 3.- Reforzar la estructura
- 4.- Implementar el método de flujo continuo
- 5.- Rediseñar
- 6.- Instalar un equipo de CCTV a proa, aceptable por la Administración de bandera

Donde los criterios de resistencia global y local no se satisfagan, se puede disponer de las siguientes opciones, o de una combinación de éstas:

(1.-); (2.-); (3.-); (4.-); (5.-).

De la misma manera, donde los criterios de estabilidad intacta no se satisfagan se podría proceder a la siguiente selección:

(1.-); (4.-); (5.-)

Donde la inmersión de la hélice no fuera suficiente:

(1.-); (4.-); (5.-)

Donde la visibilidad hacia proa en el puente no fuera tampoco suficiente:

(1.-); (4.-); (5.-); (6.-)

En estos sistemas, donde se especifiquen límites operativos, se deben instalar al menos dos bombas independientes, dejando una en stand-by, para que entre inmediatamente a estar disponible y operativa en caso de que la otra falle. Como ya sabemos la mayoría de

los barcos están equipados con dos servicios de bombas exclusivos, y por eso esta recomendación no debería implicar rectificaciones de diseño en la mayoría de los barcos en servicio.

Las bodegas de lastre y grandes tanques de lastre se deben equipar con válvulas de presión/vacío, para mitigar el riesgo de grandes caídas de presión, debido al rápido cambio en los contenidos del tanque durante la descarga del lastre por gravedad. Estas válvulas, al fijarlas, necesitan ser mantenidas en buenas condiciones operativas, ya que si alguna se atascara podría dar lugar a daños en la cubierta de escotilla.

Donde al final de la secuencia un tanque se quede parcialmente lleno, se deben calcular las condiciones al $\pm 10\%$ de nivel de llenado parcial, ya que en la práctica es complicado igualar los niveles de llenado parcial especificados en teoría, debido a los movimientos que siempre experimenta el buque.

Las secuencias se deben desarrollar observando que los resultados de resistencia longitudinal no excedan el 85% de los valores permitidos, para tener en cuenta las pequeñas desviaciones en servicio, para que tanto el capitán como el oficial encargado de la gestión del lastre puedan estar seguros al seguir las secuencias propuestas.

El pique de proa se debe disponer con un mamparo de balance central, una estructura en anillo, o un conjunto de estructuras en anillo horizontales, para disminuir el riesgo de bailoteo del líquido.

Opciones a los inconvenientes del Método de Flujo Continuo

Para graneleros donde las tolvas no estén interconectadas por diseño con los tanques laterales del buque, éstas no deberán ser intercambiadas con este método, a menos que se ponga a prueba la estructura límite de los tanques y los resultados sean satisfactorios o se lleven a cabo los necesarios reforzamientos estructurales.

Dependiendo de las rutas comerciales previstas, se debe considerar un consumo de combustible adicional, y posibles nuevas ramificaciones en el diseño de los tanques de combustible.

Como en el caso secuencial el área total de la sección de tuberías de descarga de lastre no debe ser menos que dos veces el de la tubería de llenado, para disminuir el riesgo de sobre-presión.

Las tuberías de aire de los tanques de lastre están diseñadas para permitir la entrada o salida de aire, durante las operaciones de lastre, y normalmente son de tipo disco o esfera flotante. Pero no están capacitadas para el manejo a gran escala de descargas de lastre, como sucede en estos sistemas donde el bombeo de lastre es continuo.

Debe trabajarse con un diseño que mejore estos dispositivos, donde se combinen las salidas de aire y lastre sin que se estorben.

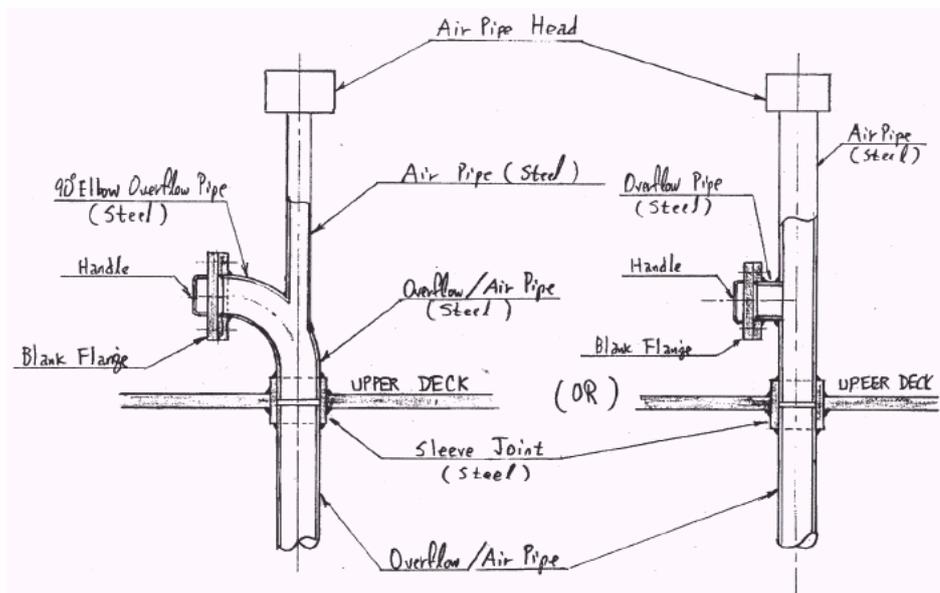


Figura 3.8.- Diseño de tubos de salida combinados de aire/lastre para tanques de doble fondo

De esta manera el lastre no debe ser descargado por tuberías de aire con aplicaciones de cierre flotantes, a menos que se fije una brida ciega a corta distancia bajo la salida de aire, que se pueda quitar durante la operación de flujo continuo.

Los registros de hombre en cubierta no se deben usar como descarga por rebose, a menos que se fije una brida ciega con asiento de obturador a la tapa del registro, tal que se le pueda conectar un tubo desmontable de plástico, con codo de 90°, para la operación de flujo continuo.

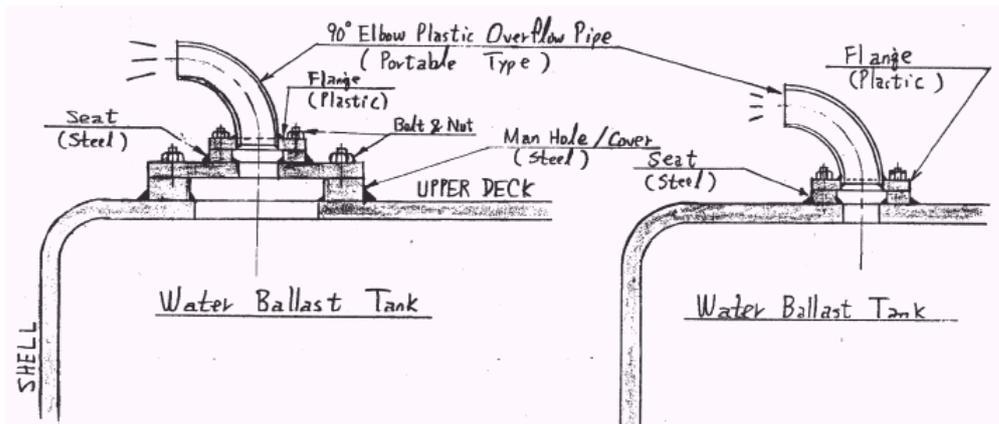


Figura 3.9.- Diseño de tubos de plástico desmontables para el rebose, en la tapa de registro de hombre y en cubierta para los tanques laterales superiores o tanques profundos

Para graneleros, donde las tuberías de rebose se fijan a las brazolas de escotilla, se recomienda fijarlas al lado de la brazola con un disco de cierre con bisagra, y dispuesto para una descarga descendente. Para evitar agua en cubierta, se pueden considerar tuberías desmontables tipo FRP como parte de los componentes para la gestión del agua de lastre.

Para mejorar la circulación, repetimos el concepto en flujo continuo respecto a que las conexiones para la entrada y salida del sistema de tuberías deben estar localizadas tan separadas entre sí como sea factible. Las tuberías mayores de descarga se deben colocar en las posiciones más alejadas de las de llenado y las menores de descarga en posiciones más cercanas a las de llenado. El doble fondo y los piques necesitarían un trabajo adicional de tuberías, si se considera necesario.

Como contrapunto a los destinatarios de las anteriores recomendaciones nos encontraríamos con los buques contenedores por ejemplo, que raramente operan en

condiciones de sólo lastre, ya que pueden ser descargados y cargados en cada puerto. Los sistemas de lastre deben ser desarrollados para permitir una fácil asignación de la carga durante el viaje y acomodar con seguridad cambios en la distribución de la carga, así como de los consumibles. El mismo enfoque se puede tener con los buques de pasaje, que como sabemos tienen limitado el lastre a bordo y lo redistribuyen internamente o lo intercambian durante o al final del viaje de vuelta.

Pruebas de intercambio en petroleros

Petroleros de casco sencillo

En la evaluación de este tipo de buques se usaron ambos métodos de intercambio. Los diseños de los tres petroleros a prueba incorporaban un plan de lastrado de tanque segregado Marpol 73/78, con el lastre localizado en tanques laterales alternados. A continuación se citan las claves que se desprenden del análisis en la gestión del agua de lastre. El método secuencial en estos buques resulta ser un problema, ya que debido al número mínimo de tanques de lastre y su distribución es difícil mantener calados a proa y popa, satisfaciendo a su vez el criterio de resistencia longitudinal. La mayoría de las operaciones de intercambio son adecuadas solamente para condiciones de tiempo favorable. Para estos buques el método de flujo continuo es una alternativa más conveniente para el intercambio. Las operaciones tienden a ser complejas, con un 50% más de pasos que el número de tanques de lastre. En comparación, el número de pasos en el intercambio generalmente no excede del número de tanques de lastre para los de doble casco.

Intercambio secuencial

Como estos petroleros tienen unas cantidades de volumen de lastre similares a la de los de doble casco del mismo tamaño, carecen de flexibilidad en el intercambio porque el lastre está concentrado en un pequeño número de tanques laterales relativamente grandes. La capacidad para controlar el asiento del barco, calados y resistencia estructural durante el proceso de intercambio es limitada.

En todas las operaciones estudiadas los tanques laterales a proa y popa diagonalmente opuestos se vaciaron en pareja (ej. N° 2S y N° 4P). Este es un método general para operaciones con estos buques, que ayuda a mantener un calado a proa razonable,

reducir las marcas máximas, asiento y momento flector, así como maximizar la visibilidad del puente.

Petroleros de casco sencillo		Tiempo para el intercambio secuencial (horas)	Tiempo adicional de lastrado al calado original (horas)
Tipo	Condición de lastre		
35.000TPM	Lastre Normal	15	3
Suezmax	Lastre Normal	29	9
	Lastre Pesado	40	10
VLCC	Lastre Normal	41	9

Figura 3.9.- Tiempo total empleado en el intercambio secuencial

La tendencia general observada cuando se desarrollan las operaciones de intercambio para petroleros de casco sencillo es que:

El calado a proa llega a ser muy pequeño. Debido a ello, los grandes tanques de lastre sobre el calado de proa se suelen reducir a más del 50% durante la operación.

El asiento puede llegar a ser bastante alto. Sin embargo, los grandes trimados no son la mayor preocupación, ya que ocurren cuando el buque se encuentra con una profundidad de agua bajo su casco mucho más que suficiente.

La inmersión de la hélice puede ser difícil de mantener.

Para muchos buques, los tanques laterales a proa y popa no tienen idénticas capacidades. Para prevenir un excesivo error de escora, los tanques laterales más grandes deben vaciarse juntos al inicio.

Los momentos flectores se aproximan al máximo permitido durante la operación.

La visibilidad del puente es a menudo insuficiente para las operaciones, debido al alto nivel de asiento a popa. Sin embargo, esto ocurre en mar abierto, donde el riesgo de colisión es menos significativo.

Es difícil satisfacer los criterios de tiempos con este método y estos buques. El flujo continuo sería una alternativa más adecuada para el intercambio.

Intercambio de flujo continuo

Para estos buques este es un método más atractivo que el secuencial que elimina preocupaciones relacionadas con los calados a proa y popa poco profundos, y con los asientos extremos. Mientras que lleva más tiempo ejecutarlo, hay menos “tiempo de atención total” que con el anterior método, especialmente cuando se inundan los grupos de tanques simultáneamente. El tiempo total empleado en el proceso de intercambio de lastre, cuando se desarrollan las operaciones en parejas de tanques, es el siguiente:

Petroleros de casco sencillo	Volumen de los tanques de lastre (m³)	Tiempo para el intercambio de flujo continuo (horas)
Tipo		
35.000TPM	12.900	21
Suezmax	64.100	29
VLCC de casco sencillo	97.800	47

Figura 3.10.- Tiempo total empleado en el intercambio de flujo continuo

Ejemplo de un proceso de intercambio secuencial para un petrolero de casco simple Suezmax

Para poder ilustrar la complejidad de un proceso secuencial veremos a continuación la descripción de uno de ellos aplicado a un petrolero de 152.000 TPM (M-78) con 11 tanques de carga (5 centrales y 3 pares de tanques laterales), y 6 tanques de lastre (pique de proa, 2 parejas de tanques laterales y pique de popa), como se muestra en la figura de a continuación. Se revisaron para este buque dos condiciones iniciales de lastre, normal y pesado, con una bomba de lastre de 3500 m³/h.

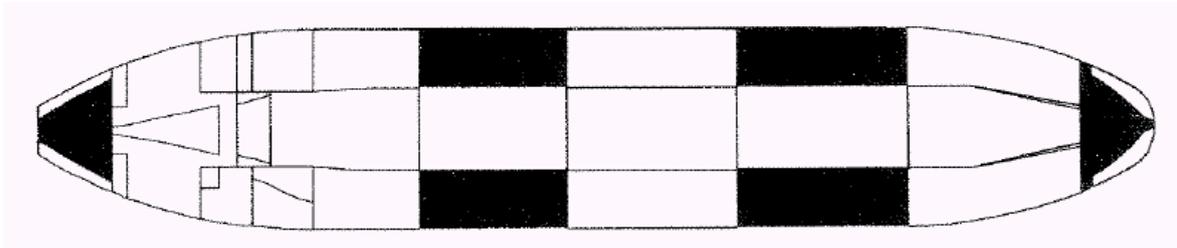


Figura 3.11.- Tanques de lastre en un petrolero tipo Suezmax

Disposición general y disposición de tanques

Veamos con mayor detalle una secuencia normal. Durante la operación se realizan normalmente 8 pasos y 12 movimientos de lastre en este tipo de buque, que necesitan 29,3 h para completarse. El calado a proa debe mantenerse tan profundo como sea posible, sin embargo la operación llega a un calado de 2,46m, muy por debajo del valor tope. Como hay solamente 6 tanques de lastre hay poca flexibilidad en cómo la operación se lleva a cabo.

El pique de proa se llena parcialmente mientras el N° 2S y el N° 4S deslastran. Se hace para mantener la mayor profundidad posible en calado a proa y que quede el momento flector por debajo del máximo permitido. Para minimizar el error de escora, los tanques N° 2 se descargan hasta llegar al nivel de los N° 4. La operación se realiza y entonces los tanques N° 2 se vuelven a rellenar al 100% de su capacidad.

Los valores límite son excedidos en el calado a proa, en el asiento, y en la visibilidad en puente de la zona muerta. El calado mínimo a proa de 2,46m cae muy por debajo del valor tope, incrementando la probabilidad de cabeceo en mal tiempo. Además, el valor tope de calado a popa no se satisface durante una parte significativa del proceso de intercambio. El asiento máximo de 5,08m es preocupante, y da lugar a problemas con la visibilidad de la zona muerta en puente.

Petroleros de doble casco

Se evaluaron 5 petroleros de doble casco usando ambos métodos. Sus diseños incorporaban una disposición de volumen típica de petroleros modernos, con dos tanques de lado a lado en los tamaños Panamax y Suezmax, y 3 en los VLCC.

La mayoría de los tanques de lastre eran del tipo L, aunque uno de los Suezmax y el VLCC tenían los tanques en U. A continuación vemos las claves que se desprenden del análisis en el tratamiento de agua de lastre para estos buques:

Los buques con tanques de lastre relativamente pequeños pero en gran número de ellos, y con alta capacidad de lastre agregado, y/o márgenes de resistencia longitudinal estructural suficiente respecto al mínimo requerido tienen en general más opciones cuando se opta por el intercambio secuencial. Por otra parte, la visibilidad en puente no es con frecuencia suficiente durante las operaciones, debido al alto nivel de asiento a popa. Por otra parte los tanques en U pueden presentar problemas cuando se desarrolla la opción secuencial. Aun así la disposición de lastre para petroleros de doble casco proporciona mayor flexibilidad para el intercambio secuencial que los de casco sencillo.

Intercambio Secuencial

Petroleros de doble casco		Tiempo para el intercambio secuencial (horas)	Tiempo adicional de lastrado al calado original (horas)
Tipo	Condición de lastre		
35.000TPM	Lastre Ligero	18	2
	Lastre Normal	18	5
	Lastre Pesado	19	2
Suezmax (A)	Lastre Normal	9	4
	Lastre Pesado	9	1
Suezmax (B)	Lastre Ligero	9	1
	Lastre Normal	9	4
Suezmax (C)	Lastre Ligero	15	N/A
	Lastre Pesado	26	4
VLCC	Lastre Ligero	29	N/A
	Lastre Pesado	30	N/A

Figura 3.12.- Tiempo total empleado en el proceso de intercambio secuencial

El resultado del análisis del intercambio secuencial para estos petroleros es:

Como sabemos la visibilidad en puente no es en ocasiones suficiente, debido al asiento excesivo a popa, pero sin embargo es importante destacar que esto ocurre en mar abierto, donde el riesgo de colisión es menos significativo. El grado por el cual un buque es adecuado para el intercambio de lastre secuencial es muy dependiente del diseño del mismo. Dos de los buques estudiados desarrollaron unas operaciones muy eficientes, mientras que los otros tres requirieron de operaciones más complejas. Algunas de las características de diseño que influyeron en las operaciones fueron:

De forma positiva:

Los buques con grandes volúmenes de lastre agregado (más allá del mínimo requerido por la OMI), y un número relativamente grande de tanques de lastre (por ej. 6*2 en vez de 5*2) proporcionan gran flexibilidad para el intercambio secuencial, eficiencia que no implica necesariamente una menor cantidad de tiempo.

Los tanques de lastre más pequeños localizados al final del bloque de carga pueden ayudar a un desarrollo eficiente de las operaciones de intercambio. Además, los momentos flectores típicos se aproximan a los valores permitidos cuando los grandes tanques centrales del buque se encuentran vacíos. Y en buques más pequeños, pequeñas diferencias en los consumibles pueden tener un efecto significativo en las condiciones de carga, y en la decisión de la operación más adecuada de intercambio en cada caso.

Otros factores, tales como mantener al buque dentro de los baremos, asiento, resistencia y límites de estabilidad determinarían la operación más conveniente en cada caso. Finalmente este tipo de intercambio se facilita en diseños donde hay unos márgenes suficientes de resistencia estructural, más allá de los requerimientos exigibles.

De forma negativa:

En determinados diseños el uso de los piques de proa y popa darían lugar a grandes momentos flectores, haciendo que sea inusual utilizarlos en el planning de operaciones de lastre. Los tanques en U son en este tipo de intercambio donde presentan problemas, particularmente la disposición típica de los buques VLCC con 5 tanques de lastre a lo largo de su eslora. Este tipo de tanque excluye la opción de un intercambio de lastre diagonal que controle de forma cómoda el momento flector y el asiento. Además debemos añadir que en diseños donde hay una variación significativa en las capacidades de los tanques de lastre a proa respecto a los de popa, cuando se desarrolla el intercambio diagonal, la escora puede llegar a ser excesiva.

Intercambio de flujo continuo

En algunos casos específicos este tipo de intercambio puede ser más adecuado que el secuencial para este tipo de buques. Usando este método se eliminan, como ya sabemos, las preocupaciones de calados poco profundos a proa y popa, y los asientos extremos. Mientras que por una parte necesita de más tiempo para poder ser llevado a cabo, hay sin embargo menos del mencionado “tiempo total de atención” que en el caso secuencial, especialmente cuando se trabaja con grupos de tanques.

El tiempo total empleado en el proceso, cuando las operaciones se desarrollan en grupos de tanques es el siguiente:

Petroleros de doble casco	Volumen de los tanques de lastre (m³)	Tiempo para el intercambio de flujo continuo (horas)
Tipo		
40.900TPM	12.900	32
Suezmax (A)	55.000	27
Suezmax (B)	60.900	32
Suezmax (C)	74.400	46
VLCC	105.000	44

Figura 3.12.- Tiempo total empleado en el proceso de intercambio de flujo continuo

Las claves que se desprenden del análisis de este tipo de intercambio son:

Aplicando este método no se altera ni la estabilidad, ni cualquier tipo de tensión en la disposición general del barco. Aunque lleve más tiempo el proceso que el secuencial, hay que tener en cuenta esa disminución de tiempo de atención por parte del personal del barco.

Los VLCC de doble casco, con 5 tanques de carga y lastre a lo largo de la eslora, dentro del bloque de carga, se hará difícil el intercambio secuencial. Así que para estos buques el flujo continuo llega a ser la alternativa más adecuada.

Cálculos prácticos en maniobras de Intercambio

Partimos de la base conocida que un intercambio aceptable de lastre tiene que alcanzar al menos un 95% de dilución de lastre de alto riesgo, con agua limpia de mar abierto.

Operaciones de intercambio secuencial

Se debe recopilar un sondeo y el correspondiente volumen del agua residual que quede al final de la fase de vaciado en dichas operaciones. Se deben a su vez almacenar tiempos, datos, localizaciones y métodos usados (gravedad, bombas, combinación de ambos) para vaciar y rellenar todos los tanques que se trabajen con este método.

Ejemplo de cálculo 1

Un buque tiene el pique de proa con una capacidad total de lastre de 2000m³. El capitán del buque quiere llegar a puerto con el pique sólo a la mitad de su capacidad. Aparte de cuánto lastre de alto riesgo haya en el tanque antes del intercambio, el agua del tanque debe ser intercambiada tal que después de rellenar el tanque no haya más de un 5% de lastre de riesgo en la mezcla resultante de este tipo de lastre con el que se introduzca de mar abierto.

Después del bombeo al exterior, es decir, a partir del momento en que se pierde la aspiración en la bomba, se recoge un sondeo del tanque y muestra que solamente

quedan 5m^3 . En esta situación, con tal de que al menos se añada 95m^3 de agua de mar abierto al pique de proa estaríamos todavía dentro del 5% máximo permitido para este tanque (100m^3), y la mezcla resultante sería aceptada para la descarga en aguas estatales. Se seguirá así llenando el tanque hasta los 1000m^3 planeados, y el agua del lastre no precisará de más tratamiento.

Ejemplo de cálculo 2

Un buque tiene en su línea de quilla un tanque de doble fondo bajo la bodega de carga Nº 1 (DBT 1C), con una capacidad total de 6000m^3 . El capitán del buque quiere llegar a puerto con este tanque a un tercio de su capacidad. Tras el vaciado, el sondeo muestra que quedan 250m^3 en el tanque, estando permitidos sólo 100m^3 de lastre original, el 5%. Para alcanzar un 95% de intercambio volumétrico en este tanque, el capitán tiene dos opciones:

Llenar hasta 5000m^3 y entonces vaciar hasta que el nivel requerido de los 2000m^3 se alcance.

Seguir vaciando hasta que queden sólo 100m^3 , antes de volver a rellenarlo hasta los 2000m^3 .

Operaciones de Intercambio mediante Flujo Continuo

En este intercambio de lastre la premisa partía de que lo que representaría un 300% de la capacidad total de cada tanque debe llegar a bombearse con agua de mar abierto. Respecto a la eficiencia de este método hay que recordar también que sólo se pueden bombear simultáneamente pares de tanques similares. Por otra parte el cálculo de las horas de bombeo para alcanzar el 300% de intercambio se debe realizar con la velocidad ya experimentada por bombas de lastre en servicio, mejor que extrapolando el cálculo teórico de la capacidad de bombeo en bombas nuevas con tan sólo las especificaciones dadas por el fabricante, debido a que como ya apuntamos la eficiencia de las bombas normalmente disminuye con el tiempo. Si un tanque inicialmente contiene más de un 5% de su capacidad total de lastre original, se debe bombear el mencionado 300% de su capacidad total para alcanzar el 95% requerido de intercambio volumétrico.

Ejemplos de cálculos de Flujo Continuo

Un buque de 150000 TPM, con 9 bodegas de carga, tiene los siguientes tanques de lastre:

FPT	2000m ³	1000m ³
WBT 1P	3000m ³	lleno
WBT 1S	3000m ³	lleno
WBT 2P	4200m ³	lleno
WBT 2S	4200m ³	lleno
WBT 3P	3000m ³	1200m ³
WBT 3S	3000m ³	lleno
WBT 4P	4200m ³	lleno
WBT 4S	4200m ³	lleno
APT	1200m ³	800m ³
CH #5	21750m ³	20150m ³

El buque, de 10 años, dispone de dos bombas principales de lastre, que cuando el buque estaba nuevo trabajaban cada una a 2500m³/h. El oficial jefe estima en base a su experiencia un caudal en cada una de estas bombas de unos 2000m³/h, y ha temporizado (una vez almacenado los datos) el número de operaciones de llenado/vaciado de lastre para determinar esta velocidad de bombeo.

Ejemplo 1:

El pique de proa contiene inicialmente 1000m³ de lastre original. El capitán quiere hacer el intercambio del contenido del lastre en mar abierto usando este método.

El 300% de la capacidad total del tanque, es decir $3 * 2000\text{m}^3 = 6000\text{m}^3$. Usando solamente una bomba, ésta necesitará 3h para la operación, y con las dos juntas, el tiempo de bombeo se reducirá a la mitad, 90min.

1 bomba → 2000m³/h → 6000m³ en 3h →

300% capacidad total del tanque

2 bombas → 4000m³/h → 6000m³ en 1,5h →

Ejemplo 2:

El capitán quiere utilizar esta vez el método en los tanques WBT 1P,1S,2P y 2S.

Opción aceptable:

Usando ambas bombas juntas, se bombean a la vez WBT 1P y 1S durante 4,5h.

WBT 1P y 1S = 6000m³ → 300% capacidad total = 18000m³

2 * 2000m³/h = 4000m³/h → 18000m³ en 4,5h

Opción inaceptable:

El capitán usa ambas bombas para los tanques WBT 1P y 1S, y para WBT 2P y 2S, simultáneamente durante 21,6h. Las bombas entregan la misma cantidad de agua, pero es imposible predecir cuánta agua recibirá cada tanque si se usara este método, debido a la desigualdad de los tanques.

Conclusiones

La incapacidad de las administraciones para un acuerdo multilateral y para definir claramente métodos aceptables, procedimientos y criterios básicos para el tratamiento de lastre indica que el problema no es fácil de resolver. Sin embargo, esta carencia de decisión a corto plazo puede tener consecuencias considerables a largo plazo, para todas las partes afectadas.

El tratamiento de lastre ideal tiene que ser efectivo, seguro y fácil de usar, y a la vez relativamente barato en su instalación y mantenimiento, con un diseño resistente, capaz de soportar el severo entorno marino. Es decir, esa solución simple o única para prevenir la transferencia de organismos acuáticos dañinos que hasta el día de hoy no se ha llegado a conseguir. La comprensión pues de los riesgos e impactos asociados tanto al

medio ambiente como a los buques se debe considerar como una prioridad imperativa para el deseado desarrollo de soluciones. Es cierto que tales modificaciones son difíciles de implementar en buques ya construidos. Sin embargo, con el diseño correcto durante la fase de construcción, las nuevas construcciones lograrían un alto grado de seguridad medioambiental, siendo así la alternativa de tratamiento más fácil de implementar.

Las Regulaciones deben abarcar un sentido tanto socio-económico como tecno-económico. En el caso del tratamiento de lastre, se han venido reflejando hasta ahora las necesidades de las sociedades que han sido ya golpeadas por la introducción de estos organismos en sus aguas, afectando posteriormente a sus entornos locales. Si la industria continua profundizando en la búsqueda de soluciones aceptables en el sentido tecno-económico las Regulaciones se harán entonces más maduras y razonables.

Por otra parte, los controles estatales de puerto, que vigilan y controlan la implantación de estas Regulaciones, deberían tener en cuenta que en la industria marítima de hoy, las falsas entradas en los libros de registro, las posibles maniobras poco lícitas, etc, no son el resultado de marineros vagos o criminales. Son acciones de gente frustrada, arrinconados por legisladores a un lado y fletadores/representantes/armadores al otro, donde su única forma de sobrevivir es rompiendo las reglas.

La industria está comenzando a buscar soluciones factibles, que sean aceptadas por todos, en particular por las diversas administraciones y operarios. La directriz principal de estos conceptos de diseño debe basarse en la idea por la cual los sistemas que tienen la intención de proteger la vida, la propiedad y el entorno en la industria marítima deben ser diseñados de una forma que así se entienda y se acepte, acostumbrándonos al respeto por el medio, a través de la asimilación, y no por la imposición, sino como parte de un proceso de selección que al final satisfaga las necesidades de las administraciones, sin dejar de ser prácticas y factibles para los operarios.

IV.- Tecnología Ultravioleta

IV.I.- Introducción

Existen medios de desinfección mundialmente utilizados. Entre ellos destacan por ejemplo el cloro, la luz ultravioleta (UV) o el ozono. Las diferentes formas de desinfección con cloro y derivados son las más utilizadas actualmente. Sin embargo, la luz ultravioleta ha avanzado notablemente como medio de desinfección.

La luz UV ha llegado a ser aceptada ampliamente en distintos temas relacionados con la desinfección del agua, potable o residual, como alternativa a la cloración. Una nueva aplicación potencial es el tratamiento de agua de lastre con UV. Pero el contundente y efectivo efecto germicida que produce la luz UV se conoce ya desde hace unos 100 años. Fue cuando los científicos identificaron por primera vez la parte del espectro electromagnético responsable del efecto bactericida de la luz solar. El primer uso de desinfección con UV a gran escala fue en 1910, para un sistema de tratamiento de aguas residuales en Marsella, Francia. La invención de tubos de neón en los años 40 trajo consigo una modalidad más práctica de la luz UV, la lámpara de baja presión de vapor de mercurio. Así empezó a tener lugar en EEUU un número ya significativo de instalaciones con sistemas de desinfección UV para el mercado de aguas residuales municipales, a principios de los 50. Y no hubo que esperar mucho más porque ya comenzando los 80 fue ganando la suficiente popularidad en parte debido a las estrictas regulaciones que afectaban al uso del cloro en los tradicionales procesos de tratamiento. Por lo tanto, y gracias a dicha popularidad y efectividad en la desinfección UV, se produjo el interés de aplicar la misma tecnología a los sistemas de tratamiento de lastre.

IV.II.- Definición

La radiación ultravioleta que proviene del sol es muy peligrosa para los seres vivos ya que produce daños genéticos considerables. Por suerte para nosotros, y por el momento, la capa de ozono absorbe hasta el 99% de esta radiación impidiendo que incida en la superficie de la Tierra, y ya que el germicida natural UV del sol es frenado por la

atmósfera de la Tierra, tenemos que buscar medios alternativos de producirla. Tal energía se puede producir actualmente de forma comercial por dispositivos de descargas eléctricas. Esto es posible gracias a la conversión de energía eléctrica en vapor de mercurio a baja presión dentro de un cristal endurecido de lámpara de cuarzo. Los electrones fluyen a través del vapor de mercurio ionizado entre los electrodos de la lámpara, la cual creará entonces la luz UV. Cuando ésta penetra a través de la pared de cualquier célula y su membrana citoplasmática dará lugar a un reajuste molecular del ADN del organismo afectado, que evitará desde ese instante que se reproduzca. Y si finalmente la célula no puede reproducirse se le considerará muerta.

La radiación UV es una forma de luz más energética que la luz visible y por tanto con una longitud de onda menor que puede ir desde los 100 hasta los 400 nanómetros (nm), entre la parte de los rayos X y la parte visible del espectro electromagnético. Las frecuencias biológicamente más perjudiciales causantes directas de la alteración en la cadena de ADN son las longitudes de onda corta dentro de la luz UV, conocidas como el espectro UV-C. Esta luz abarca de los 200nm a los 300nm (donde 1nm equivale a la milmillonésima parte de un metro).

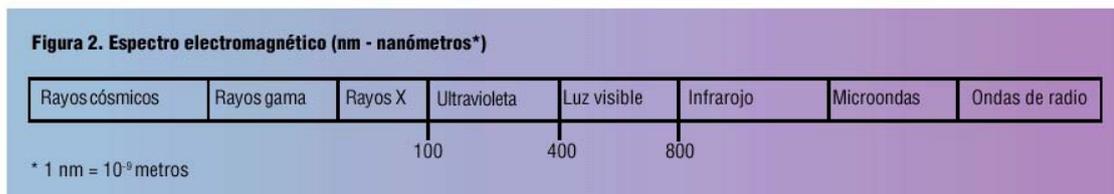


Figura 4.1.- Espectro electromagnético

IV.III.- Ventajas-Desventajas del sistema de desinfección UV

El desarrollo de la tecnología UV en diferentes campos de la desinfección del agua se basa principalmente en su efectividad, que no anda nada abandonada de eficiencia en comparación con otro tipo de tecnologías. Entre las numerosas ventajas ofrecidas por este tipo de tecnología se puede mencionar:

Ventajas

- Respetuoso con el medio ambiente. La desinfección UV es un proceso físico, mejor que toda desinfección química, el cual elimina la necesidad de generar, manipular, transportar o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos, ni se presentarán problemas de sobre-dosificación.
- Internacionalmente aceptado para sistemas de tratamiento de agua.
- Bajo coste inicial, así como gastos de operación reducidos al compararlo con tecnologías tales como el ozono, cloro, etc.
- Procedimiento de tratamiento inmediato (tiempo de paso por el colector), sin necesidad de tanques de almacenamiento, tiempos largos de retención, etc. El tiempo de contacto es por lo tanto más corto al compararlo con otros desinfectantes (aproximadamente 20-30s con lámparas de baja presión).
- Extremadamente económico, cientos de m³ se pueden tratar con cada céntimo del coste operativo, además de la funcionalidad asegurada por el bajo consumo de la energía eléctrica y bajo mantenimiento requerido.
- Baja potencia de consumo.
- No se añaden productos químicos al agua del proceso, ni ésta dará lugar una vez tratada a ningún tipo de subproductos (ej.: Cl + compuestos orgánicos → trihalometanos), es decir, no hay efectos residuales que puedan resultar dañinos a los humanos o la vida acuática.
- Seguro de usar.
- No se produce la eliminación de minerales que se vean implicados en el proceso.
- No se produce cambios en características típicas del agua, como las que se refieren al sabor, olor, PH, conductividad, ni composición química general del agua.

- La operación se realiza automáticamente sin especial atención o medida, facilidad operativa, sin riesgos para el usuario.
- Simplicidad y fácil de mantener, con sistemas de control de depósito (TWT) que previene la formación de incrustaciones en la camisa de cuarzo. Si no se cuenta con este tipo de sistemas puede hacer falta una limpieza del tubo de cuarzo de vez en cuando, aunque dependiendo de la calidad del agua, la limpieza puede no ser necesaria. Sólo es necesaria la sustitución anual de las lámparas, sin tener que sustituir partes móviles.
- Fácil instalación, sólo dos conexiones para el agua y una para la potencia.
- Más efectivo contra los virus que el cloro.
- Compatible con el resto de procesos del agua, otras tecnologías de tratamiento (carbón activado, descalcificación, ósmosis inversa, etc.), y con algunos incluso forman pareja imprescindible, como con la filtración.
- Requiere menos espacio que otros métodos.

Desventajas

- Bajas dosis pueden no inactivar con eficacia algunos virus, esporas o quistes.
- En ocasiones ciertos organismos pueden recuperarse y eludir los efectos UV a través de un “mecanismo reparador”, conocido como foto-activación. O en el caso de ausencia de luz, conocido como “reparación oscura”.
- Es necesario un programa de mantenimiento preventivo para controlar el ensuciamiento de tubos.
- El efecto que produce zonas turbias y el total de sólidos en suspensión (TSS) pueden hacer inefectiva la desinfección UV. Para el caso de lámparas de baja

presión no son tan efectivas si hay que realizar un segundo contacto con el agua, con niveles de TSS por encima del máximo, 30mg/l.

Mecanismo reparador de ciertos microorganismos; Definición y solución

Los microorganismos poseen un mecanismo reparador, lo que significa que incluso después de la destrucción de su ADN, son capaces de reactivarse. Este proceso puede ser influenciado por la luz y el tiempo, expresado en términos de foto-reactivación. Las lámparas de media presión, las cuales no sólo destruyen el ADN con su longitud de onda, sino que también los componentes celulares tales como proteínas y enzimas son preferibles en estos casos, previniendo así la reactivación.

Para evitar el fallo del sistema de desinfección debido a la recuperación de microorganismos se emiten determinadas longitudes de onda adicionales del rango UV, gracias al reciente desarrollo de lámparas UV. Para disminuir la oportunidad de recuperación microbiótica después de la radiación UV se debe procurar que el efecto cubra el mayor área de acción posible.

IV.IV.- Proceso UV de destrucción de microorganismos

Veamos cómo combatir los microorganismos patógenos gracias a la irradiación UV y longitudes de onda determinadas. El alto poder germicida de su longitud de onda se debe a la capacidad de interactuar con el ADN y con el vínculo de sus componentes fundamentales (nucleótidos). El ADN, o ácido desoxirribonucleico, es una macromolécula presente en todo organismo vivo en la cual residen todas las informaciones necesarias para la vida y la reproducción. La alteración de algunos de los vínculos químicos, inducida por radiación UV-C que, añadiéndole energía, activa una reacción química que cambia la estructura molecular del ADN, y altera a su vez la información contenida y transmitida por la macromolécula. Esas modificaciones impiden la actividad normal de reproducción celular, lo que conduce de manera irreversible a la muerte celular. Todo este proceso en algo menos de un picosegundo, es decir, la millonésima parte de una millonésima de segundo.



Figura 4.2.- Daño provocado en el ADN de un organismo por tratamiento UV

La alta energía de la luz UV pasa fácilmente a través de las paredes de las células, citoplasma y membranas nucleares. Aquí los fotones son rápidamente absorbidos por el ADN celular. Esta energía UV causa la desactivación permanente e irreparable del microorganismo por fusión conjunta y formación de porciones oscurecidas de ramales de ADN, evitando la reproducción. El microorganismo llega a ser incapaz de mantener el metabolismo, o reproducirse a sí mismo, y es por ello que consecuentemente perece.

Cómo funciona la desinfección tipo “Microorganismo” es un término amplio que incluye varios grupos de gérmenes patógenos. Los microorganismos difieren en forma y ciclo de vida, pero son semejantes por su pequeño tamaño y simple estructura relativa. Los cinco grupos principales son virus, bacterias, hongos, algas y protozoarios. Observando una célula básica de bacteria, nos interesa la pared de la célula, la membrana citoplasmática y el ácido nucleico. El blanco principal de la desinfección mediante la luz ultravioleta es el material genético, el ácido nucleico. Los microbios son destruidos por la radiación ultravioleta cuando la luz penetra a través de la célula y es absorbida por el ácido nucleico. La absorción de la luz ultravioleta por el ácido nucleico provoca una reordenación de la información genética, lo que interfiere con la capacidad reproductora de la célula. Por consiguiente, los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico que sostiene el ácido nucleico. El ADN es una molécula en forma de doble hélice, compuesta de bases nitrogenadas, como la adenina, timina, citosina y guanina. Dicha molécula almacena toda la información necesaria para crear un ser vivo. La alta energía asociada a la corta longitud de onda (240 – 280nm) es absorbida por el ADN de la célula. La máxima absorción de la luz ultravioleta por el ácido nucleico

ocurre con una longitud de onda cercana a 260nm. Concretamente, la emisión de luz ultravioleta con una longitud de onda de 254nm es la que más se acerca a la mejor condición de absorción de la luz por el ácido nucleico en la célula. Así, una célula que no puede ser reproducida la consideramos como hemos dicho muerta o inactivada, porque ya no se multiplicará.

Dentro de la destrucción de microorganismos, podemos distinguir entre dos conceptos:

Esterilización, cuando se produce la eliminación total de patógenos por debajo de un nivel de medición especificado. Es una reducción de contaminantes igual o superior a 8 logs, 10^{-8} , o el 99.999999%.

Desinfección, con la reducción de concentración de patógenos a niveles no infecciosos. La desinfección alcanza varios niveles de reducción:

- 1 log... 10^{-1} ...90%
- 2 log... 10^{-2} ...99%
- 3 log... 10^{-3} ...99.9%
- 4 log... 10^{-4} ...99.99%
- 5 log... 10^{-5} ...99.999%

A continuación presentamos una relación de microorganismos y la dosificación necesaria para su desactivación en un 90% y en un 99%:

Tabla 2. Dosis de UV (mWs/cm²) para inactivación 1 Log o 2 Log de población microbiana

Microorganismos	1 Log	2 Log	Ref*	Microorganismos	1 Log	2 Log	Ref*
BACTERIAS				VIRUS			
<i>Bacillus anthracis</i>	4.5	8.7		MS-2 Coliphage	18.6	-	5
<i>Bacillus subtilis</i> , esporas	12	22		F-específica bacteriophage	6.9	-	2
<i>Bacillus subtilis</i>	7.1	11		Hepatitis A	7.3	-	5,6
<i>Campylobacter jejuni</i>	1.1	-	5	Influenza virus	3.6	6.6	2
<i>Clostridium tetani</i>	12	22	1	Polio virus	5.77	-	5,6
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	3.4	6.5	1	Rotavirus	8.11	-	5,6
<i>Escherichia coli</i>	3	6.6					
<i>Klebsiella terrigena</i>	2.6	-	5				
<i>Legionella pneumophila</i>	0.9	2.8	4				
<i>Sarcina lutea</i>	20	26.4		PROTOZOARIOS			
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	6	10		<i>Giardia lamblia</i>	1.1	8.1	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.5	10.5	6	<i>Cryptosporidium parvum</i>	2.5	21.7	-
<i>Salmonella enteritidis</i>	4	7.6					
<i>Salmonella paratyphi</i>	3.2	-	3				
<i>Salmonella typhi</i>	2.1	-	5				
<i>Salmonella typhimurium</i>	3	6		ALGAS			
<i>Shigella dysenteriae</i>	2.2	4.2		Azul-verde	300	600	1,3
<i>Shigella flexneri</i> (paradysenteriae)	1.7	3.4		<i>Chlorella vulgaris</i>	12	22	1,2
<i>Shigella sonnei</i>	3	-	5				
<i>Staphylococcus aureus</i>	5	6.6					
<i>Streptococcus faecalis</i>	4.4	-	5				
<i>Streptococcus pyogenes</i>	2.2	-		LEVADURA			
<i>Vibrio cholerae</i> (V.comma)	-	6.5	6	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7.3	13.2	1
<i>Yersinia enterocolitica</i>	1.1	-	5				

* Referencias
1. Legan, R.W., "UV disinfection chambers," *Water and Sewage Works*, R56-R61, 1980.
2. Jevons, C., "Ultraviolet systems in water treatment," *Effluent and Water Treatment Journal*, J22: 161-162, 1982.
3. Grocock, N.H., "Disinfection of Drinking Water by Ultraviolet Light," *J. Inst. Water Engineers and Scientists*, 38(2), 163-172, 1984.
4. Antopol, S.C., "Susceptibility of *Legionella pneumophila* to Ultraviolet Radiation," *Applied and Environmental Microbiology*, 38, 347-348, 1979.
5. Wilson, B., "Coliphage MS-2 as UV Water Disinfection Efficacy Test. Surrogate for Bacterial and Viral Pathogens," presentado en la Conferencia de Tecnología de la Calidad del Agua, American Water Works Association, 1992.
6. Wolfe, R.L., "Ultraviolet Disinfection of potable water: Current Technology and Research," *Environmental Science Technology*, 24(6), 768-773, 1990.

Figura 4.3- Dosis de UV para inactivar microorganismos a un 90% y a un 99%

Por lo tanto vemos que todas las células, cuando son sometidas al germicida UV, sufren un proceso similar:

La luz UV penetra en la pared de la célula

Los fotones UV son absorbidos por el ADN celular

El ADN es permanentemente alterado, cesando toda capacidad de reproducción

Los organismos, sin poder metabolizarse ni reproducirse, perecen, consiguiéndose por lo tanto el objetivo principal, es decir, dejándolos incapaces de transmitir enfermedades o causar daños irreparables a ecosistemas.

IV.V.- Tipos de radiación y lámparas

La tecnología de radiación UV es dominada por dos técnicas: onda continua y onda por impulsos. La primera proporciona una radiación UV de un nivel de flujo constante menor en la cámara de tratamiento de agua. La diferencia en estas técnicas es la intensidad de la radiación que se le entrega a las lámparas. Cada lámpara se diseña para una presión e intensidad determinadas. La presión operativa interna y la intensidad UV irradiada por la lámpara definirá la efectividad del diseño del sistema. Por eso es necesario que estos sistemas se fabriquen para un tipo de desinfección concreta.

El sistema UV por impulsos proporciona dosis de radiación a través de destellos de la lámpara. Así se proporcionan pequeñas ráfagas de mayor energía en el sistema. La frecuencia de éstas y la intensidad de la radiación son específicas al dispositivo del sistema y la potencia disponible. El uso de una alta intensidad UV, en ambos tipos de dispositivos, aumentará el rango de transmisión, y permitirá un tratamiento más efectivo en aguas más turbias, o en grandes volúmenes de aguas que no lo sean tanto. Además, este tipo de sistemas con alta intensidad UV tiene también proporcionalmente altas demandas de energía, dato a tener en cuenta en la etapa de diseño e instalación de los sistemas de abordó.

Las ondas electromagnéticas, según su longitud de onda y su amplitud, interactúan con la materia generando efectos de distinta naturaleza. Como ya sabemos, la pequeña porción de espectro electromagnético que tiene longitudes de onda incluidas entre los 100 y los 400nm, es el que constituye el intervalo de la radiación ultravioleta. Pues en función de la longitud de onda podremos distinguir tres tipos de radiación UV:

UV-A.- Con una radiación que va desde los 320 a los 400nm. Es la más cercana al espectro visible y no es absorbida por el ozono.

UV-B.- Va de los 280 a los 320nm. La capa de ozono absorbe casi por completo este tipo de radiación que es muy dañino provocando alteraciones en el ADN.

UV-C.- Para una longitud de onda menor de 280nm. Este tipo de radiación es extremadamente peligroso y dañino ya que es el más energético, pero es absorbido completamente por el ozono y el oxígeno.

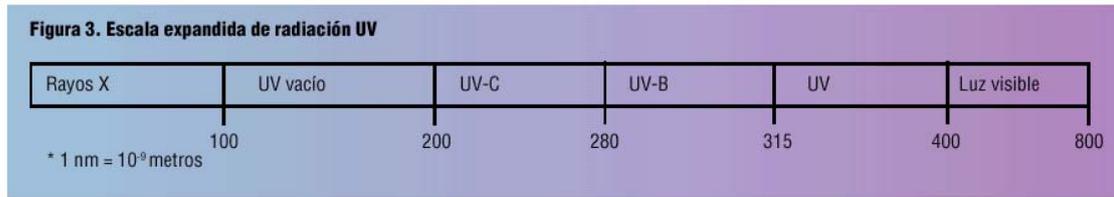


Figura 4.4.- Escala de radiación UV

Este efecto dañino para los seres vivos puede usarse por lo tanto para la desinfección y eliminación de organismos vivos en un sinfín de aplicaciones que podremos ver en el último apartado. Por supuesto entre ellas la que nos interesa, el tratamiento de aguas en el que tengamos una alta carga biológica. Está demostrado que una lámpara que irradie UV-C de 254nm produce el rendimiento más alto de desinfección.

El tipo de lámpara afecta al tipo de luz. Las tecnologías más comunes en lámparas actualmente en uso para cualquier tipo de agua incluyen:

Lámparas tipo LP y LPHO

El espectro de emisión UV-C en las lámparas LP emiten una línea energética de luz monocromática de 253,7nm, siendo exactamente la longitud de onda principalmente responsable de la destrucción de microorganismos. La presión se refiere al vacío interno aplicado a la lámpara durante el proceso de fabricación. Operan normalmente entre 120v y 240v, de forma parecida a las bombillas fluorescentes estándar. Este tipo de lámparas obtiene un rango de salida de potencia de 40-100w con cantidades de corriente a menos de 500mA.

Las lámparas de luz ultravioleta y las fluorescentes son similares. La principal diferencia entre la lámpara germicida y la fluorescente es que la germicida es construida con cuarzo, mientras que en la fluorescente se usa vidrio, con una capa interna de fósforo que convierte la luz UV en luz visible. Las colisiones entre los electrones y los átomos de mercurio provocan las emisiones de radiación ultravioleta, la que no es visible al ojo humano. Cuando estos rayos colisionan con el fósforo, éstos “fluorescen” y se convierten en luz visible. El tubo de cuarzo transmite el 93% de los rayos UV de la lámpara, mientras que el vidrio (vidrio blando) emite muy pocos.

Actualmente se utiliza un nuevo tipo de lámparas con baja presión de mercurio: lámparas de baja presión y alta potencia (LPHO). La ventaja reside en la reducción del número de lámparas, lo que aumenta la potencia del sistema y disminuye el costo. Pero para operar con una lámpara LPHO se requiere una mayor cantidad de potencia (800mA) en comparación con una LP. Así es como puede liberar salidas más altas de luz UV-C y reduce el número de lámparas necesaria para alcanzar la dosis adecuada. Normalmente la LP se usan en velocidades de flujo más bajas, mientras que las LPHO en velocidades medias.

Están consideradas como extremadamente efectivas porque la desinfección se alcanza con bajo uso energético, resultando estar por ello en un buen margen de precio-funcionalidad. Una característica especial es la temperatura óptima de las lámparas. Una desinfección correcta se alcanza con una temperatura del agua de entre 5-15°C.

Lámparas tipo MP

Produce una luz policromática con una salida de ancho de banda espectral que va desde los 200nm a longitudes de onda de luz visible. Estas lámparas se producen con una presión de vacío interno mayor, y necesita a su vez mayores cantidades de energía para funcionar correctamente. La luz policromática producida se acrecienta en la región germicida.

La investigación en los efectos sobre esta región de longitudes de onda policromáticas indica que éstas reducen la habilidad bacteriana de auto recuperarse (foto-activación), después de la exposición a la luz UV. Las lámparas MP se usan normalmente para mayores velocidades de flujo.

Estas lámparas son estables bajo todas las condiciones de temperatura. Además el ancho espectral de salida resulta no ser posible en un rango diverso de aplicaciones con las anteriores LP. Emite un ancho de banda espectral que no sólo destruye el ADN de los microorganismos, sino también la membrana celular, proteínas, lípidos y enzimas. Los microorganismos no son capaces por tanto de reactivarse. El diseño de este tipo de sistemas UV es muy compacto. EL rango de aplicaciones de flujo va desde 20m³/h hasta

aproximadamente los 1000m³/h, con lo cual la selección del tipo apropiado de lámparas depende de la aplicación en concreto y de las condiciones de abordó.

Lámparas tipo P-UV

Éstos operan convirtiendo la corriente alterna en continua, y almacenando la energía eléctrica en un condensador. La energía se libera a través de un interruptor de alta velocidad que genera a su vez una alta radiación de luz UV. Como las anteriores, se consideran efectivas en la desactivación total de patógenos.

IV.VI.- Requisitos y diseño básico para un Sistema UV

Como apuntábamos en la introducción el propósito de la desinfección del agua es proporcionar una continua y efectiva destrucción de microbios patógenos de manera que se reduzca así el potencial riesgo que supone tanto para todos los ecosistemas marinos como para la salud pública en general. Exponiéndola a una radiación UV es una manera efectiva de tratamiento de desinfección y, con un buen diseño y posterior operatividad, se podrá aplicar a un extenso rango de plantas de tratamiento. Algunas de las claves que pueden afectar a la fiabilidad en un sistema de desinfección UV son:

- Un diseño adecuado y consistente funcionamiento de los procesos de pretratamiento en los que se apoya (tratamiento del agua antes de aplicarle la luz UV).
- Un diseño adecuado del sistema UV y sus componentes (diseño del reactor, tipo de lámparas, necesidad mayor o menor de limpieza de las camisas de cuarzo, vida efectiva de cada lámpara, etc.).
- Disponibilidad de un suministro de potencia fiable.
- Disponibilidad de unidades redundantes, o sistemas de desinfección marcha-atrás.
- Detección y respuesta rápidas de fallos en el sistema.

La cámara de agua (o reactor) debe ser diseñada de tal manera que asegure que todos los microbios reciban una dosis suficiente de exposición a la luz ultravioleta. Si no, algunos rayos ultravioleta experimentan el llamado “corto-circuito”, es decir, los microbios pasan por la cámara sin recibir una dosis suficiente de luz ultravioleta.

Actualmente estas cámaras son diseñadas de la misma forma que aviones y coches, es decir, se prueban en túneles aerodinámicos. Al diseñar los reactores se utilizan los sistemas CFD (dinámica de fluidos computerizado). Estos son programas que muestran cómo dirigir el flujo de agua y la trayectoria de partículas a través de la cámara, a fin de optimizar el diseño. Sin duda será la prueba final, con análisis del agua antes y después del proceso ultravioleta, variando el flujo, la cantidad de contaminación antes y después de la luz ultravioleta, la que nos dará la capacidad final del producto.

Por otra parte, el sistema también depende de ciertos aspectos menos físicos, entre los que destacan:

- El caudal relativo o diseño de flujo de la planta.
- El grado de variación de flujo.
- La presencia de unidades de tratamiento que limiten esa variación.
- La cantidad de tiempo que el/los operador/es tiene/n que emplear en el sistema.
- La capacidad del sistema de notificar al operador de cualquier fallo de potencia, y
- La del operador para responder y recuperar el sistema para el servicio.
- La transmisión de luz UV.
- Cantidad total de sólidos suspendidos.
- Tamaño de microorganismos a destruir.

Para especificar el sistema UV más apropiado para cada aplicación y asegurar que se suministra la dosis correcta UV, hay un número de parámetros críticos que se deben determinar:

Dosificación de luz UV

La intensidad de luz UV que se genera por una lámpara determinada es función de la potencia aplicada a la lámpara, y de la longitud de onda de la lámpara. La dosis UV es función de esta intensidad. Es la energía entregada a un área superficial determinada, por un periodo de tiempo, en el cual el fluido del proceso es expuesto a la luz UV (tiempo de residencia), dada una velocidad de flujo específica del agua que se esté tratando y un tamaño conocido del reactor. Puede ser calculada por la fórmula:

$$\text{Dosificación } (\mu\text{ws/cm}^2) = \text{Intensidad } (\mu\text{w/cm}^2) * \text{Tiempo de Retención (s)}$$

Se recomienda una dosis apropiada de UV para cada aplicación, teniendo en cuenta todos los factores críticos que incluyen: calidad del agua, temperatura y vida útil de la lámpara.

Velocidad del flujo

Es un factor crítico que afecta al tiempo de residencia que el organismo experimenta. Hay una relación lineal entre la dosis y la velocidad de flujo. Los sistemas de desinfección típicos están diseñados para velocidades de flujo máximas, entregando una dosis mínima de $30000\mu\text{ws/cm}^2$, para una vida útil estándar de lámpara.

Temperatura del agua

Como hemos visto, las lámparas LP dependen de la temperatura, y no así las MP. Las primeras tienen una temperatura de operación óptima de $40,5^{\circ}\text{C}$, que se mantiene cuando el agua de proceso en el conductor es de aproximadamente 21°C . La energía de salida en estas lámparas cae rápidamente si la temperatura del agua en proceso sube o baja de esta temperatura óptima. A las lámparas MP sin embargo no les afecta la temperatura del agua debido a su alta temperatura de operación.

Calidad del agua

La dosis efectiva de UV se ve dramáticamente afectada por la calidad mayor o menor del agua, y por aquellos constituyentes que absorberán la luz UV. La transmisión a través del agua decrece al mismo nivel que el posible aumento de contaminación orgánica e inorgánica dentro de la misma. Consecuentemente se necesitaría de energía UV adicional para tratar el fluido. Los factores más importantes que determinan la calidad del agua y la consecuente transmisión UV son, además de su turbidez, el color, los metales, la materia orgánica y los sólidos suspendidos o disueltos. Estos sólidos suspendidos que no se han frenado previamente en la filtración influirán de forma muy directa en la calidad del agua a tratar. Si el total de ellos (TSS) aumenta, la eficiencia de la desinfección irá a menos debido a la posibilidad del efecto sombra que provoquen estos sólidos. Los microorganismos no recibirían la dosis apropiada.

Normalmente los efectos indirectos, debido a las condiciones del agua, son aquellos que afectan al funcionamiento de las lámparas por suciedad en las camisas de éstas, como por ejemplo debido a hierro disuelto. Las lámparas que trabajan a mayores temperaturas (como las MP) hacen que este efecto aumente. Por lo tanto todo sistema UV debe tener un sensor de temperatura que alerte a los operarios de los sobrecalentamientos. En especial para evitar la presencia de hierro, que reduce la eficacia del proceso, por absorción de radiación. La intensidad de radiación tiene un efecto directo en la formación de estas películas de hierro. Con sistemas de alta intensidad de energía el hierro se forma más rápidamente que en los de baja energía. Actualmente la característica química para la formación de estas molestas películas de hierro no está totalmente controlada, y se siguen investigando. La efectividad del tratamiento de radiación se mide determinando la cantidad de energía requerida para alcanzar una reducción específica en un número de poblaciones de microorganismos determinado.

Transmisión de luz UV

El término transmisión se usa para describir la capacidad de la energía UV de pasar a través del agua. Se define como el porcentaje de luz UV con una longitud de 254nm no absorbida después de pasar a través de un espesor de agua de 1cm. La transmisión depende de los materiales disueltos y suspendidos en el agua. Las transmisiones

reducidas disminuyen la intensidad de la luz en el agua, requiriendo, por lo tanto, un mayor tiempo de exposición para que el agua reciba una dosis apropiada.

La claridad visual del agua no es un buen indicador de la transmisión, ya que el agua que es clara para la luz visible puede absorber o comprimir la longitud de onda de la luz ultravioleta. La mejor forma de medir la transmisión de luz ultravioleta en el agua es por medio de una pequeña muestra en un aparato llamado fotómetro, que mide específicamente la transmisión de la longitud de onda de 254nm en el agua. El fotómetro informa el resultado en porcentajes, por ejemplo, transmisión al 25%, 70%, 79%, 85%, 99%, etc. Así, en todo momento un monitor conectado al proceso la mide para controlar la efectividad del sistema. El valor recomendado para agua que está siendo tratada es del 85% o mayor. Este valor guiará la selección en la velocidad de flujo, el número de lámparas y la distancia entre ellas dentro del conductor. Un valor bajo por ejemplo se podría compensar disminuyendo la velocidad de flujo, aumentando el número de lámparas y/o disminuyendo la distancia entre ellas.

En referencia a la turbidez del agua y el nivel de transmisión a través de la misma se tratan de términos inversamente proporcionales. Cuanto más turbia es el agua (mayor concentración de sedimentos suspendidos), permite una menor transmisión, porque éstos absorben y desvían la energía UV, y por eso decrece la efectividad del proceso para eliminar microorganismos. Para compensarlo la mayoría de las plantas tienen un sistema de auto-realimentación, que continuamente ajusta la radiación UV (como la potencia) para mantener la operatividad del sistema a un nivel de tratamiento predeterminado. Se pueden ajustar sensores, que transmitan los datos adecuados a la unidad de control, y la potencia se envía a las lámparas UV, aumentándola o disminuyéndola, según sea necesario. Esto asegura que se alcance una cantidad de radiación predeterminada en el punto más lejano del conductor de tratamiento.

Diseño del Sistema

Hay un número de configuraciones físicas donde la energía UV se puede usar para la desinfección del agua. Las camisas de cuarzo rodean las lámparas UV, actuando como barrera para protegerla de la exposición a la humedad. El conjunto se sitúa dentro de una cámara, y todo el ensamblaje, junto con la fuente de potencia (transformador) y otros accesorios, forman parte de lo que denominaremos Sistema UV.

Como requisito clave en todas las configuraciones posibles, se necesita una cierta cantidad de turbulencia para hacer que todo el flujo de agua pase lo suficientemente cerca de la lámpara en algún instante, para el consiguiente tratamiento y desactivación de los organismos. Sabemos que con el tiempo la camisa de la lámpara es propensa a ensuciarse con películas de materiales biológicos o químicos. Como resultado esto impactará en la efectividad de la luz UV para penetrar en los microorganismos. Así, para asegurar un uso eficiente la camisa debe limpiarse periódicamente de forma manual o automática, con un mecanismo de limpieza adecuado.

Lo económicamente factible en el diseño de sistemas UV suele ser normalmente una cuestión de tamaño. A continuación veremos factores relacionados con el tamaño, basados en la media de diseños de flujo (ADF).

Base de diseño

El sistema UV se debe diseñar para alcanzar los requisitos de dosificación en los periodos del proceso más duros respecto al flujo. Además los sistemas con dos o más unidades deben diseñarse para permitir la continuidad del proceso con una de ellas fuera de servicio.

Fluido diseñado para horas punta

Puede ser difícil de determinar con exactitud sin una monitorización demasiado extensa. Los factores de horas punta (PF: flujo a hora punta / flujo medio de diseño) se usan normalmente para hacer una estimación de este tipo de flujo, y conseguir evitar o disminuir la necesidad de tal esfuerzo. Sin embargo, estos flujos suelen variar considerablemente de planta a planta. Tales variaciones pueden deberse a diferencias en los flujos medios, en la modalidad del uso del agua en el área de servicio, en la compensación o igualación de flujos, y en otros factores.

Compensación de flujo

Se encarga de los picos de flujo entregados al sistema de tratamiento. Si se diseña correctamente el diseño UV debería usar un PF de 2-2,5. Si no se proporciona una suficiente compensación de flujo, el PF se moverá en un rango de aproximadamente 3,5-4,1.

Disponibilidad del operario

La mayoría de estos sistemas de tratamiento no necesita tener un operador de forma constante a pie de planta. Para asegurar un desarrollo fiable de la operación, un sistema de tratamiento de desinfección se debe diseñar y mantener su operatividad correctamente sin la atención continuada del operario. Hay dictaminada una cantidad mínima de tiempo que el operario sí tiene que permanecer en el puesto. La presencia del operario afecta directamente a la probabilidad mayor o menor de una rápida respuesta a fallos del sistema, averías a nivel de potencia, y otros problemas.

Así, teniendo como referencia la media de diseños de flujo, plantas con $ADF > 5$ deben ser atendidas por operadores 24h/día, 7 días a la semana. Aquellas con ADF entre 2,5-5 se deben atender al menos 5 días/semana, pero sin una duración especificada. Y las que posean un $ADF < 2,5$ sólo sería suficiente una visita por semana. La fiabilidad del sistema depende en gran medida de la capacidad del operario para reconocer y responder a los fallos del sistema, y reactivarlo, contando para ello con una alarma efectiva y/o un sistema de notificación.

Todos los sistemas deberían incluir como mínimo alarmas auditivas y/o visibles, para notificar al operador del equipo cualquier fallo. Si el operario no está presente todo el tiempo, el sistema debe incluir también un dispositivo de marcador automático que transmita información vía telefónica (auto-dialer) u otro sistema de notificación remota, para minimizar el tiempo en el que el sistema no responda al 100% sin atención. Por otra parte hay diseños que incluyen controles más sofisticados, que responden automáticamente a problemas concretos.

Potencia de repuesto

No es necesaria en todos los casos. Se permite cierta flexibilidad si una salida de potencia defectuosa en un determinado momento provoca que no se produzca la descarga total del agua tratada (se tiene que demostrar que la planta tiene suficiente capacidad para acumular el agua por un periodo razonable de tiempo).

Una alternativa a la potencia de socorro sería la sustitución temporal por un sistema de cloración-decloración (con conductores de contacto con tamaño adecuado) que desinfecte el resto de la descarga. Esta operación es más factible para plantas que ya usaban este sistema y están cambiando al UV. Para que sea una buena opción, los productos químicos deben estar listos rápidamente (preferiblemente en la misma planta) y el tiempo de respuesta para conectarlo debe ser lo más corto posible para asegurar la conformidad con lo máximos factores operativos permitidos, y no sobrepasarlos.

Unidades múltiples y controles relacionados

Con sistemas UV en buenas condiciones, los problemas más comunes suelen venir de las lámparas o del lastre. La pérdida de una sólo lámpara puede comprometer el buen funcionamiento del sistema completo. Por ello lo normal es disponer de equipo redundante (bombas, compresores, etc.), y unidades de pretratamiento (calderas de clarificación de partículas en suspensión, filtros, etc.).

Como decíamos por otra parte, los sistemas UV se pueden diseñar con múltiples bancos de lámparas, preparados para trabajar con la eventualidad de que uno de ellos quede fuera de servicio. La configuración de éstos se puede hacer con disposiciones en serie o en paralelo, mientras que sea apta para proporcionar las dosis adecuadas de radiación. En cualquier caso el diseño debe permitir apartar del servicio cualquiera de los bancos para su reparación, sin comprometer el funcionamiento general del sistema. La fiabilidad aumenta si el sistema de control conecta o desconecta bancos automáticamente en respuesta a fallos del equipo.

IV.VII.- Pretratamiento

Centrémonos en tres de los factores que afectan al funcionamiento de la planta de desinfección: la claridad del agua, el periodo de exposición y la energía de radiación. Son factores que deben equilibrarse para tratar grandes volúmenes de agua rápidamente, de forma además segura y económica. En una aplicación a bordo, la manera más utilizada para aumentar la efectividad del tratamiento es la eliminación de sedimento suspendido y otras partículas mediante un tratamiento previo adecuado, vía filtración primaria. Ésta permite que los periodos de exposición y el consumo de energía disminuyan, y que la velocidad de flujo aumente. La velocidad óptima del tratamiento se alcanza cuando la transmisión en el agua se aproxima al 100%.



Figura 4.5.- Filtro para disminuir frenos al tratamiento del lastre, como “obstáculos crustáceos” en este caso

De esta manera, aunque filtraciones más desarrolladas (como la ósmosis inversa) podrían aparentemente optimizar aun más el proceso son impracticables y nada rentables para grandes volúmenes de lastre y los tiempos en los que la operación debe realizarse. El tratamiento UV abordo por tanto mejora ya significativamente con filtraciones primarias a una escala adecuada. Así, la filtración de sedimentos, con un máximo de paso de partículas de 5μ , es el mínimo pretratamiento que debe preceder a un sistema UV. Frenan componentes orgánicos presentes en el agua, que pueden servir de pantalla a los menores, objetivo básico del sistema, absorbiendo la energía UV y disminuyendo así la efectividad del sistema en los microorganismos de menor tamaño, reduciendo finalmente la eficiencia general del sistema. Su uso se debe considerar a varios niveles, para alcanzar apartar pequeños animales, sedimento y organismos en estado larvario. Como hemos dicho anteriormente, la capacidad de la radiación UV para tratar agua sin filtrar es altamente dependiente de la turbidez del agua. La mayoría de las aguas de estuario por ejemplo contienen un número significativo de partículas orgánicas e inorgánicas en suspensión, las cuales reducen en el agua la transmisión y efectividad del tratamiento UV. Para conseguir los grados de efectividad que se alcanzan en plantas de tratamiento de agua ya filtrada, aquellos sistemas que la reciban sin filtrar tienen que incrementar la energía y/o el periodo de exposición. Según investigaciones llevadas a cabo por varios fabricantes, el agua que está filtrada en un rango de 25-50Fm es óptima para retirar partículas y evitar la interferencia de organismos mayores a las bacterias y virus que sí son tratables por el sistema. Filtrando así se evitan por ejemplo organismos tan peligrosos como el mejillón cebra, o muchos tipos de dinoflagelados tóxicos. La mayoría de fabricantes acusan normalmente la existencia en deslastres de grupos tales como los "Batelle" a filtros de 100-250Fm, o a aguas sin filtrar.

Hay ciertos elementos, como adelantábamos ya en referencia a la calidad del agua con el hierro, que inhiben la correcta funcionalidad UV si se pasa por alto la filtración. El manganeso también es otro de los elementos que producen manchas en las camisas de cuarzo de las lámparas. Ambos impiden como decíamos una buena energía de transmisión UV en el agua, con tan sólo niveles de 0,03ppm de hierro y 0,05ppm de manganeso. Por lo tanto los sólidos disueltos totales (TDS) no deben exceder aproximadamente las 500ppm. Hay otros muchos elementos, como el calcio o el magnesio, que en grandes cantidades tienen la tendencia a acumularse en las camisas de cuarzo, de nuevo impidiendo que la energía UV penetre correctamente en el agua,

además de proteger a los microorganismos de la energía UV, haciendo el proceso inefectivo. Los sólidos suspendidos deben reducirse a la permisividad de paso del filtro, el máximo de 5 μ , ya que los que sean mayores cubren como decimos los microorganismos y disminuyen su necesaria exposición UV. La prefiltración es por tanto básica en todas las aplicaciones UV, para destruir efectivamente los microorganismos a un rango del 99,9% de eliminación.

IV.VIII.- Ubicación, material y mantenimiento del sistema

El tratamiento de agua de lastre UV, como otros procesos de tratamiento de desinfección, requiere que el agua fluya a través del conductor del sistema, donde se produce el tratamiento, para desinfectarla de los microorganismos peligrosos. Así que este conductor se debe instalar a continuación de la tubería del suministro de lastre, entre el sistema de filtración primario y los tanques de lastre del buque. Se necesita además un espacio adicional para la disposición de los módulos de control y potencia.

La construcción de la mayoría de conductores en tratamiento de radiación UV es de acero inoxidable 316. Este material es resistente a los efectos corrosivos del agua de mar, y las condiciones típicas de estrés abordo. Algunos se construyen de este acero y PVC, con cada lámpara encerrada a su vez en una camisa de cuarzo de alta resistencia y claridad. Este revestimiento sirve para proteger a la lámpara del contacto directo con el agua y como mecanismo de filtrado, permitiendo solamente que pasen a su través las longitudes de onda.

Los módulos de potencia y control asociados con el conductor consisten en unidades de potencia de alto y bajo voltaje, con microchips que controlan la mayoría de las funciones de las unidades. Éstas se encierran en cabinas de acero, que proporcionan la debida protección de daños físicos. De acuerdo con la mayoría de los fabricantes, la unidad de potencia no necesita estar localizada de forma adyacente a los conductores UV. Sin embargo, la resistencia eléctrica traducida en distancia recorrida que tiene que cubrir la electricidad necesita definirse según fundamentos individualizados a cada caso. Las unidades de control son generalmente de menor voltaje que los módulos de potencia y contienen la mayoría de los módulos computerizados. Éstos deberán situarse a mayores

distancias de los conductores UV y generalmente requieren más protección de fluctuaciones de calor, humedad, agua, y daños físicos.

Mantenimiento sencillo

Los sistemas de radiación UV suelen ser relativamente fáciles de manejar. La mayoría están compuestos por tres máquinas separadas, dispuestas secuencialmente para que se produzca la necesaria radiación de salida UV. Los módulos de control en sí mismos están basados en microchips, necesitándose cierta preparación para el personal, pero a niveles tan sencillos como aprender a encender y apagar secuencias. Los módulos de potencia son unidades automáticas que requieren poca atención cuando están funcionando, al igual que los conductores UV. Los procesos de mantenimiento necesitarán ser llevados a cabo por varios miembros de la tripulación, ya que incluye:

- Limpieza de las camisas de cuarzo
- Cambio de lámparas
- Asegurar la potencia adecuada a la función del módulo
- Mantenimiento total del sistema

Aunque dichos puntos sean en última instancia responsabilidad del personal encargado, hay que apuntar en referencia a la limpieza de las camisas que dependerá como sabemos de la calidad del agua. Si el agua que entra al sistema está suficientemente filtrada, la limpieza no es necesaria tan a menudo. Los sensores UV, disponibles en algunos modelos como apuntábamos, se diseñan para notificar al operario cuando la intensidad de la lámpara se ha reducido debido al ensuciamiento de la camisa o por envejecimiento térmico de la lámpara. Se debe tener en cuenta que la ventana del sensor suele estar hecha también de cuarzo, por lo tanto también susceptible de ensuciarse.

De todas formas no se puede llegar a hacer una estimación de horarios y distribución de tareas para el mantenimiento a bordo de sistemas UV, con una simple recolección de puntos a controlar. Aunque pueda parecer que cada buque y sistema variarán dependiendo del diseño, suele suceder que la complejidad de operación de una planta de

tratamiento UV es similar a otros sistemas de abordó. Lo que ocurre en realidad es que el hecho de que buques con sus sistemas ya definidos tengan a su disposición una tabla de horario de tareas para mantener el equipo no es determinante. Muchos buques comerciales operan con tripulaciones mínimas, así que la responsabilidad adicional de mantener una nueva planta, con el consiguiente supuesto aumento de la tripulación, o en su defecto de horas de trabajo a la tripulación ya existente (procedimiento más común), supone significativos costes para el negocio, y malabarismos económico-laborales, donde el menos beneficiado suele acabar siendo el operario encargado de mantener el sistema, que a la larga resulta ser el encargado a su vez, con una nada despreciable paradoja, de beneficiar el negocio.

1.- Especificaciones operativas para un equipo de tratamiento ultravioleta de 272,55m³/h	
Peso del equipo	200 a 500 kg
Dimensiones de las unidades del sistema <ul style="list-style-type: none"> • Conductor del tratamiento • Módulo de potencia • Módulo de control 	Ejemplo de medidas (alto/largo/ancho) para un tratamiento de 285,69 – 495,75 m ³ /h: (65 □ 50 □ 76.5 cm) (70 □ 34 □ 70 cm) (70 □ 21 □ 70 cm)
Requisitos de energía	<ul style="list-style-type: none"> • 3-25KW/hr • El consumo de potencia depende del tratamiento previo de filtración y del tipo de organismos
Conexiones/Accesorios/Equipamiento/Situación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetros de entrada: 5 – 76 cm • Presión de entrada: 2,75 – 4,82 bar • No hay límite de temperatura para esta tecnología
Detalles operativos <ul style="list-style-type: none"> • De Mantenimiento • De Entorno • De Seguridad 	1576,93 – 2867,47 € al año (asumiendo un 10% en ciclo de servicio, un grupo de lámparas de reserva, y los procesos normales de mantenimiento) <ul style="list-style-type: none"> • Vida de cada lámpara: 5.000-8.000 hrs, o un año • Los requisitos de limpieza de cada lámpara varían según diseño del sistema; algunas partes de las lámparas se pueden encontrar por

	<p>encima del agua</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si el equipo se usa de forma continua se requiere una labor de mantenimiento de unas 20hrs cada 3 meses • En la tecnología UV por Impulsos, los destellos de los tubos no presentarán una disminución de potencia en un rango de 100 a 150 millones de destellos (aprox. 1000-1500 hrs del uso continuo). La vida en cada momento del tubo depende del uso; el fabricante no sabrá cuándo empezará a decrecer la potencia, pero sugiere el reemplazo cuando baje a un 95% de la original. • Posible escape de Mercurio de las lámparas, si se produce una ruptura (posible exposición de la tripulación al mercurio). • Posibilidad de mutación genética de organismos que sobrevivan al tratamiento. • Uso de electricidad de alto voltaje (440v).
<p>Efectos de la Filtración</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biológicos • Operativos 	<ul style="list-style-type: none"> • El pretratamiento de filtración aparta los organismos y partículas mayores, lo cual incrementa la transmisión y la efectividad del tratamiento. • El pretratamiento también reduce las necesidades de potencia y los costes de mantenimiento.
<p>Cuestiones de funcionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En general la corrosión no es un problema, ya que el equipamiento se fabrica de materiales anticorrosivos. • La presencia de hierro puede causar la formación de películas de este material entre el agua y el dispositivo UV. A mayor intensidad del sistema, mayor rapidez en la formación. • Algunos equipamientos deben tener un flujo continuo de agua, o estar apagados un tiempo.

Coste capital de compra del Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • 7305,60 – 73053,44 € • sin incluir la instalación, precio base por unidad
<u>2.- Especificaciones operativas para un equipo de tratamiento ultravioleta de 1816,80m³/h</u>	
Peso del equipo Dimensiones de las unidades del sistema <ul style="list-style-type: none"> • Conductor del tratamiento • Módulo de potencia • Módulo de control 	200 a 2600 kg Ejemplo de medidas (alto/largo/ancho) para un tratamiento de 1073,95 – 2659,79 m³/h: (110 □ 140 □ 117 cm) (200 □ 80 □ 80 cm) (200 □ 50 □ 80 cm)
Requisitos de energía	<ul style="list-style-type: none"> • 12-125 KW/hr • El consumo de potencia depende del tratamiento previo de filtración y del tipo de organismos
Conexiones/Accesorios/Equipamiento/Situación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetros de entrada: 20 - 76 cm • Presión de entrada: 2,75 –9,99 bar • No hay límite de temperatura para esta tecnología
Detalles operativos <ul style="list-style-type: none"> • De Mantenimiento • De Entorno • De Seguridad 	5011,46 – 10165,22 € al año (asumiendo un 10% en ciclo de servicio, un grupo de lámparas de reserva, y los procesos normales de mantenimiento) <ul style="list-style-type: none"> • Vida de cada lámpara: 5.000-8.000 hrs, o un año • Los requisitos de limpieza de cada lámpara varían según diseño del sistema; algunas partes de las lámparas se pueden encontrar por encima del agua • Si el equipo se usa de forma continua se requiere una labor de mantenimiento de unas 20hrs cada 3 meses • En la tecnología UV por Impulsos, los destellos de los tubos no presentarán una disminución de potencia en un rango de 100 a 150 millones de destellos (aprox. 1000-1500 hrs del

	<p>uso continuo), la vida en cada momento del tubo depende del uso; el fabricante no sabrá cuándo empezará a decrecer la potencia, pero sugiere el reemplazo cuando baje a un 95% de la original</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posible escape de Mercurio de las lámparas, si se produce una ruptura (posible exposición de la tripulación al mercurio) • Posibilidad de mutación genética de organismos que sobrevivan al tratamiento • Uso de electricidad de alto voltaje (440v)
<p>Efectos de la Filtración</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biológicos • Operativos 	<ul style="list-style-type: none"> • El pretratamiento de filtración aparta los organismos y partículas mayores, lo cual incrementa la transmisión y la efectividad del tratamiento • El pretratamiento también reduce las necesidades de potencia y los costes de mantenimiento
<p>Cuestiones de funcionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En general la corrosión no es un problema, ya que el equipamiento se fabrica de materiales anticorrosivos. • La presencia de hierro puede causar la formación de películas de este material entre el agua y el dispositivo UV. A mayor intensidad del sistema, mayor rapidez en la formación. • Algunos equipamientos deben tener un flujo continuo de agua, o estar apagados un tiempo.
<p>Coste capital de compra del Equipamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 17896,50 – 390215,47 € • sin incluir la instalación, precio base por unidad

Figura 4.5.- Tablas resumen de especificaciones técnicas para dos posibles plantas de tratamiento de 272,55 y 1816,80 m³/h, respectivamente

IV.IX.- Funcionamiento, monitorización y seguridad del Sistema

La lámpara UV, un tubo de cuarzo parecida a una bombilla fluorescente estándar con electrodos a cada lado, se llena con gas inerte y una pequeña cantidad de mercurio. La energía eléctrica, aplicada a través de los electrodos, se descarga y provoca la excitación del gas. Con relativamente pequeñas cantidades de energía eléctrica se crea una luz de baja presión que produce las emisiones de luz UV, de 185nm a 254nm. Según aumente la energía eléctrica, las lámparas se calientan rápidamente, haciendo que la presión interna aumente, produciendo el característico espectro de media presión. La alta cantidad de energía de salida en una lámpara de media presión es el resultado de una compleja combinación de espectros atómicos, característicos del vapor de mercurio.

Básicamente la desinfección UV trabaja por exposición de los microorganismos que lleva el agua a la luz UV con una intensidad específica, y durante un tiempo también determinado. Este proceso de producir luz UV germicida vuelve al microorganismo, a todos los efectos como sabemos, microbiológicamente muerto.

Monitorización y control

Cualquier tipo de lámpara UV requieren tanto la monitorización como el control. Los monitores UV miden el flujo que está siendo emitido por cada lámpara. Son esenciales para mantener la integridad del sistema:

$$\text{Flujo UV} = \text{Intensidad} * \text{Tiempo} * \% \text{Transmisión}$$

Los flujómetros proporcionan información de los diversos flujos que se están produciendo en la planta. Los medidores de la transmisión facilitan los cálculos del valor de ésta en el agua. Los monitores también miden la intensidad de la salida de energía de la lámpara en unidades absolutas de mw/cm^2 , o la intensidad relativa en valores de tantos por ciento. Los sistemas de carga de datos por tanto se pueden añadir para demostrar el acierto mayor o menor del tratamiento, y proporcionar así un permanente historial de la desinfección.

Seguridad en el Sistema

Hay ciertas consideraciones específicas en temas de seguridad respecto a los sistemas UV que se deben tener en cuenta para la aplicación a bordo de esta tecnología. Lo primero es el uso de electricidad de alto voltaje (220/240v) para darle potencia al sistema. Considerando que ya otros sistemas de abordaje trabajan de esta forma, no habrá nada nuevo que añadir durante la instalación. La operación de los sistemas de radiación UV no debe traer consigo conceptos adicionales de instalación si el sistema se instala y se mantiene de forma apropiada, ya que si no sucede así surgirán los evidentes riesgos de accidentes eléctricos, como sucede con otros sistemas de abordaje.

La segunda cuestión a tener en cuenta es el contenido de mercurio en el interior de las lámparas que generan la radiación. El suministro a dichas lámparas viene de varias fuentes, incluyendo zeon o mercurio. Aquellos sistemas que usan mercurio para las lámparas (~20mg/lámpara) se mantienen protegidas con el tratamiento dado al conductor, las camisas de cuarzo.

De todas formas hay que extremar las precauciones de abordaje, dado el alto potencial de daño físico que se puede producir durante el almacenamiento e instalación del sistema. Es necesario citar las posibles consecuencias ambientales respecto a trabajar con mercurio. La única forma de riesgo posible es una pérdida accidental de niveles bajos de mercurio del interior de las lámparas, por rotura o mala instalación. Por otra parte el mercurio es un tóxico medioambiental sobradamente conocido, y el control del mismo se regula por numerosas leyes y programas especializados.

El tercer elemento a vigilar se trata de la exposición UV a tuberías de plástico y demás accesorios del mismo material. Si se expone por tiempo prolongado (como puede ocurrir durante la instalación/operación del sistema UV a bordo del buque), las tuberías sufren un peligro potencial de daños. El riesgo de fisuras o fallos operativos del equipo dependerán del uso y contenido de la tubería que falle.

¿Riesgo de mutación genética?

Otra preocupación medioambiental podría ser la mutación genética. Aquellos microorganismos que sobrevivan al tratamiento UV podrían mutar genéticamente (extraños casos de daños no letales causados en su ADN en la acción de los fotones

UV). Se presupone que la mayoría de los organismos, con material genético dañado no podrán procrear. Sin embargo, existe una ínfima posibilidad en la cual el ADN genéticamente alterado beneficie a ciertos microorganismos, pudiendo éstos prosperar en el ecosistema que lo reciba. Aunque se considera una posibilidad como decimos remota, ésta no se puede cuantificar, hasta que se lleva a cabo una investigación en laboratorio, usando grupos de organismos expuestos a UV, bajo una serie de condiciones. En esta evaluación, existiría por tanto una pequeña posibilidad de que la mutación pasara genéticamente a las siguientes generaciones del organismo, más la posibilidad añadida que le confiriese al organismo una ventaja competitiva en el ecosistema que lo recibiera.

Por el contrario se debe entender que el sistema de tratamiento de lastre a bordo no se trata de otro tipo de biocida donde existe un considerable riesgo de mutación genética en organismos que sobrevivan. Por ejemplo, en las instalaciones de un laboratorio, los técnicos aplican productos químicos, radiación, y tratamientos térmicos en varios instrumentos y containers. Los materiales son repetidamente tratados, y normalmente los materiales tratados se quedan en un área determinada, confinados. Los microbios que sean capaces de resistir el primer tratamiento encuentran que sus competidores han muerto, y pueden entonces explotar el nuevo hábitat vacante, con comida disponible para su máxima ventaja, el crecimiento de la población. Cuando los instrumentos y containers se tratan por segunda vez, la resistencia de los microbios incluye una fracción de la población mucho mayor. Por estas razones, la mayoría de las instalaciones biomédicas y laboratorios usan distintos biocidas en distintos tiempos, para limitar las oportunidades de desarrollo de estos organismos más resistentes.

Sin embargo, en un tratamiento de lastre tenemos el tiempo de actuación más limitado, y sólo se actúa a la entrada y a la salida del lastre. Es decir, la población más enérgica o resistente no tendrá la oportunidad de desarrollarse. Además, los que sobrevivan y se descarguen al entorno de recepción durante el deslastre no tendrán la gran ventaja de encontrarse solos como en el laboratorio, sino que tendrán que competir con los microorganismos residentes por el hábitat y la comida. Es por tanto muy improbable que ninguna mutación genética causada por el procedimiento de tratamiento de lastre (o condiciones genéticas preexistentes que permitieran al microorganismo sobrevivir al tratamiento) proporcione al organismo ventajas competitivas en el entorno que lo reciba.

IV.X.- Aplicaciones de la tecnología UV

La tecnología de luz ultravioleta de hoy puede ser aplicada en varias áreas, y el desarrollo de nuevos productos con mayor poder de desinfección y menor precio es actualmente el gran objetivo de los principales fabricantes:

- Agua potable
- Desinfección en instalaciones de agua municipales y privada
- Desinfección de agua sin tratar
- Protección/destrucción frente a la legionela
- Agua de piscinas
- Reducción del cloro combinado para potabilizar el agua (cloramina)
- Desinfección adicional
- Protección/destrucción de la legionela en los filtros de circulación
- Agua residual
- Desinfección para alcanzar requisitos microbiológicos predeterminados
- Desinfección/reciclaje de agua aclarada para uso industrial
- Acuicultura
- Desinfección de agua fresca y de estanque
- Desinfección de agua sin tratar y residual
- Agua en sistemas de aire acondicionado

-
- Prevención de legionela en las zonas húmedas de los sistemas
 - Agua industrial y procesada
 - Desinfección en circuitos de agua y sistemas de almacenamiento
 - Reducción de cloro, ozono y atracina (herbicida)
 - Industria de la bebida: desinfección en las operaciones, procesos y agua, sistemas de lavado de botellas
 - Industria lechera del queso y la carne
 - Desinfección del agua de lavado
 - Horticultura y agricultura
 - Tratamiento de hongos y desinfección del agua de irrigación
 - Industria del papel
 - Prevención en la formación de limo (sedimento entre arena y arcilla)
 - Cosméticos, industria farmacéutica y médica
 - Industria eléctrica
 - Agua de alta pureza
 - Industria del semiconductor
 - Industria del automóvil

- Pulverización con agua y lavado de coches

- Industria naval

- Desinfección del agua potable, residual y de lastre

IV.XI.- Conclusiones

Una desinfección eficiente del agua mediante la irradiación ultravioleta (UV) involucra la observación de diversos principios que pueden ser nuevos para los profesionales del tratamiento de agua. El método presenta tanto desafíos como ventajas, ya que no deja residuos químicos en el agua de lastre, pero sí requiere de un tratamiento previo para alcanzar plenas garantías.

La radiación UV demuestra ser un método de desinfección rápida, fiable, efectiva, económica y respetuosa con el medio ambiente, siendo por lo tanto en la actualidad una de las elecciones favoritas de aplicación con éxito a nivel internacional.

V.- Tecnología de Tratamiento de Lastre AOT

V.I.- Introducción

El sistema de tratamiento de lastre Pure Ballast (PB), de la empresa sueca Alfa Laval, es adecuado para ser considerado por MEPC (junto a la OMI), como un medio factible para combatir las especies invasoras:

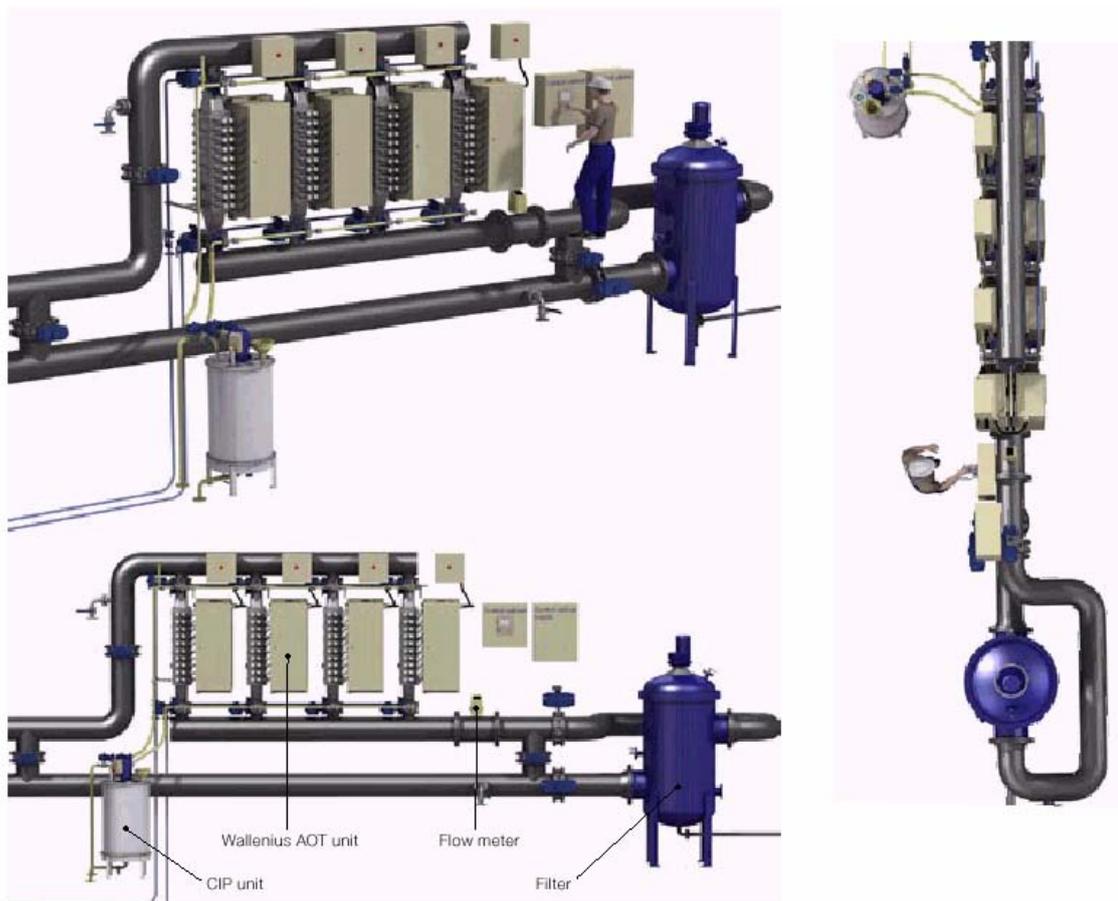


Figura 5.1.- Sistema "Pure Ballast" de 1000 m³/h.

El sistema consiste en un filtro, de lavado automático para retirar las partículas más grandes y organismos, seguido por la unidad en sí de tratamiento, la llamada unidad

AOT, o de Tecnología de Oxidación Avanzada. Esta unidad utiliza el efecto de la sinergia, es decir, la unión de varios fenómenos (dos en esta unidad) para lograr una mayor efectividad en un solo objetivo, en este caso eliminar organismos. La sinergia se crea mediante procesos UV + procesos foto-catalíticos redox, con el único propósito de producir radicales hidroxilo (OH⁻), extremadamente potentes rompiendo microorganismos y bacterias. La luz UV de onda corta usada en la reacción tendrá una longitud de onda adaptada al proceso foto-catalítico, con un rango de 180nm a 350nm.

Esta tecnología es efectiva, automatizada y extraordinariamente compacta. Debido a que se instala fácilmente en la sala de máquinas y trabaja sin productos químicos, es una clara elección tanto por motivos de instalación como de operación. Con su demostrada capacidad para cumplir los reglamentos de la OMI, mediante diferentes pruebas, ha llegado a ser la primera solución viable al problema global de las especies invasoras. En pruebas piloto a todo régimen, tomadas a bordo de buques en fases iniciales de la certificación OMI, el sistema ha proporcionado la necesaria eficiencia biológica.

Hemos visto como muchas tecnologías han sido propuestas para eliminar del agua de lastre esas molestas especies invasoras. Algunas tienen el potencial de cumplir con las reglamentaciones en la vida real, y de éstas son las menos aquellas que se pueden desarrollar sin productos químicos tóxicos o complicaciones operativas. Con una tecnología única y libre del uso de productos químicos tóxicos, el resultado del proceso se vuelve eficiente y autónomo, así como inofensivo a los tanques de lastre y la tripulación.

V.II.- Aclaraciones previas

Para continuar entendiendo claramente la naturaleza de esta tecnología es necesario que entendamos ciertos conceptos que le sirven de base. Hemos empezado diciendo por ejemplo que la unidad AOT se sirve del efecto de la sinergia en dos procesos, el UV que ya conocemos, y el foto-catalítico redox, para dar lugar a radicales OH⁻, ejecutores finales de esta tecnología.

La catálisis es el proceso a través del cual se incrementa la velocidad de una reacción química. El proceso de catálisis implica la presencia de una sustancia que, si bien es

cierto, es parte del sistema en reacción, la misma se puede llevar a cabo sin la primera, sólo que se daría la reacción de forma natural, muchísimo más lenta. Esta sustancia se llama catalizador, que es por tanto la responsable de aumentar la velocidad de la reacción, reaccionando, regenerándose y que totalmente recuperable al final de la reacción, luego no resulta químicamente alterada en el transcurso de la misma.

La catálisis ha sido catalogada como una tecnología importante en el desarrollo de nuevos procesos químicos benignos con el medio ambiente, puesto que mediante el uso de catalizadores, se puede dar lugar a reacciones más eficientes y selectivas, que permiten eliminar subproductos y otros compuestos de desecho de las reacciones convencionales, y que pueden ser recuperados del medio de reacción para ser reutilizados. A lo anterior se le suma el hecho de que disminuye el consumo energético del proceso donde se aplique.

El campo de aplicación de la catálisis abarca tanto la prevención de la contaminación, mediante la elaboración de nuevas rutas catalíticas más limpias, como su eliminación, mediante diversos métodos de oxidación que pueden utilizar el catalizador en estado sólido con este fin. La foto-catálisis heterogénea, y otros procesos avanzados de oxidación, son buenos ejemplos de la aplicación de la catálisis como tratamiento para la destrucción de contaminantes.

El denominado efecto foto-catalítico, tiene lugar como una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un catalizador en combinación con el oxígeno, reduciendo la presencia de bacterias en un determinado ambiente. Este efecto se viene empleando desde hace tiempo en procesos como el tratamiento del agua, con la finalidad de eliminar los compuestos tóxicos en la misma.

Una de las aplicaciones de la fotocatalisis, como ya hemos comentado anteriormente, se encuentra en la resolución de problemas de interés ambiental, como puede ser la depuración de agua o de aire, utilizando un semiconductor sensible a la luz como catalizador. En este caso se habla de fotocatalisis heterogénea porque las fotorreacciones transcurren en la superficie del catalizador (en la interfase líquido-sólido o gas-sólido).

Este proceso se basa en la excitación del sólido foto-catalizador, normalmente semiconductor de banda ancha, como en nuestro caso será el TiO₂, sumergido en una solución, mediante la absorción de energía radiante, visible o como en la tecnología AOT, UV, lo que origina unas reacciones simultáneas de oxidación y reducción en diferentes zonas de la región interfacial existente entre las dos fases.

Por este motivo en este caso el efecto es redox, es decir, mediante reacciones de reducción-oxidación, o de transferencia de electrones. Para que exista una reacción redox, en el sistema debe haber una especie que ceda electrones y otra especie que los acepte. El reductor es aquella especie química que tiende a ceder electrones de su estructura química al medio, quedando con una carga positiva mayor a la que tenía. El oxidante es la especie que tiende a captar esos electrones, quedando con carga positiva menor a la que tenía.

Como puede deducirse, dado que el proceso completo implica por lo menos una reacción de oxidación y una de reducción, es necesario la presencia de ambos tipos de especies: oxidante y reductora.

Entre los materiales utilizados como catalizadores, se encuentran: ZnO, CdS, óxidos de hierro, WO₃, ZnS, o el utilizado en nuestro caso, TiO₂, entre otros, los cuales son económicamente asequibles, fácilmente detectables en la naturaleza, y pueden excitarse con luz de no muy alta energía, absorbiendo parte de la radiación del espectro electromagnético.

Los radicales hidroxilo se producen de la unidad AOT a través de los siguientes procesos catalíticos descritos más abajo. Estos radicales monovalentes son fragmentos moleculares que tienen un alto nivel de energía y son extremadamente reactivos como oxidantes, siendo la membrana del microorganismo el primer punto de ataque, pero con una disponibilidad muy corta, por lo que deben producirse donde sea necesaria su reactividad. La tecnología se basa en tres principales subprocesos sinérgicos:

- 1.- Foto-catalítico: $UV + TiO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow OH^-$
- 2.- Fotolítico: $UV + O_2 \rightarrow O_3$
- 3.- Fotolítico: $UV + O_3 + H_2O \rightarrow OH^-$

donde:

- UV: Luz ultravioleta
- TiO₂: Óxido de Titanio
- O₂: Oxígeno
- H₂O: Agua
- O₃: Ozono
- OH⁻: Radical hidroxilo

Dentro del área confinada de la unidad AOT las tres reacciones de arriba se combinan con el único propósito de crear los radicales OH⁻, de gran poder de oxidación. El OH⁻ puede reaccionar de 10⁶ a 10¹² veces más rápido que los oxidantes alternativos como el Ozono. El OH⁻ es, después del Flúor, el oxidante más energético. Para ser eficientes, estos procesos deben generar altas concentraciones de estos radicales. El uso de una longitud de onda determinada, en combinación con el catalizador, dará lugar a la generación de los OH⁻. Estos radicales entonces destruyen la membrana de la célula de los microorganismos, como podemos ver a continuación con este dinoflagelado (*Ceratium tripos*). Las fotos muestran las células algales tratadas/sin tratar. La diferencia obvia a simple vista es la falta de color, es decir, cloroplastos y otros pigmentos.

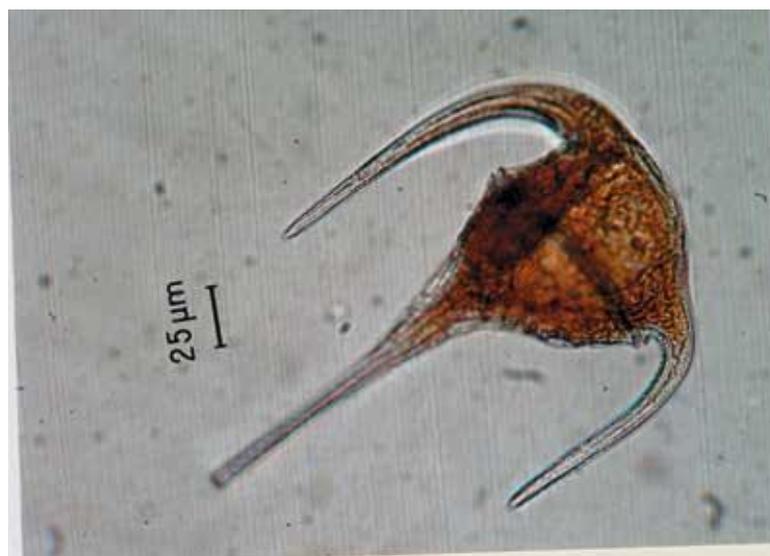


Figura 5.2.- Dinoflagelado antes del tratamiento

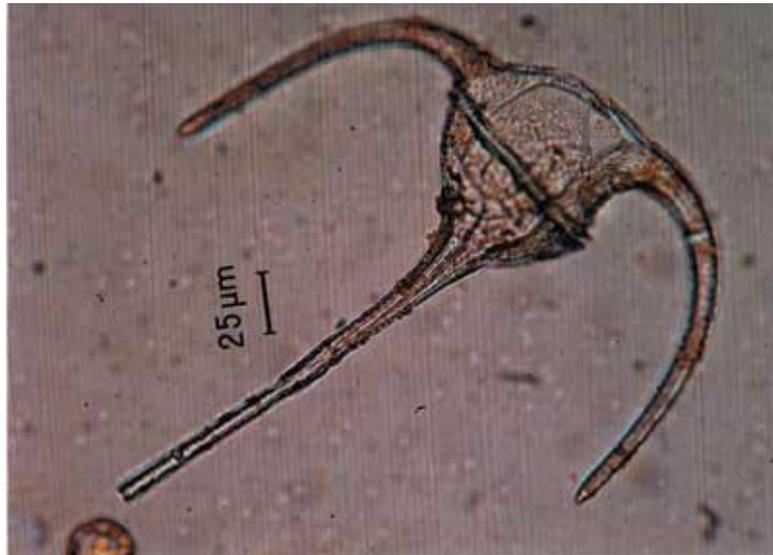


Figura 5.3.- Dinoflagelado después del tratamiento

Como hemos visto en la descripción del proceso, el ozono es uno de los procesos intermedios, que será transformado posteriormente en radicales OH⁻. En las mediciones hechas en el agua de mar el nivel máximo de ozono medido durante el proceso es de alrededor de 50 ppb (partes por billón). Y directamente después del proceso no queda nada de ozono. No se añaden sustancias al proceso, ni se producen residuos. Los radicales OH⁻ tienen un ciclo de vida extraordinariamente corto (nanosegundos), y por eso se descomponen antes de abandonar la caja sellada donde se producen y reaccionan, es decir, el reactor. Por este motivo no suponen ningún riesgo ni para el entorno ni para la tripulación. La cantidad de OH⁻ producidos esteriliza el agua, pero no cambiará sus propiedades.

V.III.- Definición de la Tecnología AOT

Los Procesos de Oxidación Avanzada representan un nuevo concepto en los tratamientos del agua. Estos procesos permiten la eliminación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. A diferencia de los tratamientos convencionales, éstos permiten alcanzar un alto grado de pureza. Son procesos físico-químicos que producen cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Se definen como

aqueellos procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias de alto poder oxidante, principalmente el radical hidroxilo. Dentro de las ventajas de estas nuevas tecnologías sobre los métodos convencionales, se encuentran:

- Generalmente se consigue la mineralización completa (destrucción) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, que no emplean especies de tan alto grado de oxidación, no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica.
- Usualmente no generan lodos que a su vez requieran de un proceso de tratamiento y/o disposición.
- Son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico.
- Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración (por ejemplo, ppb).
- No se forman subproductos tras la reacción.
- Son ideales para disminuir la concentración de compuestos tras el paso por pretratamientos alternativos, como la filtración.
- Generalmente, mejoran las propiedades organolépticas del agua tratada.
- En muchos casos, consumen mucha menos energía que otros métodos.
- Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.

Así el sistema que tratamos, gracias a que se sirve de este tipo de proceso AOT, se basa en el concepto de la tecnología inteligente. Podemos encontrar procesos libres de química en otras aplicaciones, incluidas muchos de los “productos inteligentes” de hoy en día. Es el caso por ejemplo de las ventanas autolimpiables en los rascacielos y coches, las cuales previenen el desarrollo de organismos a través de una reacción AOT que se

produce cuando la luz del sol alcanza el dióxido de titanio, componente clave de esta tecnología.

Para ser aprobado por la OMI, el sistema debe reducir los organismos viables en el lastre a un número máximo por unidad de volumen. Aquellos que sean mayores de 50μ , por ejemplo, se deben reducir a 10 individuos/ m^3 . Un reto más complicado, sin embargo, es la reducción de organismos menores de esas 50μ . Éstos se deben reducir a tan sólo 10 individuos/mm, un límite que pocos sistemas de cualquier clase han conseguido.

Así vemos como las Regulaciones llevan un control del número máximo de organismos “viables” por unidad de volumen de lastre después del tratamiento. Se refieren a organismos viables como aquel tipo de organismo o forma de vida del mismo que esté viviendo en ese momento. Como sabemos, un organismo está ecológicamente muerto, y por lo tanto no es viable, si se inhibe su reproducción. Por otra parte un organismo puede parecer muerto, pero sin embargo retener su capacidad reproductora después de algún tiempo. El agua de prueba necesita almacenarse por un periodo de 5 días, método para determinar realmente la viabilidad y el poder reproductivo con total seguridad.



Figura 5.4.- Sin química no se producen riesgos ni retrasos.

Es importante que destaquemos tres características. Es un sistema sin química, sin riesgos y sin retrasos. Su potencial está libre de química. Es evidente que un problema no puede ser solución a otro problema. En teoría, alcanzar los requisitos de la OMI respecto al tratamiento del lastre es relativamente fácil. Si se utilizan productos químicos, es sólo una cuestión de dosis. Pero trabajar con productos químicos tóxicos no es evidentemente lo ideal, ya que son potencialmente peligrosos respecto al equilibrio medio-ambiental y respecto a la salud de la tripulación, aparte de ser complicados o delicados de almacenar. Además necesitan cierto tiempo para su funcionalidad, que se traduce en retrasos operativos. Más aún, deben ser repuestos regularmente, que se traduce en elevados costes para el ciclo de vida del sistema. Con el sistema que tratamos no hay nada peligroso que manejar ni almacenar que comprometa la seguridad de la tripulación, y nada de esperas para activar sustancias que frenen el dinamismo necesario del tratamiento. Por lo tanto, mientras que la relación causa-efecto directa es la protección del entorno, crea a su vez indirectamente ventajas operativas. Por otra parte como decíamos los miembros de la tripulación no están nunca expuestos a riesgos, a pesar del potencial del sistema para tratamiento de microorganismos. Además no causa retrasos en las operaciones de lastre/deslastre, ya que al no depender de reacciones químicas no habrá en ningún momento situaciones de espera para que la sustancia activa haga que el sistema comience a funcionar.

El hecho de que el sistema esté libre de productos químicos ofrece muchos beneficios, no sólo porque no haya riesgos al entorno, sino porque no habrá que almacenar ninguno de estos productos tóxicos ni demás consumibles a bordo. Esto significa que permite el uso total del espacio disponible de carga, sin tener que cargar nada extra cuando el buque llega a puerto. Por otro lado no hay nada potencialmente peligroso a bordo para quien trabaje alrededor. De esta manera evitamos no sólo los costes de consumibles, sino también los costes indirectos normalmente provocados por éstos, además de la pérdida de tiempo.

V.IV.- Principio de trabajo del Sistema de Tratamiento AOT

A continuación veremos la principal disposición y funcionamiento de este sistema de tratamiento de lastre (BWMS). El lastre se trata a la entrada y de nuevo en la descarga.

El tratamiento a la entrada asegura que sólo una mínima cantidad de organismos viables entre en los tanques de lastre y reduce la acumulación de sedimento en los tanques, área potencial de supervivencia de microorganismos. A la descarga se vuelve a tratar para asegurar que no escape al sistema ningún potencial rebrote de organismos de los tanques.

El concepto principal en referencia a los componentes es la simplicidad modular. Este sistema es tan compacto debido en parte a su diseño modular. Se construye con una serie de componentes en bloques, que se pueden acoplar con una flexibilidad que se traducirá posteriormente en una distribución óptima. Tras el paso por el filtro de 50 μ , que reduce los sedimentos a la entrada y bloquea los organismos más grandes, el sistema incorpora uno o más de sus unidades AOT. Éstas, que comprimen la fase activa del tratamiento, se pueden combinar para alcanzar diferentes rangos de flujo. Serán las responsables de los radicales OH $^-$, que serán producidos dentro del sistema de tratamiento, y de ahí que no se requiera ningún almacenaje especial o manipulación. Por su leve ciclo vital y sobre todo por su alto grado de reactividad tienen que producirse donde la producción de los radicales puedan ejecutar su actividad de forma inmediata, esto es, en el interior del reactor.

El rendimiento de las unidades AOT está salvaguardado por un sistema de control y uno de limpieza automática (CIP), que usa una solución biodegradable para prevenir la acumulación escalonada de agua de mar.

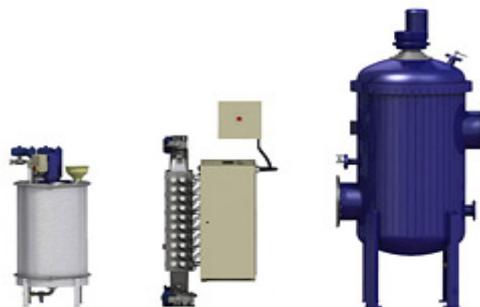


Figura 5.5.- De izquierda a derecha: Unidad CIP, Unidad AOT y Filtro

De esta manera, el BWMS consiste en los siguientes componentes principales:

- 1.- La unidad AOT (modular), sin aditivos ni productos químicos que añadir al proceso de tratamiento.
- 2.- Filtro para retirar los organismos mayores y partículas.
- 3.- Sistema de limpieza, para las unidades AOT.
- 4.- Sistema de control, para la operación automática de la totalidad del sistema de tratamiento de lastre.

Respecto a la descripción de la operación, el sistema Pure Ballast se puede adaptar a los distintos requisitos de cada buque, pero su principal modo de trabajo es siempre el mismo:

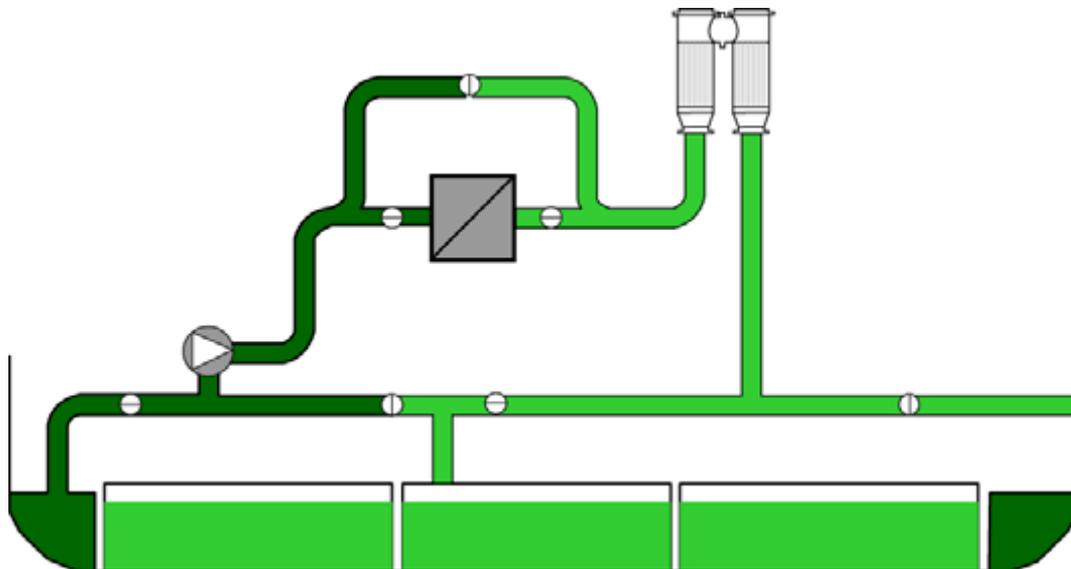


Figura 5.6.- Lastrado de tanques con Sistema AOT

Lastrado:

- El agua pasa a través del filtro autolimpiable (tipo vela), de 50 μ , limitando la entrada de organismos y sedimento.
- El agua es tratada con la tecnología de oxidación avanzada (AOT), la cual destruye microorganismos por la ruptura de la membrana de sus células.

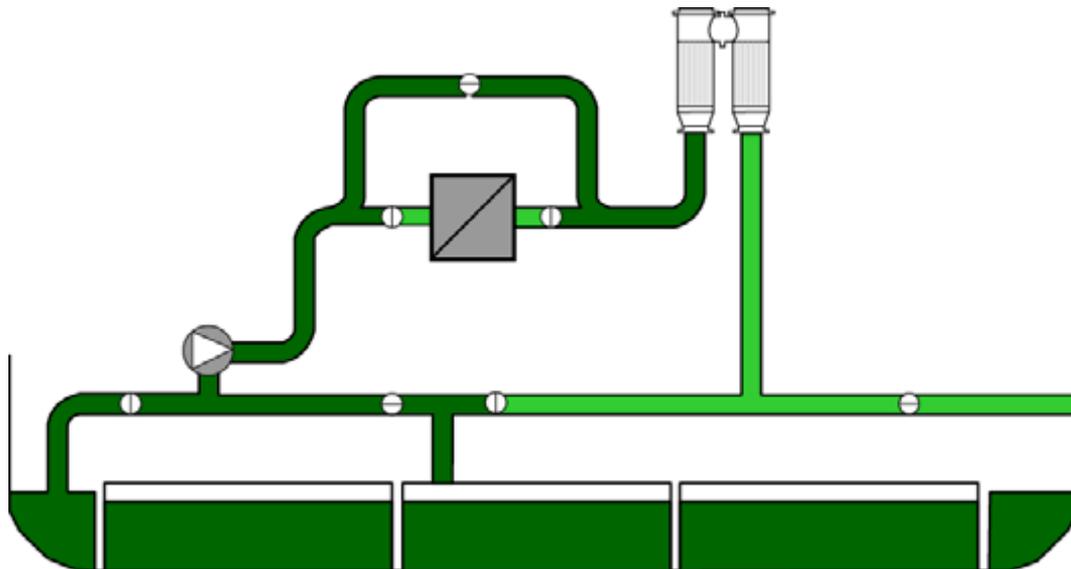


Figura 5.7.- Deslastre de tanques con Sistema AOT

Deslastre:

- El agua es tratada de nuevo para eliminar cualquier tipo de aumento que haya ocurrido en los tanques.
- El filtro de entrada es baipaseado para evitar la contaminación en el lugar de deslastre.

Su funcionamiento es una cuestión de control. El problema del lastre es complicado, pero las formas de resolverlo no deben serlo. Un trabajo sobre el sistema de tratamiento debe ser para inhibir las especies invasoras, no las operaciones de abordaje. Por eso este sistema está diseñado para funcionar detrás del lugar de acción, sin entorpecerlo. Está totalmente automatizado y es simple de operar, que lo hace ideal para tripulaciones que

no estén familiarizadas con el tratamiento de lastre. Encender y parar con sólo un botón lo integra fácilmente con el sistema de lastre y no causa retrasos en las operaciones de lastre. Para mayor simplicidad, puede ser manejado a control remoto.

Así, al ser el equipo tan fácilmente manejable llega a quedar totalmente integrado en el sistema de lastre del buque, y previsto para funcionar en modo “encender y olvidarse de la operación”. Si además se integra en el sistema automático total del buque, su funcionamiento se hace aún más simple. En tales casos, el sistema se puede encender y parar desde la sala de control de máquinas, el puente de mando o cualquier otra situación designada a bordo para el control del buque como decíamos por control remoto. De esta manera siempre se puede echar un vistazo desde la distancia y la automatización del sistema no queda limitada a un panel de control. Para controles remotos considerables, se puede incluso manejar vía unidades satélite. No importa cuál sea el método de control que se use ya que este tipo de sistema trabaja con precisión registros de encendido-parada y otros datos de acuerdo con las directrices OMI.

El sistema está planificado para manejarse en un rango de capacidades de flujo, basándose, como el concepto de sus componentes, en la ya mencionada metodología modular, y diseñado de esta forma para abarcar flujos a partir de 250m³/h hasta 5000m³/h. Si es necesario, el sistema más pequeño puede incluso usarse para rangos de flujo menores, por debajo de 50m³/h. Se adapta a los rangos de cada buque, sin afectar negativamente al tiempo necesario para las operaciones de lastre/deslastre. Esta adaptabilidad se alcanza usando filtros de áreas de filtración proporcionales al rango de flujo, y utilizando el número adecuado de unidades AOT también para un rango específico. Por el momento una de las situaciones para la que no estaría preparado el sistema es para su instalación en un entorno a prueba de explosiones, siendo sin embargo viable, y será un añadido opcional en el futuro.

El proceso de tratamiento se enriquece con un sistema de limpieza para las lámparas UV. De esta manera el sistema se limpia regularmente y de forma automática, para prevenir una reducción del funcionamiento debido a la acumulación de contaminantes del agua de mar que ya conocemos, como el hierro, el magnesio, aceite, etc. El sistema CIP (sistema de limpieza in situ) usa una solución limpiadora respetuosa con el medio ambiente, la cual es reutilizada hasta que se consume. Antes de usarla es necesario diluirla en agua.

Es biodegradable, y se puede depositar una vez que ya no sea activa tanto en tanques como en el mar, sin ninguna consecuencia medioambiental.

Comprobamos así que los únicos productos consumibles en el sistema son las lámparas UV y el líquido de limpieza del sistema CIP para las lámparas, que se deben almacenar a bordo para acciones inmediatas por fallos. Las lámparas UV de la unidad AOT requiere el mismo procedimiento de manejo que las fluorescentes usadas comúnmente en muchos buques actuales. Se reemplazan después de un ciclo de vida de varias miles de horas tras las cuales se recogen y entregan en tierra, catalogadas como desechos controlados.

El líquido del proceso de limpieza se usa después de cada operación de lastrado/deslastado. Esto significa que este líquido no es parte activa del proceso de tratamiento del lastre, sino que se usa para el mantenimiento del BWMS. Es fácilmente detectable cuándo deja de ser activo, por la medición del PH. La duración del líquido varía de buque a buque. Por ejemplo en un buque con una capacidad de lastre de 1000m³ el mismo líquido se podrá usar en el sistema CIP al menos en 5 ciclos de tratamiento del lastre, antes de ser apartado. Normalmente se diluyen 25l de líquido concentrado 1:40 en el tanque CIP, lo que significa que la cantidad que va al agua de lastre es de 1:2.000.000.

Es necesario recordar que la calidad del agua puede tener potencialmente algún efecto en el rendimiento del sistema. El proceso AOT utiliza la luz UV como dispositivo principal de energía para la necesaria producción de radicales hidroxilo, y como sabemos estará consecuentemente afectada por la turbidez del agua. Además, con cargas muy altas de partículas, el flujo podría limitarse, disminuyéndose el rango alcanzado, debido al aumento en la caída de presión por la presencia de dichas partículas a su paso por el filtro. El sistema de control mandaría una alarma si el filtro pasa de una bajada determinada de presión. El sistema se prueba con referencia a los niveles estandarizados de POC (compuestos orgánicos particulares), DOC (compuestos orgánicos disueltos), TSS (sólidos suspendidos totales) y de salinidad.

V.V.- Instalación y mantenimiento

La solución apropiada de instalación debe además encajar bien. Una solución que satisfaga los requisitos de la OMI pero que no encaje bien en la sala de máquinas no es realmente una solución. En áreas tan reducidas como las de abordó, cada pequeño espacio debe aprovecharse, optimizándolo. Por eso el sistema se amolda al espacio disponible. Siempre partiendo de una disposición mínima de cada componente, que veremos a continuación, la distribución de éstos se diseñará con una sala de máquinas en mente. Esto simplifica la instalación, así como el día a día de las operaciones. Por otra parte se opera siempre a unos costes operativos bajos. Así que encaja fácilmente en el presupuesto de operación, en una sala de máquinas ya de por sí bastante acompañada de auxiliares.

Veamos la necesidad de espacio mínimo que requiere cada unidad del sistema, a instalar en la sala de máquinas o de bombas del buque. Las necesidades de tamaño del sistema dependen de la capacidad de bombeo de lastre del buque. El sistema se diseñará para el rango de flujo deseado en el buque. Por lo tanto las necesidades de instalación para un sistema de 500m³/h, es decir, el que estaría formado por dos unidades básicas AOT de 250m³/h, en temas de espacio son de un total aproximado de 3m² (excluyendo tuberías y válvulas). La potencia que requerirá este rango de flujo es de 15Kw, con un bombeo de lastre de empuje mínimo de 3bar, y la disponibilidad de aire comprimido.

Según aumente el sistema, el volumen del filtro aumentará linealmente con el rango de flujo de lastre, mientras que la unidad de limpieza será la misma a pesar del rango de flujo. La unidad AOT también aumentará linealmente con el flujo, es decir, un aumento de dos veces el flujo dará lugar a un aumento de dos veces el tamaño respecto al número de unidades AOT. Pero siempre con la idea de integrar, no añadir. Se trata de un ajuste perfecto, ya que el sistema no se diseña como una instalación adicional, sino como una parte integral del sistema de agua de lastre. Aunque la instalación sea en una nueva construcción o en un buque ya existente, se acopla a la perfección con los demás componentes del sistema de lastre y al espacio disponible. Como resultado de ello, no se interfiere en las operaciones de lastre/deslastre, o en el trabajo diario cercano al sistema de lastre. Y esto es debido a que el espacio se aprecia en la sala de máquinas más que en cualquier otra parte del buque, donde los componentes del sistema, los cuales ya son pequeños de por sí, se construyen para que encajen entre las otras partes del sistema de

lastre. Esto significa que se puede instalar en condiciones ajustadas de espacio, y a menudo en áreas que de lo contrario serían difíciles de utilizar. Con la adecuada planificación, los componentes de este sistema de tratamiento se pueden de hecho acoplar a líneas de tuberías ya instaladas.

Una particularidad más del sistema es que no tiene que ser instalado únicamente en dique seco. Se puede instalar a pleno servicio del buque. Respecto a las posteriores necesidades de mantenimiento del sistema, los intervalos se reducen a una vez por año. El mantenimiento de este sistema no es mayor que el de cualquier otro sistema marino usado actualmente, como los filtros de fuel-oil o los generadores de agua potable. No requiere de un mantenimiento especializado. Las rutinas de mantenimiento se podrán realizar en todo momento de servicio del buque, y hasta cierto punto también durante las operaciones de lastre/deslastre.

Respecto a la necesidad o no de personal especializado, como el sistema completo es automático, el oficial que normalmente esté encargado de las operaciones de lastre/deslastre estará también capacitado para el sistema de tratamiento de lastre, con una breve explicación del sistema. El único servicio regular que se necesita es la limpieza de las lámparas UV, que como sabemos se desarrolla automáticamente después de cada operación de lastre/deslastre.

Con todo, el ciclo de vida útil del sistema prevista de un BWMS de este tipo no debe ser menor a la del buque, de 25 a 30 años. La fiabilidad de sus componentes internos es muy alta. La previsión en la sustitución de éstos es tan sólo de un par de veces durante la vida del sistema.

V.VI.- Seguridad y Medio Ambiente

Se instaló un prototipo de gama alta a bordo del buque que veremos en el apartado de pruebas, el transbordador Don Quijote, sistema aprobado por Lloyd's Register, de acuerdo con sus reglamentaciones rutinarias de seguridad para instalaciones en el sistema de lastre, el cual ya de por sí se considera como un importante sistema respecto a la seguridad.

Los sistemas comerciales se clasifican y aprueban por sociedades de clasificación en referencia a las reglamentaciones estandarizadas para instalaciones marinas, en sala de máquinas o de bombas, antes de ser instalados a bordo. El proceso AOT es un sistema de un diseño totalmente estanco. Su funcionamiento se desarrolla de forma hermética en el interior del reactor, evitando cualquier riesgo potencial de salud o seguridad a la tripulación o al buque, respectivamente. Las precauciones respecto a la seguridad se incorporan desde el diseño y para los procesos normales de funcionamiento del sistema:

La luz UV está totalmente hermetizada durante el proceso y no se puede acceder a ella sin llevar a cabo una serie de pasos de desmontaje, con herramientas especiales. Las lámparas se sellan dentro de las camisas de cuarzo por la parte del agua, y los reactores se blindan por su interior con la cubierta de titanio, que además de participar en las reacciones se trata de un poderoso componente anticorrosivo, con lo cual la unidad no quedará afectada por la exposición al agua salada. Las lámparas no pueden manipularse sin desconectar el suministro de potencia de cada lámpara, o de lo contrario se generaría una alarma, y la posterior e inmediata desconexión automática del sistema, además del cierre de válvulas.

La solución de limpieza usada en el sistema CIP para las lámparas está certificada como biodegradable, y se utiliza a bordo de buques actuales sin ningún tipo de precauciones especiales de seguridad.

La unidad AOT podría llegar a sobrecalentarse en el caso de que se dieran una serie de fallos en cadena. Este fenómeno dará lugar a una sucesión de apagados automáticos, así como de alarmas. Si el sobrecalentamiento continuara se abrirían las válvulas de presión.

Tanto las válvulas que conecten este sistema a la entrada de lastre como las que lo conecten a la salida se cerrarán en el caso de un fallo general de potencia a bordo del buque.

Las lámparas UV contienen como sabemos una cantidad limitada de mercurio, al igual que las lámparas fluorescentes ordinarias de baja presión que se usan para la iluminación, y deberán tratarse por tanto con el mismo cuidado. Este mercurio queda

sellado herméticamente en el interior de la unidad AOT. El titanio a su vez hace a la unidad muy robusta frente a tensiones mecánicas externas.

En general los buques tienen un sistema de detección de fugas para líquidos, como los de agua de mar en los tanques de sentina, para prevenir cualquier situación comprometida a la estabilidad del barco o su estructura.

El sistema tiene un equipamiento estándar para prevenir fugas de las conexiones de las camisas de cuarzo, y el riesgo de pérdidas no es mayor que para otros equipamientos marinos. Todas las válvulas relacionadas al lastre tienen una señal de retroalimentación con la actual posición de la válvula. Con un fallo de potencia todas las válvulas, incluidas las del sistema se cerrarán. Así, en caso de inundación, excepto el hecho del mayor número de tuberías y conexiones que las necesarias sin este sistema, no hay riesgos adicionales.

Aceptabilidad medio-ambiental

Empezando por la primera unidad del sistema, no se contemplarán flujos de desecho en el proceso de filtrado. El agua de retorno del filtro de lastrado es devuelta a su lugar de origen, por lo que no contendrá especies invasoras, no suponiendo un peligro para ese lugar. Y como ya hemos apuntado durante las operaciones de deslastre, el filtro es baipaseado para no producir flujos de desecho.

El sistema no implicará ningún tipo de tratamiento adicional al lastre, ni son necesarios tiempos de espera post-tratamiento antes de la descarga, ya que las propiedades del agua no cambian, excepto por el cambio de su material orgánico de vivo a muerto. Si medimos su temperatura por ejemplo, la del agua tratada en la descarga no será diferente a la ambiental, ya que el consumo de potencia es muy bajo como para afectar a la temperatura del lastre. El motivo de que nada cambie en el agua tratada es por el hecho de que no se añaden sustancias o efectos de ningún tipo al proceso, por lo que no se crean residuos. Los niveles de radicales OH⁻ son los suficientes para esterilizar el agua, pero no cambia las propiedades del lastre, esto es, no se usan residuos o subproductos que presenten problemas posteriores de manejo, almacenaje o vertidos. Los efectos letales o tóxicos para los organismos son los debidos al proceso dentro de la unidad AOT.

Respecto a posibles emisiones de aire adicionales, como consecuencia del uso del sistema, no se producirán en ningún caso durante las operaciones de tratamiento con este sistema. En este BWMS el aire se mezcla en el agua de lastre, pero las propiedades de este aire no cambia a través del tratamiento. La otra emisión potencial de aire sería por el uso extra de combustible, pero resulta ser insignificante si nos fijamos en el consumo de potencia del sistema prototipo de 500m³/h que reflejábamos más arriba. Su consumo de energía durante el lastrado era de 15Kw, casi imperceptible al compararlo con el consumo del motor principal, 15000Kw.

V.VII.- Rentabilidad

El coste estimado de instalación y funcionamiento en buques que se encuentren en construcción o en aquellos que ya estén construidos depende en gran medida de cada buque en concreto y de su rango de flujo de lastre. Sin embargo, el coste estimado para tratar la unidad de volumen de lastre, alcanza un valor aproximado de 0,01 €/m³ de lastre tratado, con referencia al consumo de potencia y consumibles.

El coste de mantenimiento del sistema está muy limitado y relacionado con los materiales consumibles implicados. Los consumibles se relacionan a su vez con el número de operaciones de lastre, estimándose un gasto de aproximadamente 0,0035 €/m³.

Respecto a costes de tratamiento posteriores de residuos y sustitución de componentes sabemos que no puede haber costes en referencia a residuos ya que el lastre que pasa a través del sistema puede ser descargado con seguridad al agua. Las lámparas UV en los sistemas de tratamiento siguen las mismas pautas de sustitución que las normales fluorescentes de los buques actuales.

V.VIII.- Pruebas

Prueba en tierra:

- Rango de flujo de lastre = 500m³/h

Características - Tiempo de almacenamiento en los tanques de lastre = 1 día

- Temperatura = 19°C

La unidad AOT eliminó diatomeas (tipo de algas unicelulares microscópicas). Un ejemplo son las *Pseudonitzschia*, que perdieron su habilidad para nadar tras el tratamiento, y se vieron visiblemente afectadas en la pigmentación celular. La abundancia de organismos mayores disminuyó de 38000 a 400. Y la de organismos menores de 64000 a 0,1, tras el tratamiento y posterior traslado a tanques, haciendo así un total de 48h, más un día de almacenamiento en otras instalaciones adicionales.

Las pruebas de toxicidad han mostrado que no se detectan residuos después del tratamiento. Éstas están basadas en el estudio de los efectos producidos sobre diferentes especies de plancton, así como en análisis químicos del agua. Las dos principales pruebas son la prueba de toxicología estándar con *Tetraselmis* para organismos, y el sistema de prueba *Artemia* (ATS). De acuerdo con el buen resultado de ambos métodos, se confirma que el sistema AOT no provoca que el agua tratada se vuelva tóxica tras el paso por su dispositivo.

Los conductores AOT usados en las pruebas corresponden exactamente a los usados a bordo. En el laboratorio el montaje consistió en unidades AOT 1+1 (lámparas) en serie, y el prototipo de gama completa del primer buque donde se probó consistió en unidades completas AOT 37+37.

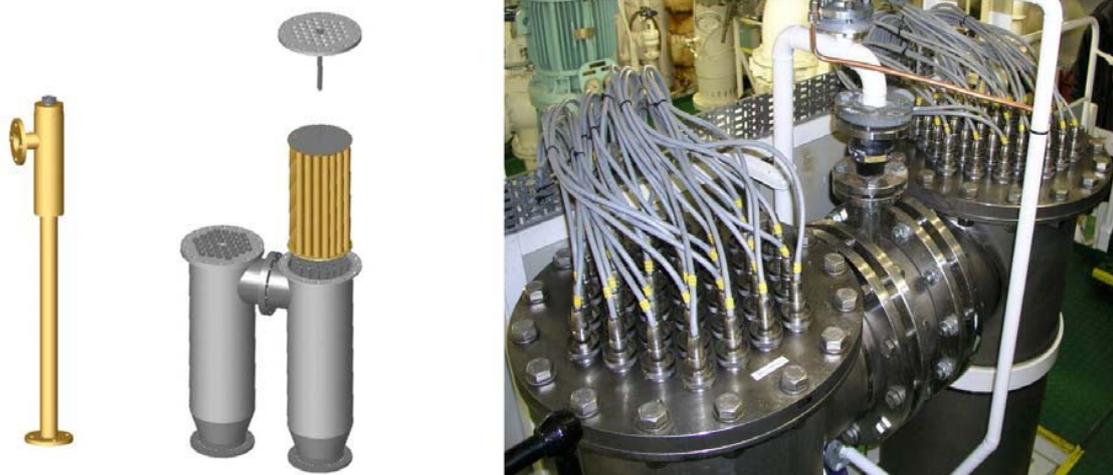


Figura 5.8.- La unidad AOT: A la izquierda una sola unidad. Se prueba una disposición doble, conformando el prototipo de gama completa (centro), con una pareja de 37+37 (lámparas). A la derecha una foto del prototipo instalado en el M/V Don Quijote.

La eficacia del tratamiento se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficacia (\%)} = 100 - 100 * \frac{\text{organismos vivos en la muestra del tratamiento}}{\text{organismos vivos en la muestra inicial}} (\%)$$

Los efectos de la temperatura fueron también puestos a prueba, variando los grados del agua de lastre, de 5 a 25°C, mediante calentadores de inmersión, antes del test de organismos Tetraselmis. No se encontraron diferencias en la eficacia del tratamiento.

Los efectos de una elevada turbidez se midieron añadiendo caolín (arcilla blanca muy pura para la fabricación de porcelana y papel) al agua filtrada. Se fue añadiendo hasta que se alcanzó la turbidez deseada, medida por un turbidímetro (BTM-2000). Tras añadir el caolín, se realizó la prueba de organismos Isochrysis. Se produce un efecto negativo en la eficacia del proceso de tratamiento sobre la microalga Isochrysis. En comparación con la prueba de agua de 2,5 NTU (unidades de turbidez nefelométricas), es decir, agua clara, la eficacia bajó un $5,6 \pm 3,3\%$ respecto a este agua de referencia.

La eficiencia del sistema ha sido también demostrada en su medio de trabajo. Su capacidad para cumplir con los requisitos de la OMI se reflejan en procesos llevados a cabo en pruebas piloto a bordo de varios buques.

Un prototipo de la gama completa del sistema, en este caso con un rango de flujo de 500 m³/h, se instaló en Septiembre de 2003 a bordo del primer buque que ha podido trabajar con este sistema, el buque transbordador Ro-Ro M/V Don Quijote, de la empresa Wallenius. El buque tiene 50.000TPM, y una capacidad de carga de 6.000 automóviles estándar. Su capacidad total de lastre es de 8.000m³. La capacidad de las bombas de lastre es de 2*5.000m³/h. Se trata de un buque transoceánico, con rutas globales tales como los Océanos Pacífico, Atlántico e Índico (lo que de por sí ya demostraría que la duración del viaje no implica limitaciones al sistema), así como rutas menores tales como los Mares Mediterráneo, Báltico, u otras áreas como el Golfo de Méjico o el Río Hudson. El sistema ha operado por lo tanto globalmente, aunque las pruebas biológicas se han llevado a cabo en regiones del Norte de Europa.

Se instaló integrándolo en el sistema de lastre ya existente del buque. El sistema de tratamiento alcanzó y alcanza los límites necesarios incluso bajo duras condiciones operativas, y con variaciones en el flujo del lastre. Además de la eficiencia biológica, el sistema a bordo del Don Quijote ha demostrado una automatización fiable, y la capacidad de funcionar sin problemas al ritmo de las operaciones de lastre. Ha sido regularmente evaluado desde que se instaló, con relación al sistema de operación, rendimiento, instalación, reglamentos de mantenimiento, servicio, aspectos de seguridad del buque, tripulación, automatización, eficiencia biológica, efectos medio-ambientales, costes, etc. Se instalaron posteriormente (2005/06), para pruebas adicionales, a bordo de otros dos buques, con los mismos efectos positivos.

Los resultados se obtuvieron en 2006, en el Instituto Noruego de Investigación del Agua (NIVA), bajo la supervisión de DNV. Estas pruebas escaladas cuidadosamente fueron desarrolladas a todo régimen y acorde con las pautas de pruebas a seguir por la OMI. Pruebas adicionales, supervisadas por la Universidad de Estocolmo, han demostrado que esta tecnología no produce compuestos residuales o toxicidad. El sistema experimentó más recientemente sus primeras pruebas a todo régimen para su aprobación, alcanzando los resultados preliminares de forma tan positiva como aquellos que se consiguieron en las pruebas piloto.

La capacidad de este sistema para cumplir con la OMI está demostrada, y la veremos como ejemplo a seguir en el apartado de reglamentaciones. Las pruebas mostraron que trata al lastre dentro de los límites marcados por la OMI, y que no produce componentes residuales o toxicidad.

VI.- Reglamentaciones y Convenios

VI.I.- La respuesta internacional

Las especies Invasoras exóticas son por definición un problema transfronterizo, y por tanto sólo puede ser efectivamente dirigido a través de la cooperación internacional. Hoy día se dispone de una serie de instrumentos internacionales ya relevantes frente al problema de las EEI marinas y costeras dentro del marco regulatorio internacional. Los objetivos en cada uno de ellos se centran en dos puntos:

- Implantación de un régimen de regulación Internacional para especies invasoras, particularmente aquellos relativos a los ambientes marinos y costeros.
- Divulgación de la visión de las iniciativas internacionales para promover el intercambio de información y el apoyo para el manejo de especies invasoras.

Hay cerca de 50 instrumentos legales acordados internacionalmente o guías que tratan con algunos aspectos de la introducción, control, y erradicación de EEI. Estos instrumentos establecen la política o normas técnicas que deberían formar una base para el marco legal nacional. Ellas caen dentro de las categorías:

Los acuerdos establecidos enfocados en el control de introducciones y propagación de plagas (algunos de los cuales se refieren a EEI, y otros no) y enfermedades, para proteger a los humanos, animales y plantas a través del establecimiento de sistemas de cuarentena. Una serie de acuerdos de cuarentena ahora mandan y gobiernan la sanidad (salud humana - OMS regulaciones internacionales de salud), zoonosaria (salud animal OIE, Código de Salud Animal Internacional y el Código Internacional de Salud para Animales Acuáticos), y Fitosanitaria (plan de salud - Convención Internacional de Protección de las Plantas), medidas para controlar introducciones con estos propósitos.

Tratados relativos a Biodiversidad, los cuales están relacionados primordialmente con impactos de EEI en especies nativas y ecosistemas. Algunos se enfocan específicamente en ecosistemas marinos y/o en sistemas de agua aislados.

Más recientemente, las guías técnicas, códigos de conducta y convenciones, como por ejemplo la OMI, donde nos centraremos con la Convención de Aguas de Lastre, orientadas a minimizar los riesgos asociados con transportes específicos y rutas de introducción relacionadas al comercio.

La colección de instrumentos existentes ha sido desarrollada por diferentes cuerpos o entidades multilaterales en diferentes momentos y con diferentes objetivos, para la implementación de diferentes agencias nacionales y actores sectoriales. Esto afecta en cómo ellos se refieren a las EEI, bajo los términos, definiciones, y procedimientos usados. Como resultado hay numerosos vacíos e inconsistencias en este marco. El vacío más importante en el marco legal para las invasiones marinas es que actualmente no hay ninguna medida de prevención internacionalmente convenida para las incrustaciones en cascos como un vector de EEI, aunque la Decisión de CDB (Convención sobre Diversidad Biológica) VI/23 §7 llama a la OMI a desarrollar mecanismos para minimizar esto como una materia de urgencia. Además, existe preocupación de que lo provisto por la Convención Internacional de la OMI sobre Control de Sistemas Peligrosos Anti-Incrustación en buques (2001), sobre que deje de usarse tributiltín (TBT) en la pintura, podría aún llevar a un incremento significativo en el número de introducciones de especies invasoras incrustantes.

Los Instrumentos Internacionales más relevantes sobre EEI marinas y costeras son:

- La Convención sobre Diversidad Biológica
- La Convención Rasar
- La Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar
- La Convención de Aguas de Lastre
- La Guía técnica para pesquerías y Acuicultura
- La Guía técnica para control de enfermedades y patógenos

- Programas e Iniciativas Internacionales

Convención sobre Diversidad Biológica; Convención Rasar

La Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), negociada bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA, o UNEP por sus siglas en español) fue abierto a la firma el 5 de junio de 1992 y entró en vigor el 29 de diciembre de 1993. Hasta el presente ha sido ratificada por 188 países. Los objetivos de la CDB son promover "la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y una justa y equitativa participación en los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos".

La Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés) es el órgano superior de la Convención. Entre 1994 y 1998 realizó cuatro reuniones (Nassau, las Bahamas, noviembre / diciembre de 1994; Jakarta, Indonesia, noviembre de 1995; Buenos Aires, Argentina, noviembre de 1996; Bratislava, Eslovaquia, mayo de 1998). Las decisiones principales incluyeron la creación de un mecanismo para promover y facilitar la cooperación científica y técnica (Mecanismo de Intercambio o CHM, por sus siglas en inglés), la designación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), como el mecanismo financiero interino y la firma del correspondiente Memorando de Entendimiento (MoU), la designación de Montreal, Canadá, como la sede permanente de la Secretaría, y la cooperación con otras convenciones relacionadas con la biodiversidad. La COP también estableció dos grupos de trabajo abiertos *ad hoc* sobre Bioseguridad y sobre el artículo 8.h de la CDB (más abajo), así como un panel de expertos sobre acceso y participación en los beneficios (ABS). La COP desarrolló programas de trabajo temáticos sobre ecosistemas acuáticos interiores, biodiversidad marina y costera, biodiversidad agrícola y biodiversidad forestal.

La CDB es el único instrumento legal para proveer una base amplia de medidas para proteger todos los componentes de la biodiversidad contra especies exóticas.

El artículo 8(h) de la Convención requiere de las Partes:

“Tanto como sea posible y apropiado, (para) prevenir la introducción, controlar o erradicar aquellas especies exóticas que amenazan los ecosistemas, hábitat y especies”.

En reuniones subsecuentes de las Partes en el CDB se han ido adoptando un número de decisiones relativas a EEI, culminando en 2002 en COP6, con la adopción de la Decisión VI/23 sobre especies exóticas que amenazan ecosistemas, hábitat y especies, en la cual:

- Se reafirmó la importancia de las estrategias nacionales y regionales de EEI.
- Se recomendó el contenido de estrategias y planes de acción nacionales.
- Urgió la cooperación Internacional y regional más cercana y medidas específicas para una construcción de capacidades, evaluación, información y herramientas.
- Urgió a las Partes, a otros gobiernos y organizaciones relevantes promover e implementar los Principios Guías para la Prevención, Introducción y Mitigación de Impactos de Especies exóticas que amenazan los ecosistemas, hábitats o especies anexas a la invasión.

La segunda reunión de la Conferencia de las Partes (COP) en 1995 adoptó un programa de acción para implementar la Convención sobre ambientes marino costeros. Conocido como el “Mandato de Yakarta sobre Diversidad Biológica Marina y Costera”, identificó 5 problemas temáticos:

- Manejo Integrado de áreas Marinas y Costeras
- Áreas Protegidas Marinas y Costeras
- Uso sostenible de recursos vivos marinos y costeros
- Maricultura
- Especies exóticas

Los objetivos de este programa son:

- Conseguir un mejor entendimiento de las rutas y las causas de introducción de especies exóticas, así como el impacto de dichas introducciones en la diversidad biológica.
- Poner en práctica mecanismos para controlar todas las rutas de introducción, incluyendo la navegación, el comercio y la maricultura, para especies exóticas potenciales en el medio ambiente marino y costero.
- Mantener una lista de incidentes para especies exóticas.

La Implementación de este programa está siendo facilitada por numerosos miembros de la CDB, incluyendo organizaciones e iniciativas internacionales, organizaciones regionales (como la Convención de Mares Regionales y los Planes de Acción), gobiernos locales, grupos de investigación y organizaciones no gubernamentales.

El problema de EEI en las zonas costeras, y sobre todo humedales en tierra, fue tratado de nuevo por la Conferencia de las Partes en la Convención RASAR sobre humedales, en Noviembre de 2002.

Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar

La Convención de Naciones Unidas sobre Derecho del Mar contiene por su parte un amplio régimen de ley y orden en los océanos y mares del mundo, que establecen reglas que gobiernan todos los usos de los océanos y sus recursos. Preserva la noción que todos los problemas que afecten a los océanos están estrechamente relacionados y necesitan ser tratados en conjunto.

El Artículo 196 de la Convención (UNCLOS) establece que “los Estados tomarán todas las medidas necesarias para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino causada por la utilización de tecnologías bajo su jurisdicción o control, o la introducción intencional o accidental en un sector determinado del medio marino de

especies extrañas o nuevas que puedan causar en él cambios considerables y perjudiciales.”

Convención de Aguas de Lastre

En 2004 los Estados Miembros de la Organización Marítima Internacional (OMI), como veremos más en detalle, adoptaron la Convención Internacional para el Control y Manejo de Aguas de lastre y Sedimentos de Buques. Ésta es la primera convención internacional que trata comprensivamente sobre un vector específico para especies marinas invasoras. Es de amplio alcance y dirigida a posicionar arreglos internacionales vinculantes, consistentes, para asegurar que el agua de lastre de los buques se maneje de manera que minimice el traslado de organismos acuáticos dañinos y patógenos a los nuevos territorios, con el potencial de establecerse y volverse una especie molesta y dañina.

La Convención continúa abogando por el uso de intercambio de agua de lastre en el océano abierto como una medida provisional para controlar la transferencia de especies. Sin embargo, la Convención reconoce las limitaciones del intercambio de agua de lastre, así como la investigación y desarrollo en el campo de tecnologías de tratamiento de agua de lastre. De esta manera, pone las normas para lograr tratamientos adecuados del lastre en los próximos años. Por consiguiente, un tratamiento efectivo a bordo o en muelle, para eliminar cualquier organismo contenido, será cada vez más la meta dominante de más regímenes en el manejo de agua de lastre.

Guías técnicas

Nos referimos a guías relacionadas con Pesquerías, Acuicultura y para el control de enfermedades y patógenos. Respecto a las que se han realizado hasta el momento sobre el mar habría que destacar el Código de Conducta de la Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO), en el que se presentan las operaciones de maricultura y acuicultura como un riesgo conocido de introducciones no deseadas (escapes, parásitos y enfermedades), y como tales se propusieron estas guías para establecer principios y normas, proveyendo mejores prácticas para esta industria de rápido crecimiento.

Otra guía destacable se centra en el modo de explotación de los mares. Así, con el Código de Práctica CIEM el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM) desarrolló una guía práctica sobre la posible introducción y transferencia de organismos marinos al trabajar en/con el mar. Fue inicialmente adoptado en 1973, y posteriormente fue aún más desarrollado y actualizado, con versiones revisadas que fueron adoptadas en 1979, 1990, 1994 y la más reciente en 2003. Aunque fue inicialmente diseñado para los países miembros de CIEM, relacionados con el Atlántico Norte y mares adyacentes, ahora los países del mundo entero son animados a implementar este código de práctica.

La salud humana se puede ver afectada por la transferencia de patógenos causantes de enfermedades, tanto por especies introducidas, que le sirven de anfitriones, o directamente vía agua de lastre. Por ejemplo, el cólera, como pudimos comprobar, ha mostrado que puede sobrevivir las transferencias de agua de lastre, y las descargas de agua de lastre han sido sospechosas de ser fuente de brotes de cólera en varios casos. Por consiguiente, es una preocupación muy seria. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado Regulaciones Internacionales de Salud para prevenir la propagación internacional de enfermedades infecciosas a los humanos. Éstos están siendo actualmente actualizados debido a los cambios en la epidemiología de enfermedades y el aumento en tráfico internacional.

Los asuntos de la salud de animales están dirigidos por la Organización Mundial para la Salud Animal (OMSA), que desarrolla estándares y guías sobre enfermedades de animales (y no a los animales mismos como conductores de enfermedades). El Código Internacional de Salud Animal para Mamíferos, Aves e Insectos y el Código Internacional de Salud para Animales Acuáticos contienen un conjunto de estándares sobre análisis de riesgo de importaciones y medidas de control de riesgos para enfermedades específicas, que son actualizados anualmente. La OMSA tiene un grupo de trabajo ad hoc sobre análisis de riesgo para enfermedades de animales acuáticos, específicamente dirigidos a aquellas que afectan fuentes de alimentación, incluyendo las industrias de acuicultura y maricultura.

Por otra parte, la IPPC, o Convención Internacional para la Protección de las Plantas, se dirige a las enfermedades de éstas, ampliamente definidas como cualquier especie, cepa o biotipo de planta, animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos de

plantas. La IPPC ha desarrollado numerosos estándares que contribuyen al marco regulatorio internacional sobre especies exóticas invasoras, y su alcance no está limitado a los impactos sobre los sistemas agrícolas. Mientras que la IPPC ha sido aplicada históricamente a plantas terrestres y a algunas acuáticas, también puede aplicarse a plantas marinas y enfermedades que afecten a este tipo de plantas.

Programas e Iniciativas Internacionales

Dentro de las iniciativas internacionales destaca por su influencia en los últimos años el Programa Mundial de Especies Invasoras (GISP), fundado en 1997 como una sociedad pequeña, principalmente formada por 3 organizaciones internacionales: la Unión de Conservación Mundial (UICN), CAB Internacional y el Comité Científico de la ONU en Problemas del Medio Ambiente (SCOPE). Desde entonces, se ha vuelto la sociedad global preeminente en especies invasoras, con eslabones cercanos a la Convención sobre Diversidad Biológica para la cual sirve como el punto focal temático internacional en especies invasoras. El foco primario de la actual fase del GISP es la implementación de varios elementos de su estrategia global, con las siguientes actividades prioritarias:

- Construcción de recursos que frenen el fenómeno de las EEI, a niveles nacionales, regionales e internacionales.
- Compartir información pertinente, sobre todo de mejoras en la práctica de manejo.
- Provisión de soporte técnico para los países en vías de desarrollo.
- El desarrollo de herramientas prácticas, basadas en la experiencia y actualizadas, para guiar la toma de decisiones.
- Promover e integrar el interés necesario sobre el manejo de EEI, con especial énfasis en la prevención.
- Promover una colaboración más cercana entre los sectores a nivel nacional, regional y global.

- Construcción de conciencia de la seria amenaza económica, a la salud y ambiental que suponen las especies invasoras.

La Decisión VI/23 de la Conferencia de las Partes de la CDB llamó a su Secretaría Ejecutiva y al GISP a coordinar el desarrollo de un programa global conjunto entre las entidades relevantes. El GISP ya ha comenzado este trabajo con respecto a las especies marinas invasoras y un plan mundial conjunto sobre especies marinas invasoras se adoptó por los principales integrantes de cada grupo y por organizaciones relevantes durante el curso 2005/06.

VI.II.- La Organización Marítima Internacional (OMI)

Debido al carácter internacional del transporte marítimo, las medidas encaminadas a mejorar la seguridad de las operaciones marítimas serán más eficaces si se realizan en un marco internacional en lugar de depender de la acción unilateral de cada país. En 1948 se celebró una Conferencia de las Naciones Unidas que adoptó el convenio por el que se constituyó oficialmente la Organización Marítima Internacional (OMI), el primer organismo internacional, con sede en Londres, dedicado exclusivamente a la elaboración de medidas relativas a la seguridad marítima. Entre la adopción del Convenio y su entrada en vigor en 1958, otros problemas relacionados con la seguridad también despertaron la atención internacional, aun cuando requerían un enfoque relativamente diferente. Uno de los problemas más importantes fue la amenaza de contaminación del mar ocasionada por los buques, en particular los buques tanque. En 1954 se adoptó un convenio internacional sobre esta materia, y en 1959 la OMI asumió la responsabilidad de administrarlo y promoverlo. Así es como, desde los inicios, la mejora de la seguridad marítima y la prevención de la contaminación del mar han constituido los objetivos primordiales de la OMI.

Funciones de la OMI

La OMI ha adoptado unos 40 convenios y protocolos, así como más de 800 códigos y recomendaciones sobre seguridad marítima, prevención de la contaminación y otras cuestiones conexas.

Como mejor muestra de su labor por la seguridad, en la primera conferencia que organizó la OMI en 1960 se adoptó el Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS), que entró en vigor en 1965. El Convenio de 1960 abarcaba una amplia gama de medidas para mejorar la seguridad del transporte marítimo, entre las que cabe incluir el compartimentado y la estabilidad; las instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas; la prevención, detección y extinción de incendios; los dispositivos de salvamento; la radiotelegrafía y la radiotelefonía; la seguridad de la navegación; el transporte de grano; el transporte de mercancías peligrosas; y los buques nucleares.

Para prevenir la contaminación, se adoptó el primer convenio exhaustivo para combatirla concertado hasta la fecha: el Convenio internacional para prevenir la contaminación por buques (Marpol), que como veremos no sólo se ocupa de la contaminación ocasionada por hidrocarburos, sino que abarca, además, otras formas de contaminación como la originada por productos químicos y otras sustancias perjudiciales, las basuras y las aguas residuales. Este Convenio reduce considerablemente la cantidad de hidrocarburos que pueden eliminar los buques en el mar y prohíbe totalmente que éstos efectúen descargas en ciertas zonas ambientalmente sensibles.

La OMI también se ocupa de otros asuntos, como cuando adoptó el Convenio para facilitar el tráfico marítimo internacional, en 1965. Los principales objetivos de este Convenio son prevenir demoras innecesarias en el tráfico marítimo, estimular la cooperación entre los diferentes Gobiernos y asegurar el más alto grado de uniformidad posible en las formalidades y procedimientos relativos a la llegada, permanencia y salida de buques en los puertos. El Convenio entró en vigor en 1967.

Además de los convenios y otros instrumentos convencionales, la OMI ha adoptado varios centenares de códigos, directrices o recomendaciones relativos a una amplia gama de cuestiones que no se consideran idóneas para su reglamentación mediante instrumentos convencionales oficiales. Aunque estas recomendaciones no tienen fuerza de ley para los Gobiernos, les sirven de orientación en la formulación de reglamentaciones y prescripciones de carácter nacional. Muchos Gobiernos aplican las disposiciones de esas recomendaciones incorporándolas, en su totalidad o en parte, a su legislación o reglamentación nacionales. En algunos casos, códigos importantes han

adquirido carácter obligatorio mediante la inclusión de las referencias pertinentes en un convenio.

Por otra parte, la OMI incorpora desde hace unos años un programa de asistencia técnica, ayudando a los Estados, muchos de ellos países en desarrollo, a ratificar los convenios de la Organización y a alcanzar los niveles normativos establecidos. Como parte de este programa, la OMI contrata a cierto número de asesores y consultores que prestan asesoramiento a los Gobiernos, y cada año interviene, como organizadora o participante, en numerosos seminarios, cursillos y otras actividades para asistir en la implantación de las medidas de la organización. Algunas de esas actividades tienen lugar en la sede de la OMI o en países desarrollados, y otras en los propios países en desarrollo. Si bien la OMI facilita apoyo técnico para tales proyectos, la financiación procede de diversas fuentes. La más importante de ellas es el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), aunque en algunos casos contribuyen otros organismos internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Asimismo, diversos países facilitan generosamente recursos o prestan otro tipo de asistencia, como por ejemplo brindando oportunidades de formación para cadetes y otro personal procedente de países en desarrollo. De esta manera, la OMI ha conseguido establecer con éxito un programa de becas que, a lo largo de los años, ha ayudado a la formación de muchos miles de personas. Uno de los proyectos de asistencia técnica de la OMI es el que se encuentra en la Universidad Marítima Mundial de Malmö (Suecia), que se inauguró en 1983. Su objetivo es proporcionar medios de formación de alto nivel para el personal de países en desarrollo que ya ha alcanzado un nivel relativamente alto en sus propios países pero que se beneficiaría de una formación superior intensiva. La Universidad puede impartir formación a unas 200 personas al mismo tiempo, en cursos de uno o dos años de duración.

Programa de asistencia técnica Globallast



Figura 6.1.- La unión de Organizaciones Internacionales optimiza la eficacia de los programas de asistencia técnica, como Globallast

Es el ejemplo más palpable actualmente. Además de las iniciativas llevadas a cabo por la Organización Marítima Internacional para desarrollar el Convenio Internacional que trataremos sobre Tratamiento de Aguas de Lastre y las directrices conexas, la OMI junto a los distintos Estados miembros, la industria marítima e instituciones internacionales como la Instalación Medio-ambiental Global (GEF) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), iniciaron el Programa Global de Manejo de Aguas de Lastre, denominado GLOBALLAST, que asiste a los países a implementar efectivamente las medidas de control de las especies marinas, así como la implementación paso a paso del nuevo Convenio de la OMI. En particular, el programa tiene como objetivos básicos:

- Reducir la transferencia de organismos peligrosos desde las aguas de lastre de los buques;
- Divulgar e implementar las guías de la OMI sobre aguas de lastre, y
- Prepararse para la implementación de la nueva Convención de OMI sobre Aguas de Lastre adoptada.

Para desarrollar estos objetivos, el programa GLOBALLAST ha diseñado una serie de actuaciones inmediatas, que incluyen, entre otras, formación, comunicación, monitorización, cooperación y financiación en distintas actuaciones. El programa cuenta con un presupuesto de más de 10 millones de dólares para un periodo inicial de cuatro años.

La primera fase del programa fue completada en 2004, y se enfocó en 6 sitios de demostración, tratando de representar las 6 regiones en desarrollo del mundo. Los sitios de demostración fueron Dalian (China, Asia/Pacífico), Isla Khark (Irán, Extremo Oriente), Mumbai (India, Sur de Asia), Odessa (Ucrania, Europa del Este), Saldanha (Sudáfrica, África) y Sepetiba (Brasil, Sudamérica).

El Programa proveyó asistencia técnica en varios aspectos del manejo de aguas de lastre, incluyendo:

-
- Comunicaciones, incremento de la conciencia y la educación.
 - Levantamientos (peritajes) en puertos y evaluaciones de riesgos.
 - Desarrollo de políticas y legislación.
 - Construcción de capacidades y entrenamiento.
 - Cumplir y hacer cumplir la monitorización.
 - Cooperación Regional.
 - Sistemas auto financiables para el manejo sostenible de aguas de lastre.

La segunda fase del programa (GloBallast Partnerships) empezó a desarrollarse en 2005/06. Se enfoca a la implementación de planes regionales de acción y actividades en nuevas regiones que no estuvieron representadas en la primera fase.

¿Qué es posible hacer mediante este programa?

A bordo

- Impartir formación a las tripulaciones de los buques.
- Evitar el lastrado en zonas y situaciones que planteen riesgos.
- Mantener los tanques de lastres sin sedimentos.
- Cambiar el agua de lastre en el mar, cuando sea seguro y práctico.
- Llevar un plan de gestión del agua de lastre a bordo y aplicarlo.
- Mantener al día el libro registro del agua de lastre y entregar los formularios de notificación a las autoridades del Estado rector del puerto.

- Cumplir la legislación del Estado rector del puerto.

En el Estado rector del puerto

- Designar un organismo coordinador y constituir un grupo de trabajo nacional.
- Realizar campañas de concienciación.
- Pedir a los buques que presentan formularios de notificación a su llegada y establecer un sistema de información nacional.
- Llevar a cabo una evaluación de riesgos para cada puerto.
- Efectuar observaciones y reconocimientos biológicos en los puertos y alertar al sector sobre los brotes de especies dañinas.
- Habilitar instalaciones eficaces y rentables de tratamiento del agua de lastre en tierra.

Funcionamiento de la OMI

¿Cómo funciona la OMI?. Los comités y subcomités especializados de la OMI están integrados por representantes de los Estados Miembros. Se han establecido también acuerdos oficiales de cooperación con más de 30 organizaciones intergubernamentales y se ha concedido carácter consultivo a casi 50 organizaciones internacionales no gubernamentales a fin de que participen en la labor de los diversos órganos en calidad de observadoras. Estas organizaciones representan un amplio espectro de intereses marítimos, jurídicos y relativos al medio ambiente, y contribuyen a la labor de la OMI facilitando información, documentación y asesoramiento pericial. Estas organizaciones no tienen, sin embargo, derecho de voto.

Normalmente son los comités o subcomités los que se encargan de la labor preliminar sobre un convenio. Posteriormente se elabora un proyecto de instrumento, el cual se remite a una Conferencia a la que se invita a las delegaciones de todos los Estados del

sistema de las Naciones Unidas, incluidos los Estados que pueden no ser Miembros de la OMI. La Conferencia adopta un texto definitivo, el cual se remite a los Gobiernos para su ratificación. El instrumento así adoptado entra en vigor una vez que se ha cumplido lo estipulado en determinadas prescripciones, que siempre incluyen la ratificación por un número específico de países. Cuanto más importante es el convenio, más rigurosas son las prescripciones relativas a su entrada en vigor. La implantación de las prescripciones de un convenio tiene carácter obligatorio para los países que son Partes en el mismo. Los códigos y recomendaciones adoptados por la Asamblea de la OMI no son obligatorios para los Gobiernos, pero su contenido puede ser igualmente importante y, en muchos casos, serán implantados por los Gobiernos por medio de su legislación nacional.

VI.III.- Protección jurídica del medio marino, el Marpol

Definición y descripción

El Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques, también llamado Convenio MARPOL, es el instrumento jurídico internacional encargado de prevenir la contaminación del medio marino producida por buques ya sea en el transcurso normal de sus actividades comerciales o por accidentes marítimos.

Su redactado actual comprende los tratados adoptados en 1973 y 1978 junto a una serie de protocolos adoptados posteriormente a fin de adaptar jurídicamente la nueva realidad socioeconómica en el sector del transporte marítimo de mercancías siempre bajo el auspicio de la OMI.

El primer MARPOL, adoptado el 2 de noviembre de 1973, cubría la contaminación producida por aceites, productos químicos, sustancias peligrosas y desechos. El Protocolo de 1978 se adoptó en febrero de ese año como respuesta a una serie de accidentes producidos entre los años 1976 y 1977, terminando por absorber el redactado original, de modo que hoy se refiere técnicamente a la combinación de ambos instrumentos con el nombre de Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación Marina producida por Buques de 1973 modificada por el Protocolo de 1978. Dicha Convención incluye regulaciones concernientes a prevenir y minimizar la

contaminación de las embarcaciones tanto por una situación accidental como por las operaciones rutinarias, y actualmente incluye 6 anexos técnicos:

- Anexo I. - Regulaciones para la Prevención de la Contaminación por Hidrocarburos.
- Anexo II. - Regulaciones para el Control de la Contaminación por Sustancias Líquidas Nocivas a granel.
- Anexo III. - Prevención de la Contaminación por Sustancias Peligrosas Llevadas por Mar en Forma de Embalaje.
- Anexo IV. - Prevención de la Contaminación por Aguas Residuales de las Embarcaciones.
- Anexo V. - Prevención de la Contaminación por los Desechos de las Embarcaciones.
- Anexo VI. - Prevención de la Contaminación Aérea de las Embarcaciones (en vigor desde el 19 de mayo del 2005).
- Anexo VII. - Manejo de lastres.

Anexo I. - Contaminación por hidrocarburos

Para los efectos de este Anexo, por hidrocarburo se entiende "el petróleo en cualquier forma, incluyendo crudo, combustibles, residuos y productos refinados". En él se establecen disposiciones aplicables tanto a buques como a terminales petroleros en tierra. Está prohibida la descarga de hidrocarburos al mar, tanto desde buques petroleros como de buques no petroleros, salvo que se cumplan ciertas condiciones muy estrictas de control y monitorización, y que se hagan a través de equipos filtradores debidamente autorizados.

Importante es señalar que estas descargas están definitivamente prohibidas en las áreas especiales. Por área especial se entiende "un área marina que por reconocidas razones

técnicas respecto a sus condiciones oceanográficas y ecológicas y el carácter particular de su tráfico, hace necesario establecer métodos obligatorios para prevenir la contaminación por hidrocarburos". La más reciente exigencia que se ha hecho a los buques petroleros es contar con doble casco. De carácter obligatorio para buques nuevos, y mediante un plazo para los buques existentes. El Anexo I obliga también a los Estados Parte a disponer de facilidades de recepción de lastres sucios y residuos en puertos de embarque de hidrocarburos pesados, donde se embarquen minerales y en puertos donde existan astilleros de reparación. En los puertos comerciales deben existir facilidades para recibir aguas de sentina y demás residuos de tanques.

Anexo II. - Sustancias nocivas líquidas

Este Anexo establece los criterios que han de respetarse para las descargas y las medidas destinadas al control de la contaminación ocasionada por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel. Dichas sustancias están divididas en categorías, clasificadas según el grado de peligrosidad que presenten para los recursos marinos, para la salud humana o para los atractivos naturales.

En este Anexo se establecen normas para descargar residuos en instalaciones de recepción habilitadas exclusivamente para tal propósito y considera excepciones bajo determinadas condiciones. En cualquier caso se prohíbe la descarga de residuos que contengan sustancias nocivas a menos de 12 millas de la tierra más próxima y en aguas de una profundidad menor de 25 m.

Anexo III. - Sustancias perjudiciales transportadas en bultos

Todos los buques que transporten sustancias perjudiciales en bultos como son contenedores, tanques portátiles y camiones cisternas o vagones tanque y que sean contaminantes del mar deben cumplir las disposiciones de este Anexo, el cual es aplicado a través del Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas. En él se definen normas detalladas relativas a embalaje, marcado y etiquetado, documentación, estiba, limitaciones cuantitativas, excepciones y notificaciones con el propósito de prevenir o reducir a un mínimo la contaminación ocasionada por sustancias perjudiciales.

Anexo IV. - Aguas sucias

Este Anexo aún no ha entrado en vigor. Hasta la fecha, ha sido aprobado por un 43 % de la flota mundial, necesitando un 50% para su aceptación. En él se establece la prohibición de descargar aguas sucias a una distancia inferior a 4 millas de la tierra más próxima, a menos que los buques tengan en funcionamiento instalaciones aprobadas para el tratamiento de las mismas. Las aguas sucias deben ser trituradas y desinfectadas previamente si se efectúa la descarga a una distancia de entre 4 a 12 millas de la costa.

Anexo V. – Basuras

Este anexo es aplicable a todos los buques. Se define por basura todo residuo producido por las operaciones rutinarias del buque, incluyendo elementos de estiba, plásticos, botellas, restos de comida, etc. Se exceptúan los restos de pescado fresco. Se prohíbe terminantemente la descarga al mar de plásticos en todas sus formas y tipos. Regula la descarga de maderas de estiba, restos de comidas, vidrios, etc., y exige a los buques tener un Plan de Manejo de Basuras y a llevar un Libro de Registro de Basuras. Deben proveerse facilidades de recepción.

Anexo VI. – Aire

Este Anexo fue aprobado mediante un Protocolo en 1997, y registra la descarga de óxidos nitrosos, dispone la reducción del contenido de azufre en los combustibles a un 4,5%, prohíbe la descarga a la atmósfera de compuestos o sustancias que puedan afectar la capa de ozono y regula los procesos de incineración a bordo. Tiene una directa relación con el mejoramiento en la calidad de los combustibles.

Anexo VII. - Manejo de lastres

Este Anexo es uno de los más recientes respecto al resto. Se aprobó en el 2002. Sólo durante estos últimos años se ha dado el gran énfasis tan necesario al transporte de organismos dañinos en las aguas de lastre, en especial, en los buques tanque que deben realizar la mitad de un viaje cargado y la otra mitad en lastre. Así, han terminado apareciendo como sabemos de forma descontrolada, especies desconocidas en ciertos lugares del mundo, que han llegado a alterar el hábitat normal de dichas áreas. Si todavía

quedara alguna duda de la trascendencia del problema, e incluso si quisiéramos dejar a un lado los desastres provocados tanto a nivel medio-ambiental como económico, sólo tendríamos que destacar por ejemplo un caso que nos golpeó directamente con especial relevancia, hace ya algún tiempo, cuando apareció una epidemia de cólera en determinados países, a lo largo de Sudamérica, afectando a más de un millón de personas y registrándose más de diez mil muertos en 1994, entre otros casos.

Parece interesante resaltar en este punto que la Convención sólo establece como obligatorio para los Estados Parte el aceptar los dos primeros anexos, dejando la aplicación de los restantes a la libre elección de los mismos. Situación altamente alarmante y que afortunadamente está cambiando.

Evolución histórica

El camino que ha seguido la comunidad internacional hasta la adopción de la Convención ha sido largo y lleno de incidencias. Fue en la primera mitad del siglo XX cuando se reconoció por primera vez que la contaminación por derrame de aceites al mar era un problema grave que debía resolverse cuanto antes. Prueba de ello son las numerosas medidas jurídicas adoptadas por gran número de países que a nivel nacional trataban de proteger sus aguas territoriales antes de los años cincuenta. Fue el Reino Unido quien tomó la batuta internacional para poner de acuerdo al mayor número de países posible y adoptar la llamada OILPOL de 1954, o Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación Marítima producida por vertido de crudo.

Este primer paso se vio insuficiente ante el accidente del petrolero Torrey Canyon, cuando en 1967 embarrancó al adentrarse en el Canal de la Mancha vertiendo nada menos que 120.000 toneladas de crudo en el que fue el mayor vertido jamás producido. Este accidente hizo que la OMI retomara con más fuerza su cometido de prevenir la contaminación del medio marino por medio de la adopción, 6 años después, de la Convención de 1973.

Con todo, el éxito de la OMI no fue correspondido en la realidad práctica. Eran necesarios 15 países, que representasen en conjunto más del 50% de la flota mundial, para que la Convención entrase en vigor. En 1976 tan sólo se habían recibido las ratificaciones de Jordania, Kenya y Túnez, representando entre las tres menos de un 1% de la flota

mundial. Quedaba claro pues que la Convención jamás iba a entrar en vigor a pesar de su reconocida importancia para la protección del medio marino.

La reacción de la OMI llegó en el año 1978, cuando en el mes de febrero celebró la Conferencia para la Seguridad de los Petroleros y Prevención de la Contaminación. Llegando incluso a incluir normativa relativa a la construcción de grandes petroleros, esta Conferencia permitía a los Estados Parte ratificar el primer Anexo de la Convención de 1973 sin necesidad de suscribir el segundo Anexo hasta pasados tres años de su entrada en vigor, lo cual daba margen suficiente a los Estados para adoptar las medidas técnicas y económicas necesarias, sobreponiéndose así a la mayor traba que los mismos encontraban para suscribir la Convención. De este modo, la Convención entró en vigor el dos de octubre de 1983.

Efectos del Marpol 73/78

Se ha calculado que en 1981, alrededor de 1.470.000 toneladas de hidrocarburos fueron vertidas en los mares de todo el mundo, durante las operaciones de transporte. En 1989 estos vertimientos disminuyeron a 568.800 toneladas. El citado estudio fue realizado por el National Research Council Marine Board de los Estados Unidos, el cual atribuyó al Marpol 73/78 un efecto positivo y considerable en la reducción de la cantidad de hidrocarburos que se vierten al mar.

No obstante, los efectos del Marpol 73/78 podrían ser incluso mayores en años venideros, debido en parte a razones económicas. Los sucesivos aumentos en el precio del petróleo durante la década del 70, motivaron una abrupta paralización en la bonanza registrada del comercio de hidrocarburos. Disminuyó la demanda de buques tanque y se produjo en consecuencia, un superávit en la disponibilidad de petroleros, excedente que se arrastra desde entonces. Muchos de estos buques tienen ahora una antigüedad que supera los 20 años y se cree que muchos de ellos serán desguazados durante los próximos años, dado que resultaría antieconómico adaptarlos a los requerimientos del doble casco exigidos por las enmiendas de 1992. Por lo tanto, serán entonces sustituidos por nuevos buques que cumplirán totalmente las prescripciones del Marpol 73/78. Sin lugar a dudas, estos buques nuevos aportarán grandes beneficios al medio marino. Los nuevos petroleros tienden a ser más seguros que los buques viejos, sencillamente

porque son menos propensos a averías. Estos se construirán con arreglo a normas más elevadas para impedir la contaminación, tanto operativa como accidental.

Sin embargo, por buenos que sean los buques, mucho dependerá todavía de la gestión de los mismos y de la competencia de sus tripulaciones. Las responsabilidades por el cumplimiento de las normas recaen en los gobiernos, los propietarios, las empresas explotadoras y las propias dotaciones.

Se espera también que durante los próximos años, los convenios marítimos internacionales, con inclusión del Marpol 73/78, tengan una aplicación mucho más eficaz que en el pasado. Entre otras medidas creadas por la OMI para lograr esta finalidad están, por ejemplo, aquellas que aumentan las responsabilidades de los gestores y las orientadas a la vigilancia del comportamiento de los distintos gobiernos en la implantación del Convenio. Igualmente se está estimulando la aplicación de medidas de supervisión más eficaces por los Estados rectores del puerto.

El establecimiento de instalaciones receptoras de desechos adecuadas es fundamental para el éxito en la implantación del Marpol 73/78. Lo que se persigue es que los buques puedan conservar los desechos a bordo hasta llegar a puerto. Si bien la existencia de tales instalaciones es obligatoria, en la práctica resultan a menudo inadecuadas y en algunos casos todavía son inexistentes. En ciertos países se han proporcionado medios de recepción de desechos, pero el precio de su utilización es tan elevado que muchos buques no hacen uso de ellas.

Consecuencias en caso de incumplimiento del Marpol

Qué ocurre pues en caso de que un buque haga caso omiso de las disposiciones previstas en el Marpol. Si un buque viola lo previsto por el Marpol dentro de la jurisdicción de un Estado Parte, se puede aplicar la pena prevista bien por la ley de ese Estado Parte, bien por la ley del Estado cuyo pabellón enarbola el buque en cuestión.

Los certificados de navegabilidad del buque deben ser puestos en tela de juicio. De este modo, si hay indicios que lleven a concluir que el buque en cuestión o sus aparejos de navegación no se corresponden con lo exigido para la obtención del certificado internacional de navegabilidad, o si, directamente, el buque no dispone de certificado de

navegabilidad alguno, la autoridad que lleve a cabo la inspección (una autoridad portuaria, por ejemplo) puede detener al buque hasta que éste no haya tomado las medidas necesarias que garanticen la protección del medio marino.

El Marpol hoy

Desde que la primera convención entró en vigor, se han llevado a cabo nada menos que 20 modificaciones del texto original, para con ello actualizar contenido ya desfasado debido a los avances técnicos así como cubrir nuevas necesidades no previstas por ser las mismas inexistentes en el momento de redactar la Convención.

El Marpol ha servido como marco de referencia para los distintos Estados a la hora de desarrollar su propia legislación en materia de protección del medio marino y aun a día de hoy sigue siendo el instrumento jurídico internacional por excelencia en la materia. Países como España han tenido una notable actividad legislativa para moldear el Marpol y adaptarlo así a las necesidades costeras de nuestro país. Partiendo pues de lo establecido en la Convención de 1973 y los subsiguientes Anexos y posteriores modificaciones, España ha sabido aprovechar, por medio de varios instrumentos legislativos nacionales, su calidad de Estado ribereño y proteger los casi 4.000km de costa que nos rodean.

Por lo tanto existe como vemos una preocupación permanente por el medio marino en la comunidad marítima internacional. Ello se ve reflejado en los numerosos instrumentos, convenios, códigos y reglamentaciones que han sido aprobados en los últimos 50 años, y que se siguen forjando, debido a los nuevos retos que no son menos importantes que los que ya están casi totalmente controlados. La mentalidad de todos ha ido cambiando con el tiempo y ya el componente ambiental se considera en todos los aspectos de la vida a bordo. Por ejemplo se ha puesto una luz de alarma, respecto a los derrames provocados por productos químicos, que pueden llegar a ser mucho más dañinos para el medio marino que los provocados por hidrocarburos. La prevención y el control de los derrames químicos es una seria preocupación para muchos armadores y operadores de buques, de los propios fabricantes y también de los usuarios de esos productos.

Sin embargo, la contaminación proveniente de los buques ha disminuido notablemente en los últimos años. Cada día se hacen más esfuerzos para disminuir la contaminación

originada por hidrocarburos. La aplicación de los instrumentos internacionales ha dado sus frutos, reflejándose en las estadísticas. Por este motivo, y por los resultados obtenidos gracias a la cooperación internacional, se debe seguir el mismo camino para afrontar el problema motivo de este proyecto, como veremos a continuación.

VI.IV.- Nuevo Convenio Internacional sobre Lastre

Se trata del Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los buques. La Organización Marítima Internacional ha asumido el reto de conseguir estandarizar la gestión del agua de lastre de los buques, mediante la adopción de este nuevo Convenio Internacional, específicamente referente al tratamiento del lastre, el denominado BWM-2004.

Si bien sabemos que se han descubierto otros medios responsables de la transferencia de organismos entre extensiones de mar geográficamente separadas, la descarga de agua de lastre de los buques se ha designado como uno de los más importantes. El reciente convenio adoptado por la OMI pretende tapan el vacío que se esconde tras esta amenaza.

Reacción de la OMI

La Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED), órgano de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), intentando dar respuesta a la amenaza causada por las especies invasoras, acordó, en la reunión mantenida en Río de Janeiro en 1992 a través de su Agenda 21, pedir a la OMI y a otros órganos internacionales las acciones que deberían tomarse para frenar la transferencia de organismos dañinos a través del trasvase de agua de lastre de los buques. En 1997 la OMI adoptó las Directrices para la gestión y el control del agua de lastre en Resolución de la Asamblea A.774(18). La Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible (CMDS) que tuvo lugar en Johannesburgo (Sudáfrica), en 2002, reafirmó su compromiso con la Agenda 21 y en su Plan de Implantación del CMDS se pidió la aceleración del desarrollo de medidas para atajar la proliferación de especies invasoras urgiendo a la OMI a finalizar el Convenio sobre Gestión de Agua de Lastre, que ha sido recientemente adoptado.

Los países miembros de la OMI desarrollaron así las “Directrices para el control y la gestión del agua de lastre de los buques, a fin de reducir al mínimo la transmisión de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos”. Estas Directrices fueron adoptadas por la Asamblea de la OMI en 1997 a través de la Resolución A.868(20), reemplazando las adoptadas en 1993. Pero todas estas recomendaciones, aun en la forma de Directrices de la OMI, están sujetas a limitaciones, como hacer el cambio de agua de lastre en alta mar es, actualmente, la medida más socorrida de cara a minimizar el riesgo, que no está exenta de peligros. Incluso cuando es realizada completamente, esta técnica no es, como hemos visto, 100 % segura a la hora de eliminar todos los organismos contenidos en los tanques. En reconocimiento a las limitaciones de las Directrices contenidas en la Resolución A.868(20), a la ausencia total de soluciones verdaderamente efectivas, y, a la gravedad de la amenaza constituida por las especies marinas invasoras, los países miembros de la OMI decidieron desarrollar un instrumento legal internacional, y por tanto mandatorio, acerca del control y la gestión del agua de lastre y sus sedimentos. Este proceso ha culminado en la adopción del Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, el 13 de febrero de 2004, en Londres.

El nuevo Convenio, BWM-2004

La OMI, como agencia especializada de las Naciones Unidas responsable de la elaboración de medidas relativas a la seguridad de los buques y a la contaminación marítima, era la más apropiada para acometer la labor legislativa. Como consecuencia de ello, la Conferencia Internacional sobre la Gestión del Agua de Lastre para Buques de la Organización Marítima Internacional se celebró en Londres entre los días 9 y 13 de febrero 2004, contando con la participación de 74 países, un miembro asociado, dos representantes de organizaciones intergubernamentales y 18 organizaciones no gubernamentales, totalizando 95 Delegaciones.

España fue miembro de la Comisión de Redacción de la Conferencia Diplomática, con el mandato de ultimar el texto del Acta Final de la Conferencia y del Convenio. La Comisión de Redacción estuvo también formada por Australia, China, Egipto, Estados Unidos, Federación Rusa, Francia, Irán y Panamá. Como resultado de sus deliberaciones, la Conferencia adoptó el siguiente instrumento:

“Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los buques, 2004”, al que se le conoce internacionalmente por su forma abreviada BWM-2004.



Figura 6.2.- Momento de la firma por parte del representante de España, Esteban Pachá, del acta de la Conferencia por la que se adoptó el Convenio Internacional BWM-2004, en la sede de la OMI en Londres.

Estructura del Convenio

El Convenio consta de un Preámbulo, un conjunto de Artículos numerados del 1 al 22, y un Anexo con el título de “Reglas para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques”. El Anexo, a su vez, está dividido en 5 Secciones numeradas de la A a la E, más 2 Apéndices. Y a su vez, las Secciones están divididas en Reglas, como sigue:

Sección A – Disposiciones Generales:

Regla A-1 Definiciones.

Regla A-2 Aplicación General.

Regla A-3 Excepciones.

Regla A-4 Exenciones.

Regla A-5 Cumplimiento Equivalente.

Sección B – Prescripciones de Gestión y Control Aplicables a los Buques:

Regla B-1 Plan de gestión del agua de lastre.

Regla B-2 Libro de Registro del agua del agua de lastre.

Regla B-3 Gestión del agua de lastre para los buques.

Regla B-4 Cambio del agua de lastre.

Regla B-5 Gestión de los sedimentos de los buques.

Regla B-6 Funciones de los oficiales y tripulantes.

Sección C- Prescripciones Especiales para Ciertas Zonas:

Regla C-1 Medidas adicionales.

Regla C-2 Avisos sobre la toma del agua de lastre en ciertas zonas y medidas conexas del Estado de abanderamiento.

Regla C-3 Comunicación de la información.

Sección D – Normas para la Gestión del Agua de Lastre:

Regla D-1 Norma para el cambio del agua de lastre.

Regla D-2 Norma de eficacia de la gestión del agua de lastre.

Regla D-3 Prescripciones relativas a la aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre.

Regla D-4 Prototipos de tecnologías de agua de lastre.

Regla D-5 Examen de normas por la Organización.

Sección E – Prescripciones sobre Reconocimiento y Certificación para
la Gestión del Agua de Lastre:

Regla E-1 Reconocimientos.

Regla E-2 Expedición o refrendo del Certificado.

Regla E-3 Expedición o refrendo del Certificado por otra Parte.

Regla E-4 Modelo del Certificado.

Regla E-5 Duración y validez del Certificado.

Apéndice I – Modelo de Certificado Internacional de Gestión del Agua de Lastre

Apéndice II – Modelo del Libro Registro del Agua de Lastre

Resumen de las prescripciones y principales consecuencias

Ámbito de aplicación

El Convenio se aplicará, salvo excepciones, a todo buque, donde por buque se entienda toda nave, del tipo que sea, que opere en el medio acuático, incluidos los sumergibles, los artefactos flotantes, las plataformas flotantes, las Unidades Flotantes de Almacenamiento FSU (Floating Storage Unit) y las Unidades Flotantes de Producción, Almacenamiento y Descarga FPSO (Floating Production Storage and Off-loading). Las excepciones son: aquellos buques no construidos para llevar agua de lastre, buques de guerra, ni los buques auxiliares de la Armada.

Obligaciones generales

Las Partes tienen el derecho de, individualmente o con otras Partes, tomar medidas más restrictivas con vista a la reducción o eliminación de la transferencia de organismos acuáticos dañinos o patógenos a través del control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques, siempre que sea consistente con las leyes internacionales.

Instalaciones de recepción

Bajo el artículo 5, referente a las Instalaciones de Recepción de Sedimentos, las Partes deben asegurarse de que en los puertos y terminales, donde se produzca la reparación o limpieza de los tanques de agua de lastre, tengan instalaciones adecuadas para la recepción de sedimentos.

Investigación científica y Labor de vigilancia

En el artículo 6 se menciona explícitamente que las Partes se esforzarán por:

- fomentar y facilitar la investigación científica y técnica sobre la gestión del agua de lastre, y
- vigilar los efectos de la gestión del agua de lastre en las aguas bajo su jurisdicción.

Reconocimiento y Certificación

Bajo el artículo 7 se requiere que los buques que naveguen bajo pabellón de cada Parte deberán ser inspeccionados y certificados por oficiales del Estado rector del puerto, los cuales:

- velarán por que tengan un certificado válido,
- inspeccionarán el libro de Registro de agua de lastre, y/o
- tomarán muestras del agua de lastre de a bordo, de cara a su inspección.

Cuando el buque no lleve un certificado válido o existan motivos para pensar que:

- el estado del buque o el equipo no se corresponden en lo esencial con los pormenores del Certificado; o
- el capitán o la tripulación no están familiarizados con los procedimientos fundamentales de a bordo con relación a la gestión del agua de lastre, o no han implantado tales procedimientos,
- entonces, “se tomarán las medidas oportunas para garantizar que el buque no descargará agua de lastre hasta que pueda hacerlo sin presentar un riesgo para el medio ambiente, la salud de los seres humanos, los bienes o los recursos”.

Anexo – Sección B Prescripciones de Gestión y Control aplicables a los buques, y Anexo – Sección D Normas para la Gestión del agua de lastre

El núcleo del Convenio, que concentra la verdadera aportación novedosa del mismo, se encuentra recogido en las Reglas B-3, B-4, D-1 y D-2. Para ser más exactos, las Reglas D nos dicen “cómo y cuándo se puede hacer” el cambio de agua de lastre, y las Reglas B “dónde se puede hacer”.

La Regla D-1 recoge, el método tradicional o “sin tratamiento”, que consiste simplemente en las dos opciones que vimos de intercambio, bien cambiándolo al vaciar y volviendo a llenar los tanques de lastre con un porcentaje de renovación de, al menos, el 95%, es decir, lo que denominamos en su momento intercambio secuencial, o bien mediante el otro método de intercambio, el de bombeo o flujo continuo, no dejando de meter agua en los tanques de lastre hasta hacerlos rebosar, bombeando 3 veces el volumen de los tanques, y siempre y cuando se demuestre que se ha alcanzado también el 95% de cambio volumétrico del agua de lastre. Estos métodos D-1 son, obviamente, a extinguir, una vez se desarrolle y estandarice la tecnología innovadora que permita el tratamiento del agua de lastre a bordo de los buques.

Por otra parte estos métodos llamados tradicionales comprobamos que plantean los siguientes problemas:

La escasa potencia de las bombas instalada a bordo de los buques existentes para realizar dicho cometido.

Problemas de estabilidad debido a superficies libres en los tanques de lastre.

Problemas de resistencia estructural del buque si se realiza el cambio de agua de lastre en alta mar y en condiciones meteorológicas adversas (temporal, etc...).

- Corrosión debido a los reboses permanentes.
- Reboses no diseñados para la renovación por flujo continuo.
- Tanques no diseñados para la toma de muestras.

- Tanques no diseñados para la eliminación de sedimentos.

La Regla D-2 recoge la calidad que deberá tener la gestión del agua de lastre cuando se le someta a algún tratamiento físico, químico, mecánico y/o biológico. Combinando las Reglas B con las D, podemos resumir el resultado, de forma práctica, en lo siguiente:

- Para buques construidos antes del 2009 con una capacidad de agua de lastre entre 1.500 y 5.000m³, realizarán el intercambio de agua de lastre tradicional, pero siempre que sea posible en las áreas que conocemos y establecimos como permitidas, es decir al menos a 200 millas náuticas de la tierra más cercana, y en aguas de, al menos, 200 metros de profundidad.
- Si esto no es posible, el cambio se llevará a cabo a 50 millas de la costa y en aguas de al menos 200 metros de profundidad.
- Si las anteriores condiciones resultasen impracticables, un Estado ribereño, en consulta con Estados adyacentes o con otros Estados, según proceda, podrá designar zonas dentro de sus aguas jurisdiccionales para el cambio de agua de lastre.

Calidad del agua de lastre

Las Reglas, que ya han experimentado revisiones a finales del 2005, establecen que los buques construidos después del 2009 no podrán descargar agua de lastre que:

- contenga más de 9 organismos viables (es decir, no necesariamente vivos, pero todavía con la posibilidad de que conserven su poder reproductivo) por cada metro cúbico, tales que su tamaño mínimo sea mayor o igual a 50 micrómetros;
- ni tampoco más de 9 organismos viables por mililitro cuyo tamaño mínimo sea menor de 50 micrómetros pero mayor de 10 micrómetros.

Además:

- A partir del 2014 este mismo tipo de medidas se aplicarán a los buques de esta misma capacidad de agua de lastre (entre 1.500 y 5.000m³) construidos antes del 2009.
- Los buques con una capacidad de agua de lastre mayor a 5.000m³ o menor de 1.500, y construidos antes del 2009, afrontarán el tratamiento de agua de lastre obligatoriamente desde el 2016.

Estas nuevas reglas serán de obligado cumplimiento no más tarde de la primera inspección de renovación o de aquella intermedia, cualesquiera de las dos que sea antes, a partir de las fechas anteriores.

Medidas adicionales

Por otra parte, las Administraciones se reservan el derecho de aplicar medidas adicionales, más estrictas, si ésta es su intención, siempre y cuando notifiquen a la OMI dichas medidas, al menos, con 6 meses de antelación, salvo claro está, situaciones de emergencia o epidemia, en que podrán adoptarse medidas con carácter inmediato.

Cada buque llevará a bordo y aplicará, según las fechas que correspondan, un Plan de Gestión de lastre aprobado por la Administración, y llevará también a bordo un Libro Registro del lastre donde se reflejen los diferentes asientos de cara a una futura inspección.

Respecto a las instalaciones portuarias, cada Estado se compromete a garantizar que en los puertos y terminales designados por él mismo, en los que se efectúen los trabajos de reparación o de limpieza de tanques de lastre, se disponga de instalaciones adecuadas para la recepción de sedimentos.

Como se ve, el Convenio no explicita el método para conseguir que la descarga de organismos sea menor de lo indicado arriba. Sencillamente porque la tecnología necesaria para ello está por desarrollar. Debido a ello, se decidió por votación que la

fecha en que los buques debían de cumplir con una gestión del agua de lastre fuese una fecha fija para forzar a la industria a tener la tecnología disponible para dicha fecha.

Entrada en vigor

El Convenio entrará en vigor 12 meses después de la fecha en que haya sido ratificado al menos por 30 Estados cuyas flotas mercantes combinadas representen no menos del 35% del tonelaje bruto de la marina mercante mundial. Ocho países (Argentina, Australia, Brasil, Finlandia, Maldivas, los Países Bajos, España y la República Árabe Siria) han firmado ya el Convenio BWM, sujeto a su ratificación.

En conclusión, a pesar de que el Convenio ha sido adoptado, debe quedar claro que lo que se ha adoptado ha sido el “qué” y no el “cómo”. Es decir, se han adoptado las Prescripciones y los estándares de la gestión del agua de lastre, pero queda por delante toda una labor futura de desarrollo de Directrices que garanticen una aplicación clara, explícita y uniforme, a escala mundial, de las correspondientes Prescripciones del Convenio. Labor que compete a la OMI y a todos sus Estados miembros. A saber, las Directrices sobre:

- Las instalaciones de recepción de sedimentos.
- El muestro del agua de lastre.
- El cumplimiento equivalente de la gestión del agua de lastre para las embarcaciones de recreo, así como las de búsqueda y salvamento.
- El plan de gestión del agua de lastre.
- Las instalaciones de recepción del agua de lastre.
- El cambio del agua de lastre.
- Las medidas adicionales y la evaluación de riesgos.
- La aprobación de los sistemas de gestión del agua de lastre.

- Los prototipos de tecnologías para el tratamiento del agua de lastre.

Como se ve, queda por delante todavía bastante camino por recorrer, en el que tanto la Administración, como las estructuras que se ocupan del I+D en el campo naval dentro de la industria o la universidad, tienen mucho que decir en pro de una implantación uniforme a escala mundial del Convenio recientemente adoptado.

VII.- Aplicación práctica del Sistema AOT a un buque

VII.I.- E3, origen del proyecto

El significado de sus siglas, Ecológico, Económico y Europeo. Fue un proyecto de buque planteado como alternativa tecnológica a la fuerte competencia de los países orientales en la construcción naval, y nació como respuesta a las nuevas y exigentes reglas internacionales encaminadas a reducir la contaminación desde petroleros. A finales de 1.990 se llevaron a cabo reuniones entre cinco de los mayores astilleros europeos y se acordó desarrollar conjuntamente una nueva generación de petroleros que reflejasen las nuevas características del mercado en las proximidades del año 2000. A este proyecto le fue otorgado en 1.991 el certificado Eureka por la Conferencia Interministerial de la Haya. La estructura básica de los E3 fue aprobada por Lloyd's Register, Bureau Veritas, American Bureau y Det Norske Veritas, añadiendo los requerimientos específicos de cada una de estas sociedades. El resultado fue un buque de alta seguridad y estudiado para una vida a fatiga de 20 años en los puntos más críticos.



Figura 7.1.- Fabricación del petrolero E3 en las instalaciones del Astillero de Puerto Real

Hoy, siete años después de ese tan renombrado año 2000 son noticia todavía desastres ecológicos debido a los petroleros. ¿Quizás si se hubiera renovado la flota con petroleros ecológicos de este tipo se habrían evitado?. Un dato importante es que la edad media de la flota mundial de petroleros es demasiado alta. Y otro no menos importante es que las compañías petroleras son las empresas que mayores ingresos obtienen en el mundo.

Los motivos de los incidentes en el mar, al igual que por aire o tierra, son muchos y muy distintos. Y el camino a seguir para evitarlos es el mismo: extremar la precaución y crear una normativa fuerte. En el mundo naval, y en general, las leyes aparecen o se refuerzan después de los desastres: Estados Unidos endureció las condiciones para la navegación de buques petroleros en sus aguas después del desastre del “Exxon Valdez” en las costas de Alaska, los países nórdicos hicieron lo mismo con la seguridad de los ferrys después del hundimiento del “Estonia” hace unos años, y Francia hizo lo propio después de que el “Erika” se partiera en dos frente a sus costas. Por todo esto creemos que es importante recordar el proyecto E3, que sin duda sería un buen modelo a seguir en las nuevas construcciones de buques petroleros.

Las estimaciones indican que entre 1.980 y 1.990 el mar recibió un promedio anual de casi 2,5 millones de toneladas de hidrocarburos, de las cuales algo menos de la quinta parte fueron debidas a causas relacionadas con el transporte marítimo. La entrada en vigor en el 81 del MARPOL 73/78, ya supuso una fuerte reducción de la contaminación del mar desde buques. Desde entonces se limita el tamaño máximo de los tanques de carga y se exige que los tanques de lastre se sitúen a los costados, protegiendo parcialmente los tanques de carga contra posibles colisiones. En EEUU, el OPA 1.990 (Oil Pollution Act) endureció las normas de seguridad para petroleros que navegaran por aguas norteamericanas, haciendo imprescindible el doble casco para nuevas construcciones.

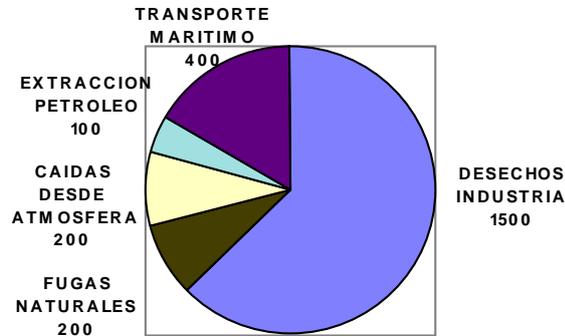
**DERRAMES AL MAR DESDE BUQUES
PROMEDIO 1980-90 (MILES TONS/AÑO)**

Figura 7.2.- Media de derrames por buques anual

En la actualidad, más de la mitad de los derrames al mar de petróleo causados por el transporte marítimo se deben a accidentes de buques petroleros, mientras el resto se reparte de manera igual entre accidentes de otros tipos de buques y derrames tanto legales como ilegales debidos a la operación normal de buques y artefactos marinos. Por tanto, el mayor problema actual son los accidentes de los buques petroleros. Además de esto, es destacable que, con importaciones de crudo comparables a Estados Unidos o Japón, Europa acapara el 70% de los peores accidentes de contaminación marina desde buques de la historia.

VII.II.- Datos principales del E3

Tipo de buque

El buque es un petrolero ecológico de doble casco (doble fondo y doble costado), lastre segregado, motor de baja velocidad impulsado por una sola hélice, con proa de bulbo, popa de espejo y pala de timón semicompensado. La acomodación, la sala de máquinas y de bombas se encuentran a popa. El sistema de tuberías de carga está preparado para trabajar con 3 grados de carga. El buque se impulsa por un motor diesel de baja velocidad directamente acoplado a una sola hélice de pala fija, a través de la línea de ejes. El E-3 está diseñado y construido para transportar crudo en un servicio no

restringido de tráfico internacional (excepto en las áreas heladas y las áreas protegidas identificadas con las siglas GMDSS A4).

Distribución general

Para una correcta descripción del buque, éste se considera dividido en las siguientes áreas:

Casco

Esta zona incluye todas las partes externas e internas del buque, exceptuando la acomodación, la sala de máquinas y de bombas. El casco estará dividido por mamparos y cubiertas en los siguientes espacios:

- Pique de proa, caja de cadena y paños.
- Doble fondo y tanques laterales de lastre.
- Tanques de combustible en zona de carga.
- Tanques de carga y de decantación.
- Pique de popa (lastre) y sala de mando.

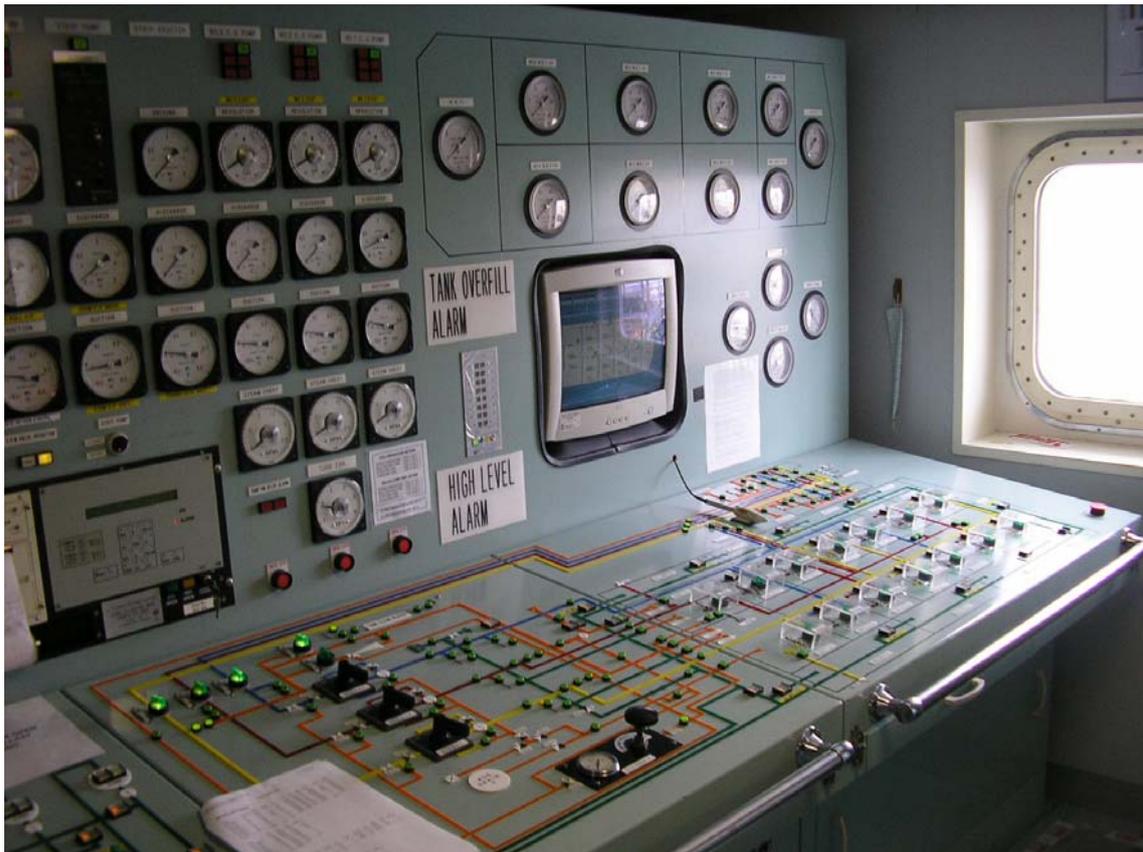


Figura 7.3.- Consola para el Sistema de Carga y Lastre monitorizado (relación de todas las válvulas de proa a popa)

Acomodación

Esta zona comprende el alojamiento de la tripulación, con 32 cabinas y espacios para otros servicios.

Sala de máquinas

Incluye su interior, todos los tanques distribuidos entre mamparo a proa y mamparo a popa de sala de máquinas, incluyendo el doble fondo y los tanques laterales, de combustible de lastre, tanques de agua dulce, el interior de la carcasa del motor y de la chimenea.

Su doble fondo incluye los tanques de diesel, tanques de aceite, de rebose y de sentina, así como pañoles, pozos de sentina y cofferdams. Los talleres de ingenieros y electricistas, sala de control de máquinas y la de purificadoras de combustible también se instalan en esta área.

Sala de bombas

Incluye el interior de la sala y su revestimiento.

Calados, pesos muertos, estabilidad, asiento y resistencia longitudinal

El calado de trazado es de 21,00m. El peso muerto está acorde con las especificaciones para este tipo de buque, con el mencionado calado, alcanzando unos 275.000 TPM, en agua de mar de 1,025 T/m³ de peso específico. El peso muerto, con calado de escantillonado de 22,20m, será de unos 295.000 TPM (con el mismo peso específico de agua de mar). Un asiento e inmersión de la hélice adecuados se alcanzan con el buque en estado de lastre (regulaciones OMI). La estabilidad, el asiento y la resistencia longitudinal debe ser estudiada con esta condición de lastre (sin consumibles), y las siguientes condiciones de navegación, considerando la salida con el 100% de los consumibles, y la correspondiente llegada con el 10% de los mismos:

B-1-D.- Lastre segregado, salida.

B-1-A.- Lastre segregado, llegada.

B-2-D.- Lastre con tiempo severo, salida.

B-2-A.- Lastre con tiempo severo, llegada.

C-1-D.- Salida con carga máxima y calado de diseño.

C-1-A.- Llegada con carga máxima y calado de diseño.

C-2-D.- Salida con carga máxima al calado de escantillonado.

C-2-A.- Llegada con carga máxima al calado de escantillonado.

C-3-D.- Salida con aproximadamente 2/3 de la carga máxima.

C-3-A.- Llegada con aproximadamente 2/3 de la carga máxima.

C-4-D.- Salida con aproximadamente 1/3 de la carga máxima.

C-4-A.- Llegada con aproximadamente 1/3 de la carga máxima.

El lastre no se debe usar para reducir tensiones en las anteriores condiciones de carga, sino únicamente para el ajuste del asiento.

Propulsión, velocidad y consumo

El motor principal debe ser capaz de desarrollar un CMCR (potencia máxima continua de contrato) de 280.000BHP a 66,8rpm. La velocidad del buque, con el mencionado calado medio de trazado de 21,00m, quilla nivelada y asiento adecuado, será de unos 15 nudos, con el motor principal entregando 25.200BHP a la hélice. Niveles conseguidos en condiciones de prueba ideales (es decir, profundidad del agua sin restringir, a 15,0°C y peso específico de 1,025 kg/m³, casco y palas de la hélice limpias, viento en calma, y sin olas). La velocidad estimada en lastre en las mismas condiciones y rango de potencia será de unos 16,6 nudos. La media estimada de velocidad en estas pruebas (en carga y lastre) es de 16,0 nudos.

El grado de consumo garantizado de combustible del motor principal en el banco de pruebas será de 119,6 gr/BHP/h, con una tolerancia de +3% cuando el poder calorífico inferior (LVC) no sea menos de 42.705 KJ/Kg (10200 Kcal/kg) y funcionando el motor al 90% de su CMCR, bajo las siguientes condiciones ambientales (ISO 3046/1, 3ª Edición 1986-08-15):

- Temperatura aire del turbocompresor a la entrada: 25°C
- Temperatura del agua de mar en los refrigeradores de aire: 25°C
- Presión atmosférica: 1bar
- Humedad relativa: 30%

Lastre en Sala de Máquinas

Las bombas de sentina reglamentarias para la sala de máquinas también aspirarán y descargarán desde y hacia el pique de popa, así como desde y hacia los tanques de lastre en el espacio de la sala de máquinas para su descarga al mar.



Figura 7.4.- Bomba centrífuga (con rejilla de protección del eje) y filtro

Servicio de Lastre Segregado

Dos bombas centrífugas de lastre trabajarán para el sistema de lastre. Éstas se deben localizar en la sala de bombas. Se dispone de una línea principal del sistema en forma de anillo que abarca a los tanques de lastre en el espacio de carga y pique de proa. Cada tanque del doble fondo debe ser servido por ramales del colector principal. Hay una posibilidad de conexión de emergencia entre la línea de gas inerte y la de lastre, para una posible necesaria inertización y desgasificación de los tanques de lastre. Un eyector de lastre succionará, mediante las bombas de lastre, de las líneas principales de lastre. Las válvulas principales de aspiración se manejan hidráulicamente y estarán localizadas en tanques adyacentes a cada tanque de lastre. Se disponen a su vez filtros de aspiración para las bombas principales del sistema de lastre. Las bombas de lastre se controlan en la sala de control central por CCR (receptor de control de cámara). La velocidad máxima del agua por el interior de las tuberías de aspiración del lastre debe ser de 3,5m/s, aplicable a todo el sistema de tuberías de lastre.



Figura 7.5.- Válvula de mariposa

Equipo

Dos bombas de lastre de 3.000m³/h a 35mca. Sus motores eléctricos se instalan en la sala de máquinas y deben manejar sus respectivas bombas mediante ejes intermedios. Un eyector de lastre de 400m³/h a 2bar de presión de descarga (15mca en la aspiración y 20mca en la descarga), alimentado por las bombas de lastre.

Clasificación

El buque, incluyendo casco, maquinaria y equipamiento ha sido clasificado por American Bureau of Shipping con las siguientes siglas:

ABS + A1, E, OIL CARRIER, +AMS, +ACU, +DLA, COW, IGS

VII.III.- Las tres “Es”

El petrolero ecológico

En el desarrollo de los diversos aspectos técnicos del petrolero E3, el principio básico es reducir la contaminación accidental por todos los medios disponibles y el objetivo marcado ha sido ambicioso: "contaminación cero". Para que un buque cause una contaminación dañina del medio marino tiene que ocurrir una serie de eventos en cadena: que haya un incidente o situación comprometida que degenera en un accidente, que este afecte a los tanques de carga, que la carga salga de los tanques y del buque, y que el derrame al mar no sea controlado. Por tanto, para luchar contra la contaminación marina accidental existen oportunidades de intervenir en cada eslabón de esta cadena, antes de llegar al derrame. Basta cortar uno de ellos para evitar la contaminación. El Proyecto E3 abordó el problema en toda su extensión y adoptó una estrategia de prevención, protección y contención.

Muchos de los peores accidentes de contaminación marina han ocurrido por culpa de un error de navegación, y especialmente por una varada ocasionada por haberse salido el buque de los canales de acceso a los puertos, o por chocar con bajos en su ruta. La tecnología puede contribuir en gran medida a que estos errores se eviten y corrijan a tiempo. Por ello se ha dotado al E3 con mejores sistemas de navegación. Va equipado con una novedad mundial, un sonar especial para detección de obstáculos sumergidos o bajos fondos hasta una milla por delante del buque. Para evitar averías causadas por el mal tiempo el E3 lleva un sistema de vigilancia continua de los esfuerzos en el casco.

El E3 cuenta con tres centros de control, situados a popa, desde los que se le dirige, y prestan información exhaustiva de cualquiera de los otros dos puestos. El puente de gobierno disfruta de una visibilidad de casi 360° y cumple con los reglamentos más avanzados para "un sólo hombre en puente". Se ha dispuesto un sistema de navegación integrada con sistema electrónico de presentación de cartas, información, navegación automática y mantenimiento de rumbo. Desde el local de control de carga, en la cubierta inferior al puente de gobierno se acciona el sistema de cargamento con una visibilidad de 180°.

Respecto a la protección de los tanques de carga, se toman medidas encaminadas a evitar su rotura y el consiguiente derrame de su contenido, y para limitar la extensión de las averías en caso de accidente. El diseño básico incluye doble casco de 4m, un 100% superior al mínimo exigido por la OMI, y doble fondo, que supera en un 50% lo requerido por dicha regla. La disposición de los mamparos longitudinales está determinada, tras diferentes ensayos, de tal forma que en caso de colisión o varada la carga derramada sea la menor posible. Los dos mamparos longitudinales a lo largo de la eslora de la zona de carga y los mamparos transversales conforman 18 tanques de carga, 6 centrales (ampliables a 8) y 12 laterales además de 2 de lastre laterales y de doble fondo, más otros 2 tanques laterales de decantación. Los tanques de lastre van desde la crujía, por el doble fondo, hasta la cubierta en el doble casco. Los petroleros generalmente están provistos de 15 tanques, pero con el E3 se ha superado este número, de forma que se consigue a la vez un mejor comportamiento en caso de accidente. Para proteger los tanques de fuel-oil se ha prolongado el doble casco hacia popa.

Contención del derrame, si éste llegara a producirse. Se trata aquí de asegurar que para un accidente determinado el derrame sea lo más pequeño posible, preferentemente nulo. Sin embargo, tras unos estudios finales se desechó la posibilidad de la recogida de la carga derramada, con medios a bordo del buque. Se vio que esto no sería posible en la mayoría de los casos porque el peligro de incendio en caso de derrame es muy grande, y se pondría en grave riesgo la vida de la tripulación. Con estas mejoras se espera obtener una reducción estadística del riesgo superior al 95% frente a un petrolero actual de casco sencillo diseñado según las reglas convencionales MARPOL 73/78.

El petrolero económico

Con este tipo de buques se reducirían los costes de capital gracias a una mayor vida útil debida a la alta tecnología de diseño y a la adopción de suficientes márgenes contra la corrosión y la fatiga de las estructuras y los equipos. Por ello se ha optado por aplicar en la estructura del buque un 75% de acero dulce y el resto de acero de alta resistencia de 32 kg/mm². Los costes de operación se reducirán frente a sus competidores por un menor uso de energía, derivado del avanzado diseño hidrodinámico y de su hélice propulsora (campo en el que los astilleros españoles estaban en el momento de su construcción a la vanguardia europea), y derivado también del empleo de sistemas ultramodernos de administración y recuperación de energía residual.

Por otro lado, el buque se diseñará para ser manejado por un número de tripulantes reducido, pero con plena garantía de seguridad. Se prestará atención al mantenimiento, tanto en el diseño como en la seguridad del buque, con el consiguiente descenso del riesgo de derrames. Además se espera obtener una importante rebaja en las primas de seguros de responsabilidad civil.

El petrolero europeo

A finales de los 90, estos fueron los cinco astilleros que constituyeron formalmente el Grupo E-3:

- ASTILLEROS ESPAÑOLES, SA	España
- HOWALDSTWERKE DEUTSCHE WERFT	Alemania
- CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE	Francia
- BREMEN VULKAN	Alemania
- FINCANTIERI	Italia

El primer y único petrolero ecológico de momento fue construido en la factoría de Puerto Real (Cádiz) de Astilleros Españoles, como la construcción 72 (C/72). Se construyó inicialmente para la naviera Fernández Tapias, por el precio de 95 millones de dólares. Sin embargo una vez terminado dicha naviera no se hizo cargo del buque alegando dificultades económicas originadas por la bajada de los precios de los fletes de transporte de crudo en el mercado marítimo internacional.

Ante esta adversa situación Astilleros Españoles inició una serie de negociaciones con los más importantes armadores que se dedican al transporte de crudo, que finalmente fructificaron en el contrato suscrito con el grupo Euronav-Luxemburgo de origen franco-belga. En esta compañía participa en un 50% el grupo Woms, propietario a su vez de la Compagnie National de Navigation, y en otro 50% la Compagnie Maritime Belge, uno de los mayores grupos de transporte de petróleo del mundo. Después de ser sometido a diversas modificaciones que había solicitado la naviera compradora se procedió a su entrega, en Marzo de 1.996, con el nombre de Bourgogne y bajo bandera de Luxemburgo.



Figura 7.6.- Petrolero clase E3 “VLCC Bourgoigne”

Características principales:

Eslora total:	335.0 m
Eslora entre perpendiculares:	318.0 m
Manga de trazado:	57.0 m
Puntal de trazado:	31.5 m
Calado de escantillones:	22.2 m
Peso muerto:	295000 TPM

Capacidades:

Lastre	108900 m ³
Fuel-oil	7675 m ³
Diesel-oil	400 m ³
Tanques de carga	341000 m ³

VII.IV.- AOT-E3

El buque petrolero de clase E3 ha sido nuestra elección para este sistema por varios motivos. El principal viene de la necesidad de darle protagonismo al lastre en este

proyecto. Y si hay un tipo de buque, dentro de la gran variedad existente, que dependa de forma más evidente del lastre nos terminaremos encontrando siempre con los petroleros. Por otro lado debía ser este buque en concreto, que resalta sobre los demás de su clase ya desde la idea básica por la que fue diseñado. El concepto de su construcción es paralelo al concepto del sistema de tratamiento AOT, respeto medio-ambiental y contaminación cero. Si bien hemos visto que, a pesar de que aún persistan accidentes vinculados a los hidrocarburos o a los productos químicos, las estadísticas afirman que los niveles de riesgo de accidente están bajando, y están siendo lentamente superados.

Fue buscando los buques más conflictivos mundialmente respecto a problemas ecológicos cuando resaltaban por encima del resto con clara evidencia los petroleros. Y al querer asociar la idea de este trabajo a este tipo de buques pudimos dar con este proyecto de buque tanque, el E3. Si bien no dejaba de pertenecer a un grupo de buques que todavía arrastran el estigma de las mareas negras, ecosistemas arrasados, economías masacradas, etc..., éste se trataba de una idea de proyecto que ha recogido por este duro historial todas las debilidades e inconvenientes de sus predecesores, para alcanzar un nivel de seguridad y fiabilidad que nos dio pie a considerarlo el mejor estandarte para cerrar este trabajo que, aunque parta de la contaminación por buques, no se ha fijado en el problema que históricamente ha dado más dolores de cabeza al mundo naval, sino en este nuevo reto que debe afrontar.

Por todo esto pienso que no hay mejor ejemplo que el concepto de este petrolero, que ha superado la principal debilidad de los de su clase. El E3 afronta el futuro buscando anular definitivamente cualquier duda respecto al riesgo potencial de su carga, y poder de esta manera centrarnos en otros campos de riesgo, que a pesar de que hayan sido ninguneados, por haber estado siempre a la sombra de los más palpables para el hombre, nunca dejaron de ser importantes para la Tierra, y por lo tanto nunca debieron dejar de serlo para nosotros.

Las características del Sistema AOT son perfectamente admisibles para las características del E3. En primer lugar los flujos que cubre el sistema como sabemos se adaptan perfectamente al rango de flujo del buque. Los módulos, que se van acoplando entre sí en la etapa de diseño, según sean las necesidades requeridas por el sistema de

lastre concreto, se van ensamblando con grupos formados por unidades de una capacidad 250m³/h cada una. Así, el E3 en Sala de Máquinas tiene dos bombas de lastre de 280m³/h, luego hay que cubrir 560m³/h. De esta manera, un equipo AOT formado por 3 unidades acopladas cubre y supera el rango máximo que pueda llegar a alcanzar las bombas. En el caso de la Sala de Bombas el buque dispone de 2 bombas de 3000m³/h, luego hay que cubrir 6000m³/h. De esta manera, y gracias a su flexibilidad modular, dividiremos el sistema de tratamiento en 2 series de unidades AOT, a dos alturas, ambas series formada por 12 unidades que cubran en conjunto 3000m³/h, con lo que quedarían cubiertas las necesidades máximas de flujo de lastre.

Es necesario resaltar el alto nivel de seguridad que posee este sistema de tratamiento, que destaca aún más en este tipo de buque donde las medidas de seguridad deben ser llevadas al extremo. El sistema está libre de peligros como la toxicidad de reacciones químicas, cambios bruscos de presión en el sistema de lastre o de temperatura en los tanques. El proceso UV queda totalmente hermetizado como sabemos, aparte de su total automatización que cierra válvulas y desconecta el sistema en caso de fallo de potencia o cualquier otra avería que afecte al sistema.

En relación al espacio facilitamos a continuación las medidas estándar de los tres módulos básicos del sistema AOT, en base a los cuales construiremos nuestro hipotético sistema de tratamiento de lastre, tanto para la Sala de Máquinas como para la Sala de Bombas. Una vez integrados calcularemos las consecuentes pérdidas de carga de cada uno, llevándonos finalmente al incremento de potencia requerida por el sistema de lastre, al haberles añadido las unidades de tratamiento más el extra de tuberías y demás accesorios.

Medidas de cada módulo en un Sistema de Tratamiento del Lastre AOT (mirar planos “módulos básicos AOT”):

Unidad AOT: L= 1,061m; A= 1,168m; H= 2,020m

Filtro: Ø= 1,770m; H= 3,820m

Sistema CIP: Ø= 1,028m; H= 2,100m

+ espacio libre recomendado por encima de cada unidad

Unidad AOT	1,2 m
Filtro	0,8 m
Sistema CIP	0,6 m

Cálculo de Potencia del Sistema de Lastre con Tratamiento integrado AOT en:

Sala de Máquinas

Disponemos como sabemos de dos bombas de 280m³/h, capaces de levantar 35mcl cada una. Así, el caudal que es necesario cubrir es de 560m³/h. Para ello agrupamos junto al filtro y al sistema de limpieza CIP un total de 3 unidades AOT de tratamiento, siempre de 250m³/h cada unidad. Introducimos los datos necesarios que cubran el sistema en la tabla de pérdidas de carga correspondiente a la cámara de máquinas (ver tabla), correspondiéndole un incremento de pérdidas a cada bomba de:

$$\Delta \text{Pérdidas de carga con Sist. AOT por bomba en C.Maq.} = 9,63\text{mcl}$$

Esta es la cantidad de pérdidas que tendremos que añadir a los 35mcl que levanta cada bomba, dándonos como resultado una altura total manométrica de:

$$\text{ATM} = 35\text{mcl} + 9,63\text{mcl} = 44,63\text{mcl}$$

En consecuencia, partiendo de la potencia original requerida por el sistema de lastre para la cámara de máquinas:

$$\begin{aligned} P_o &= 1000 * (Q * H * Y) / 3600 * 75 * \eta = \\ &= 1000 * (280 * 35 * 1,025) / 3600 * 75 * 0,77 = 48,316 \text{ CV} \\ &= 48,316 / 1,36 = 35,52 \text{ Kw} \end{aligned}$$

y la potencia modificada debido al incremento de pérdidas:

$$\begin{aligned} P_{\text{mod}} &= 1000 * (Q * \text{ATM} * Y) / 3600 * 75 * \eta = \\ &= 1000 * (280 * 44,63 * 1,025) / 3600 * 75 * 0,77 = 61,610 \text{ CV} \end{aligned}$$

$$= 61,610 / 1,36 = 45,30 \text{ Kw}$$

teniendo finalmente un incremento de potencia de:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 100 * (\Delta \text{Pérdidas por Sist.AOT} / \text{Pérdidas originales}) = \\ &= 100 * (9,63/35) = 27,5 \text{ \%} \end{aligned}$$

donde,

Po = potencia original de cada bomba (Kw)

Q = caudal necesario (m³/h)

H = Altura manométrica original de cada bomba (m)

Y = Peso específico del agua salada (Kgf/m³)

η = Rendimiento

ΔP = Incremento de potencia con el Sist. AOT

Sala de Bombas

En este caso trabajamos con dos bombas de 3000m³/h y 40mcl cada una. Así, en esta sala habrá que cubrir un total de 6000m³/h. De esta manera, junto a los dos habituales del sistema, tendremos que integrar un total de 24 unidades básicas de tratamiento AOT. Así, como anunciábamos al principio, distribuiremos dichas unidades en dos niveles, a dos alturas, en cada una de las cuales se dispondrán 12 unidades, en dos líneas de 6, satisfaciendo el caudal total, con 3000m³/h por planta.

Actuamos entonces de la misma forma, introduciendo los datos necesarios que cubran el sistema en la tabla de pérdidas de carga correspondiente esta vez a la sala de bombas (ver tabla), correspondiéndole un total de:

$$\Delta \text{Pérdidas de carga con Sist. AOT por bomba en S.Bbas.} = 14,27\text{mcl}$$

cantidad que tendremos que añadir a los 40mcl que levanta cada bomba:

$$\text{ATM} = 40\text{mcl} + 14,27\text{mcl} = 54,27\text{mcl}$$

En consecuencia, partiendo de la potencia original requerida por el sistema de lastre para la sala de bombas:

$$\begin{aligned} P_o &= 1000 * (Q * H * Y) / 3600 * 75 * \eta = \\ &= 1000 * (3000 * 40 * 1,025) / 3600 * 75 * 0,77 = 591,630CV \\ &= 591,630 / 1,36 = 435,02Kw \end{aligned}$$

y la potencia modificada debido al incremento de pérdidas:

$$\begin{aligned} P_{mod} &= 1000 * (Q * ATM * Y) / 3600 * 75 * \eta = \\ &= 1000 * (3000 * 54,27 * 1,025) / 3600 * 75 * 0,77 = 802,694CV \\ &= 802,694 / 1,36 = 590,21Kw \end{aligned}$$

teniendo finalmente un incremento de potencia de:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 100 * (\Delta \text{Pérdidas por Sist. AOT} / \text{Pérdidas originales}) = \\ &= 100 * (14,27/40) = 35,6\% \end{aligned}$$

donde,

- Po = potencia original de cada bomba (Kw)
- Q = caudal necesario (m³/h)
- H = Altura manométrica original de cada bomba (m)
- Y = Peso específico del agua salada (Kgf/m³)
- η = Rendimiento
- ΔP = Incremento de potencia con el Sist. AOT

Sabíamos respecto a la potencia que según las pruebas realizadas en un sistema prototipo de un equipo AOT de 500m³/h absorbe una potencia de 15Kw, en un buque cuya potencia del motor principal es de 15000Kw. Así, hemos visto que en la Sala de Bombas el incremento de potencia será de 155,19Kw , más el incremento de los 9,78Kw en la Sala de Maquinas, concluiríamos con que el incremento debido a la instalación de la planta de tratamiento es de unos 165Kw. Éste será el incremento de potencia necesaria

que habrá que añadir para cubrir con sus respectivos tratamientos ambos sistemas de lastre, de los 20.860Kw de potencia de contrato que saldrán del motor.

En el aspecto de la autonomía este sistema es ideal para un buque de este tipo, ya que se trata de un petrolero transoceánico. El sistema, al no usar partes móviles susceptibles al desgaste, o productos químicos que se consuman y deban reponerse con regularidad, podrá adaptarse e integrarse en el buque como una parte más del mismo. Así, los únicos productos consumibles en el sistema serán como sabemos las lámparas UV y el líquido de limpieza del sistema CIP para las lámparas, que se deben almacenar a bordo de forma reglamentaria para acciones inmediatas por fallos, pero cuyo desgaste en ambos casos a lo largo de la vida del buque resultará ínfimo.

En el aspecto del coste, cabe destacar que la inversión es significativa en valor absoluto, e incluso relativo. Así pues, tan sólo como indicación podemos decir que un flujo medio de 1000 m³/h costarán alrededor de unos 530.000€. Por lo tanto, cada unidad AOT básica de tratamiento (250 m³/h) tendrá un coste aproximado de adquisición de 132.500€. Como son necesarias 3 AOT para Sala de Máquinas y 24 AOT para Sala de Bombas, la inversión inicial será de 3.577.500€, más su coste de instalación y el montaje de tubería y válvulas adicionales.

En contrapartida el incremento de los costes de explotación es mucho menos importante en términos relativos. Habría que considerar el aumento del consumo de combustible que supone el incremento de potencia mencionado (unos 165Kw), el coste de aditivos (CIP más desgaste de lámparas) por tratamiento y los gastos de mantenimiento del equipo. Estas dos últimas partidas representan respectivamente un coste de 0,01€ y 0,035€ por cada m³ de agua tratada.

Con una capacidad total de lastre en los tanques de 108.900m³, esto representaría por operación un montante de 1.470,15€ cada tratamiento del sistema de lastre. Si suponemos del orden de 16 viajes redondos al año, nos supondría un coste anual de 23.522,4€.

Este sistema por tanto, así como otros muchos métodos de tratamiento, deberán necesariamente estar previamente arropados y bien promulgados hacia la industria

marítima, bajo una sólida base de concienciación, de educación, de legislaciones comprensibles y comunes para todos, y de una visión de un futuro en definitiva ya muy cercano, que hemos querido plasmar con este trabajo. De otra forma, hoy por hoy, si sólo dependiera de aquellos que tienen que hacer la inversión, este tipo de sistemas que no repercuten de manera directa en beneficios exclusivos para el armador, sino en aspectos tan intangibles como la sociedad o el medio ambiente, y añadiendo además el hecho de que actualmente no sean obligatorias totalmente a nivel mundial ni para todo tipo de buques terminarían siendo radicalmente rechazadas.

Sólo se atenderá de forma unánime a estos sistemas cuando se exija desde las distintas autoridades portuarias y Sociedades de Clasificación, que permitirán o no la navegación de ciertos buques. Éstas a su vez deberán estar respaldadas bajo legislaciones internacionales en este aspecto, que sabemos deberán estar ratificadas por un número significativo de países, siendo éstos últimos cuyos gobiernos elegimos finalmente nosotros mismos, al menos en la mayoría de los que firmen el convenio. Con lo cual al final de la cadena parece que la solución pasa por nuestras manos. Efectivamente porque como decíamos al comienzo el mar es símbolo de vida, una vida tan delicada que su continuidad debemos defenderla todos nosotros. Hagámoslo posible.

Bibliografía

A continuación vamos a detallar la relación utilizada de libros, reglamentaciones, documentación técnica, páginas web u organizaciones consultadas para la realización de este proyecto.

Libros y apuntes

- Antonio Bonilla de la Corte: “Construcción Naval y Servicios”. Edit. San José – Carral, 19 – Vigo, 1984.
- Guy Malgorn: “Diccionario Técnico Inglés-Español”. 15ª Edición; Edit. Thomson Paraninfo, Madrid, 2003.
- José B. Taboas Vázquez y Fernando Fernández Pérez: “Gramática Inglesa e Inglés Marítimo”. 3ª Edición; Edit. Dorn Henrique, Vigo, 1984.
- Rafael González Tirado: Apuntes de “Sistemas Auxiliares del Buque”; EUIT Naval, Universidad de Cádiz.
- Francisco Mazarro Alcalá: Apuntes de “Proyectos de Propulsión y Servicios del Buque”; EUIT Naval, Universidad de Cádiz.
- Juan Antonio Lamas León: Apuntes de “Fundamentos de la Construcción Naval”; EUIT Naval, Universidad de Cádiz.
- Rafael González Linares, José F. Jiménez Escribano y Ricardo Miguel de la Villa: Apuntes de “Equipos y Servicios”; EUIT Naval, Universidad de Cádiz.
- José Díaz Cuñado: Apuntes de “Construcción Naval y Teoría del Buque”; Escuela Oficial Náutico-Pesquera Almirante Nieto Antúñez, Vigo.

Reglamentaciones y Documentación Técnica

- Marpol 73-78: “Convenio para prevenir la contaminación por los buques”.
- Bureau Veritas: “Prevention of Sea Pollution (CLEAN-SEA)”; Rule Note NR 474 DNC.
- American Bureau of Shipping (ABS): Publicación Nº 18 “Ballast Water Exchange Procedures”.
- Comité de Protección Marina Medioambiental (MEPC). Sesiones Nº 44, 47, 52, 53 y 55.
- Organización Marítima Internacional (OMI). Resolución A.868 (20): “Directrices para el Control y la Gestión del Agua de Lastre de los Buques, a fin de reducir al mínimo la transferencia de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos”.
- Lloyd’s Register of Shipping, Lefteris Karaminas: “An investigation of Ballast Water Management Methods with particular emphasis on the risks of the Sequential Method”, Junio 2000.
- Lloyd's Register of Shipping: “Tratamiento del Agua de Lastre - Procesos de Intercambio, ventajas e inconvenientes de cada método”.
- Investigación teorica-práctica: “Greenship’s Ballast Water Management System, Study Report”; “Ballast Water Treatment, Land-based test”. Greenship, 2005.
- Disposición General del C72. Cap.1: “Design Characteristics”; Cap.5: “Cargo Installations and Services”; Cap.7: “Installations and General Services”. Astilleros Españoles S.A., 1993.

Páginas web

Organizaciones y empresas:

- <http://www.imo.org/> (OMI, Sociedad de Clasificación)
- <http://globallast.imo.org/> (OMI, Sociedad de Clasificación)
- <http://www.eagle.org/> (ABS, Sociedad de Clasificación americana)
- www.aqis.gov.au/shipping (Servicio australiano de Inspección y Cuarentena)
- <http://www.uscg.mil/> (Guardia Costera de Estados Unidos)
- <http://www.mcga.gov.uk/> (Agencia Marítima y Guardacostas del Reino Unido)
- <http://www.swedishclub.com/> (Aseguradora Marina sueca)
- <http://www.dr-peters.de/> (Aseguradora Marina alemana)
- <http://www.tc.gc.ca/> (Organización de Transportes en Canadá)
- <http://www.nemw.org/> (organización de investigación medioambiental americana)
- <http://www.pwsrca.org/> (organización de investigación medioambiental canadiense)
- <http://www.amlc-carib.org/es/> (organización de investigación medioambiental caribeña)
- <http://www.ieo.es/> (Instituto Español de Oceanografía)
- <http://www.utm.csic.es/> (CSIC; Unidad de Tecnología Marina)
- <http://www.ecologistasenaccion.org/> (organización medioambiental española)
- <http://www.cram.org/> (organización medioambiental española)
- <http://www.cec.org/> (Comisión de Cooperación Ambiental en Norte América)
- <http://www.conabio.gob.mx/> (Comisión mejicana para la Biodiversidad)
- <http://geib.blogspot.com/> (GEIB, Grupo Especialista en Invasiones Biológicas)
- <http://www.ecodes.org/> (Fundación para la Ecología y el Desarrollo)
- <http://www.prefectura naval.gov.ar/> (Policía naval argentina)
- <http://www.terraquatica.org/> (organización medioambiental)
- <http://www.walleniuslines.com/> (naviera sueca)
- <http://www.hidritec.com/> (Tecnología y Gestión de recursos hídricos)

Prensa:

- <http://www.derechomaritimo.info/> (revista naval española)
- <http://www.infomarine.com/> (revista naval española)
- <http://waste.ideal.es/> (revista de investigación medioambiental española)

- <http://www.xs4all.nl/~oro/ultramarine/index.html> (revista naval holandesa)
- <http://www.europapress.es/> (periódico digital español)
- <http://www.elpais.com/> (periódico digital español)
- <http://www.goodwill.es/> (periódico digital español)
- <http://www.eevl.ac.uk/engineering/> (revista inglesa de ingeniería)
- <http://www.eco2site.com/> (revista ecológica)
- <http://www.eponline.com/> (Revista sobre el desarrollo de la Tecnología Medioambiental)

Información científico-técnica:

- <http://www.navalengineers.org/> (asociación americana de ingenieros navales)
- <http://www.scielo.org/> (biblioteca científica electrónica)
- <http://www.issg.org/database/> (Base de datos taxonómica de ISSG, Programa Mundial sobre Especies Invasoras)
- <http://www.eti.uva.nl/tools/wtd.php> (Base de datos taxonómica internacional)
- <http://www.invasivespeciesinfo.gov/> (Sistema de Información en línea de EEUU sobre Especies Invasoras)
- <http://www.great-lakes.net/> (Red informativa de los Grandes Lagos sobre Especies Invasoras)
- <http://www.uni-rostock.de/> (Investigación alemana sobre la biología y la genética de las Especies Invasoras)
- <http://www.gollaschconsulting.de/> (Especialistas en invasiones marinas y tratamiento del lastre)
- <http://massbay.mit.edu/exoticspecies/index.html> (invasiones biológicas marinas, vías de entrada, métodos de prevención y control)
- <http://www.ballastwaterproject.com/> (proyecto de investigación para el tratamiento del lastre en Bremen, Alemania)
- http://groups.ucanr.org/Ballast_Outreach/ (proyecto de investigación para el tratamiento del lastre en California, EEUU)

Tablas y planos

PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS	
Cámara de Máquinas	
Servicio: Lastrado/deslastrado	

PROPIEDADES FISICAS	
Volumen específico	0,001 m ³ /kgf
Peso específico	1025 kgf/m ³
Viscosidad dinámica	1,218E-03 kgf/m·s
Viscosidad cinemática	1,188E-06 m ² /s
Temperatura	15 °C

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	TRAMO
Rugosidad absoluta	0,002 mm
Caudal	560 m ³ /h
Diámetro Exterior	323,90 mm
Espesor	7,10 mm
Diámetro interior	309,70 mm
Area	0,07533 m ²
Velocidad	2,07 m/s
Nº de Reynolds	5,38E+05
Rugosidad relativa	0,000005
Coeficiente de fricción, régimen laminar	
Coeficiente de fricción, régimen turbulento	0,01237

LONGITUD DE TUBERIA	33 m
----------------------------	------

CURVAS	
De radio corto (1 vez DN)	
Curvas de 30°	
Curvas de 45°	

Curvas de 60°	
Curvas de 90°	
De radio largo (1,5 veces DN)	
Curvas de 30°	
Curvas de 45°	2
Curvas de 60°	
Curvas de 90°	10
Comercial	
Curvas de 45°	
Curvas de 90°	

VALVULAS	
De compuerta	
Abierta	
Abierta 3/4 partes	
Semiabierta	
Abierta 1/4 parte	
De asiento cierre y paso recto	
Asiento plano abierta	
Asiento con disco guia, abierta	
Con vastago inclinado 45°, abierta	
De asiento cierre y paso angular	
Asiento plano abierta	
Asiento con disco guia, abierta	
De mariposa >= DN 200	
Abierta	8
De clapeta	
Oscilante convencional	
Oscilante sin obstaculo	

FILTROS	
Convencional	

INJERTOS	
Flujo a lo largo del colector	
Flujo a través del injerto	

REDUCCIONES	

AMPLIACIONES	
Tipo 1	
Diámetro mayor	300
Diámetro menor	200
Tipo 2	
Diámetro mayor	
Diámetro menor	
Tipo 3	
Diámetro mayor	

Diámetro menor	
ENTRADAS	
Borde afilado	
Borde redondeado	
Borde proyeccion interior	
SALIDAS	
Borde afilado	
Borde redondeado	
Borde proyeccion interior	
ACOPLAMIENTOS	
Con bridas	
PERDIDA DE CARGA EN EQUIPOS	
Filtro	5 m.c.a.
Unidades AOT	3 m.c.a.
PERDIDA DE CARGA EN TRAMO	9,63 m.c.a.
PERDIDA DE CARGA ACUMULADA	9,63 m.c.a.

PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS	
Sala de Bombas	
Servicio: Lastrado/deslastrado	

PROPIEDADES FISICAS	
Volumen específico	0,001 m ³ /kgf
Peso específico	1025 kgf/m ³
Viscosidad dinámica	1,218E-03 kgf/m· s
Viscosidad cinemática	1,188E-06 m ² /s
Temperatura	15 °C

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	TRAMO
Rugosidad absoluta	0,002 mm
Caudal	6.000 m ³ /h
Diámetro Exterior	711,00 mm
Espesor	12,50 mm
Diámetro interior	686,00 mm
Area	0,36960 m ²
Velocidad	4,51 m/s
Nº de Reynolds	2,60E+06
Rugosidad relativa	0,000002
Coeficiente de fricción, régimen laminar	
Coeficiente de fricción, régimen turbulento	0,00939

LONGITUD DE TUBERIA	66 m
----------------------------	------

CURVAS	
De radio corto (1 vez DN)	
Curvas de 30°	
Curvas de 45°	
Curvas de 60°	
Curvas de 90°	
De radio largo (1,5 veces DN)	
Curvas de 30°	
Curvas de 45°	

Curvas de 60°	
Curvas de 90°	11
Comercial	
Curvas de 45°	
Curvas de 90°	

VALVULAS	
De compuerta	
Abierta	
Abierta 3/4 partes	
Semiabierta	
Abierta 1/4 parte	
De asiento cierre y paso recto	
Asiento plano abierta	
Asiento con disco guia, abierta	
Con vastago inclinado 45°, abierta	
De asiento cierre y paso angular	
Asiento plano abierta	
Asiento con disco guia, abierta	
De mariposa >= DN 200	
Abierta	10
De clapeta	
Oscilante convencional	
Oscilante sin obstaculo	

FILTROS	
Convencional	

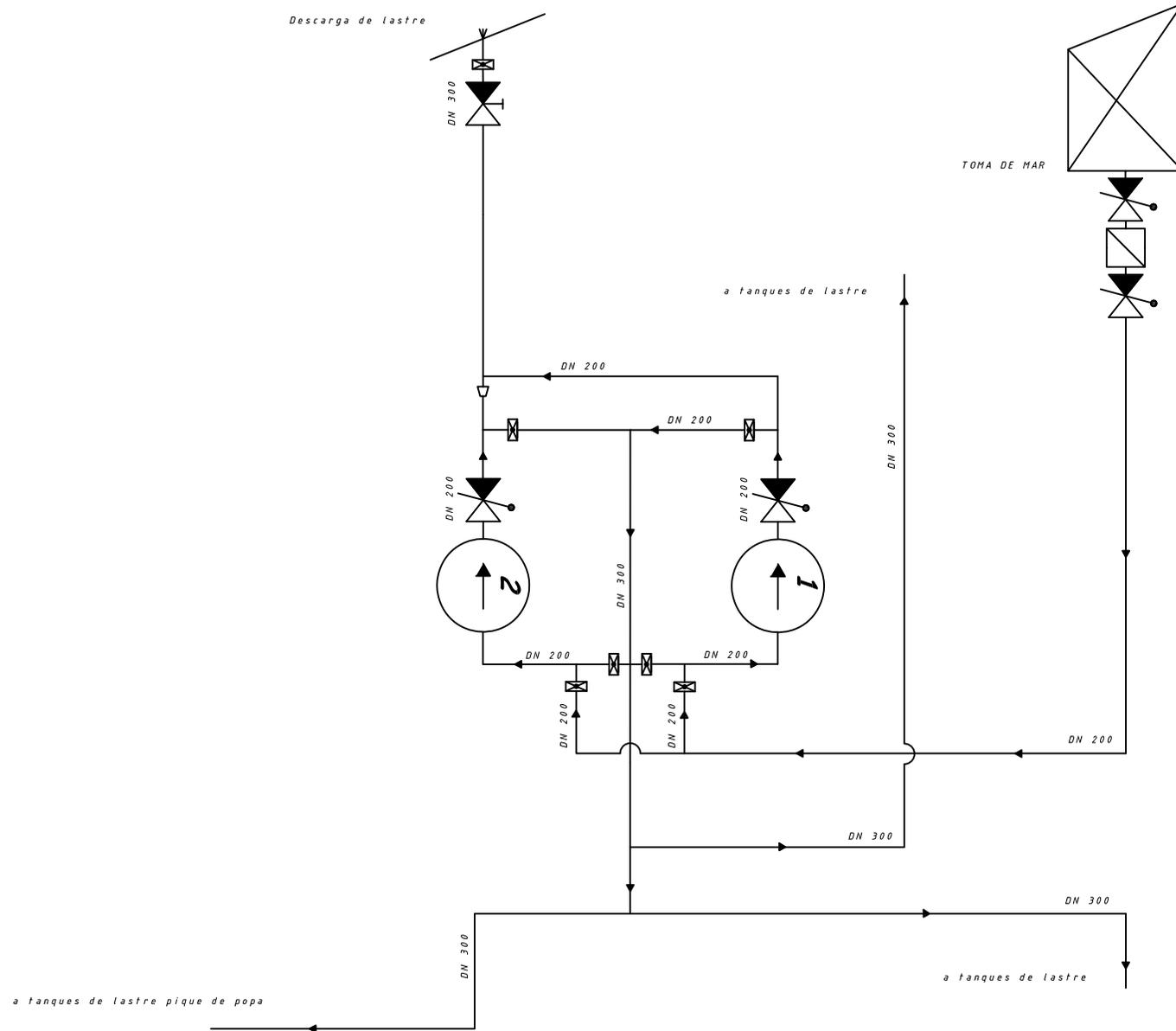
INJERTOS	
Flujo a lo largo del colector	
Flujo a través del injerto	

REDUCCIONES	

AMPLIACIONES	
Tipo 1	
Diámetro mayor	700
Diámetro menor	300
Tipo 2	
Diámetro mayor	
Diámetro menor	
Tipo 3	
Diámetro mayor	
Diámetro menor	

ENTRADAS	
Borde afilado	
Borde redondeado	

Planos

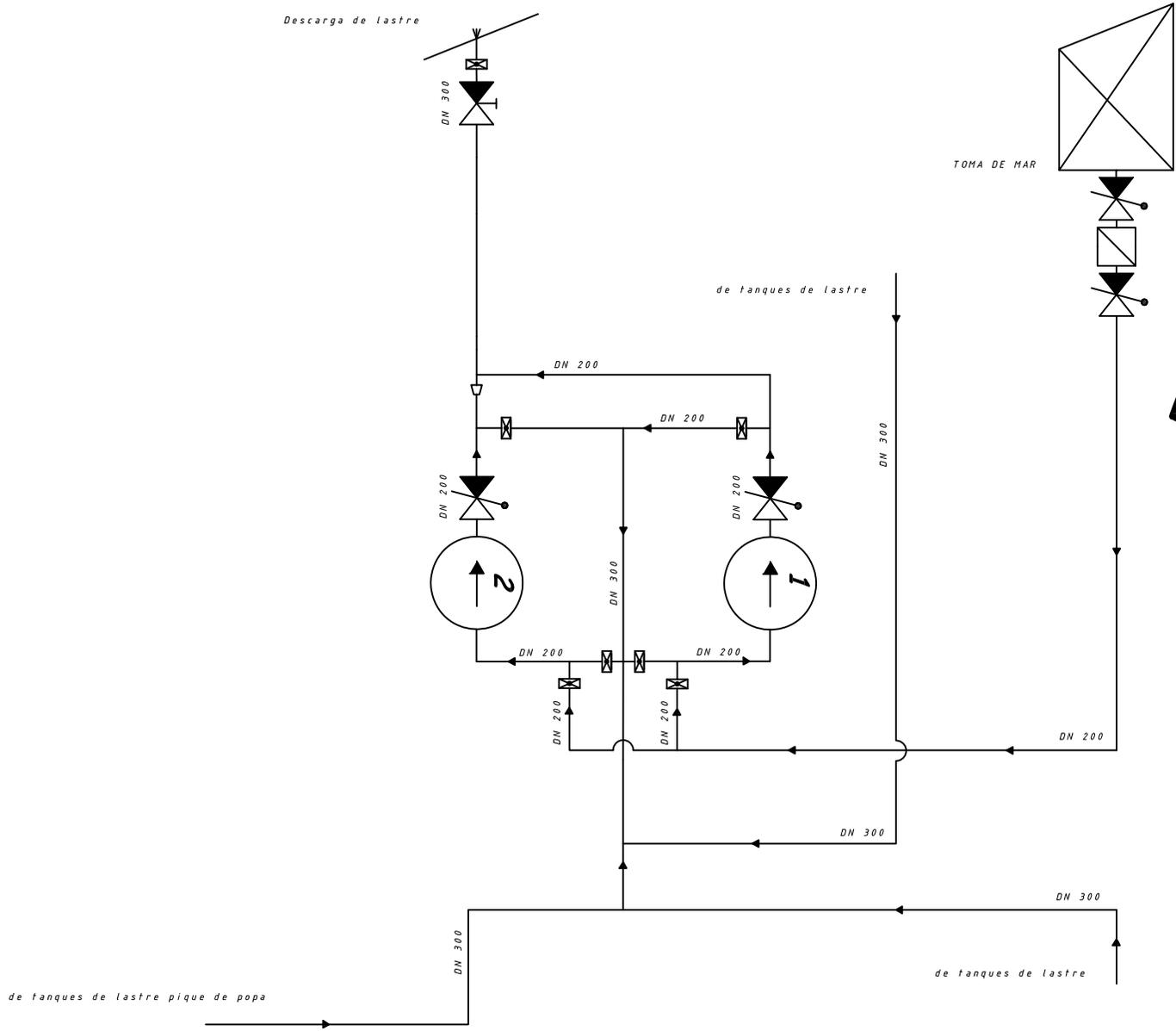


LASTRADO DE TANQUES

DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANEJO DE ACT. MANUAL	<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANEJO DE ACT. REMOTO
<input type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANEJO DE ACT. REMOTO	<input type="checkbox"/>	FILTRADO

ESQUEMA DE LASTRE EN SALA DE MÁQUINAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

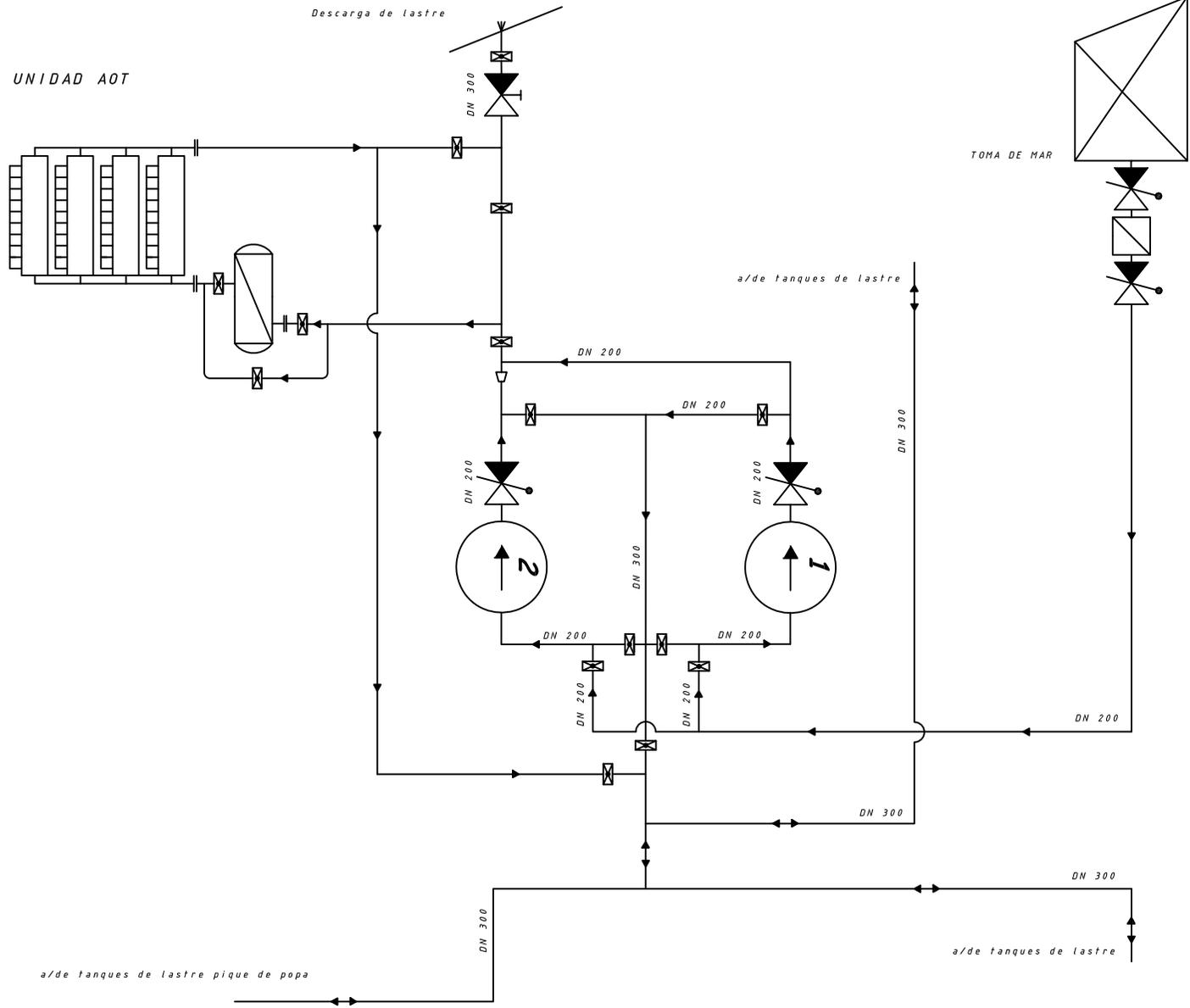


DESLASTRADO

DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANIPULACIÓN DE ACT. MANUAL	<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANIPULACIÓN DE ACT. AUTOMÁTICA
<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANIPULACIÓN DE ACT. SEMIAUTO	<input checked="" type="checkbox"/>	FILTRADO
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

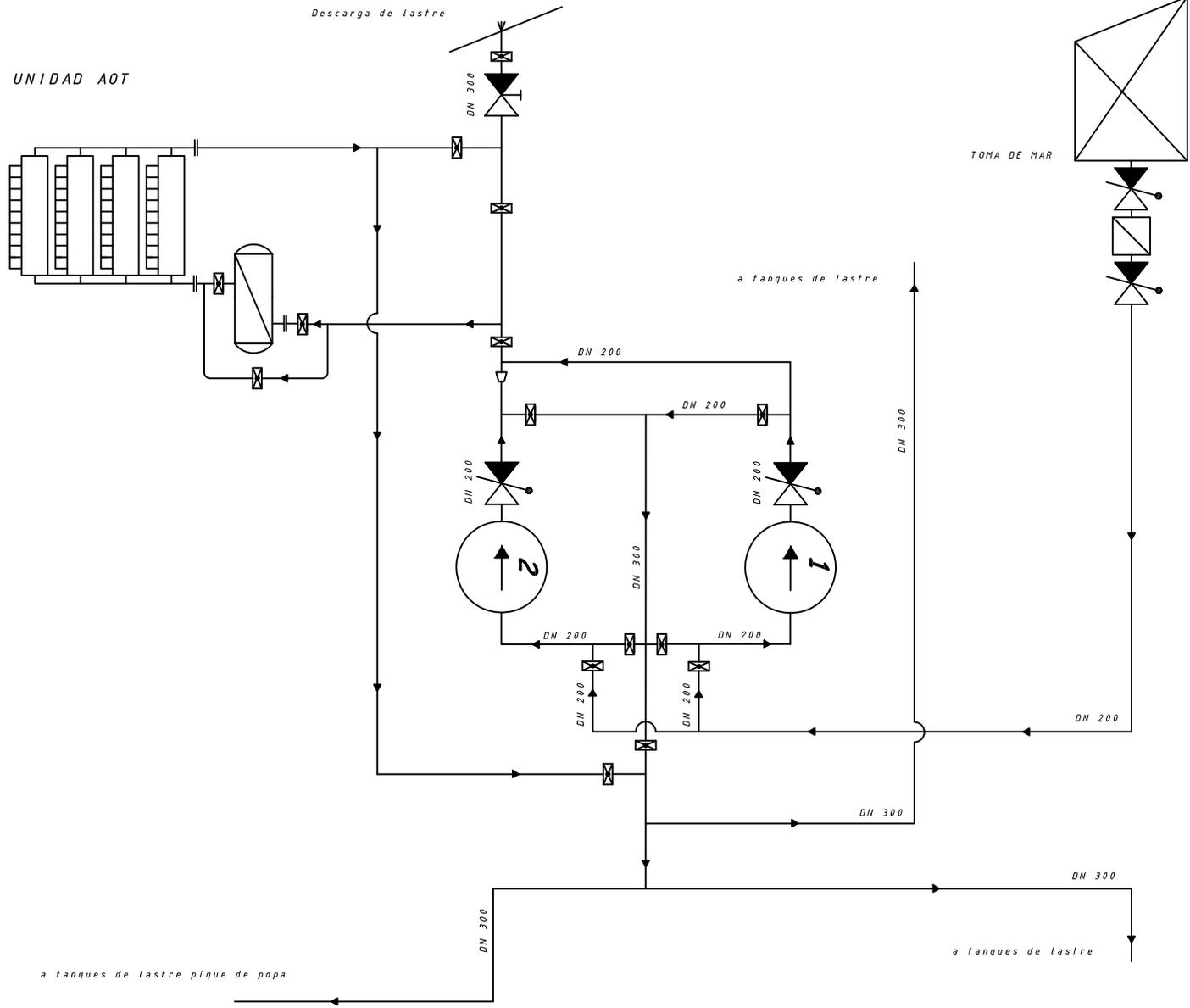
ESQUEMA DE LASTRE EN SALA DE MÁQUINAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE



DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANIPULACIÓN DE ACT. MANUAL	<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANIPULACIÓN DE ACT. AUTOMÁTICA
<input checked="" type="checkbox"/>	VÁLVULA DE MANIPULACIÓN DE ACT. SEMIAUT.	<input checked="" type="checkbox"/>	FILTRO

ESQUEMA DE LASTRE EN SALA DE MÁQUINAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

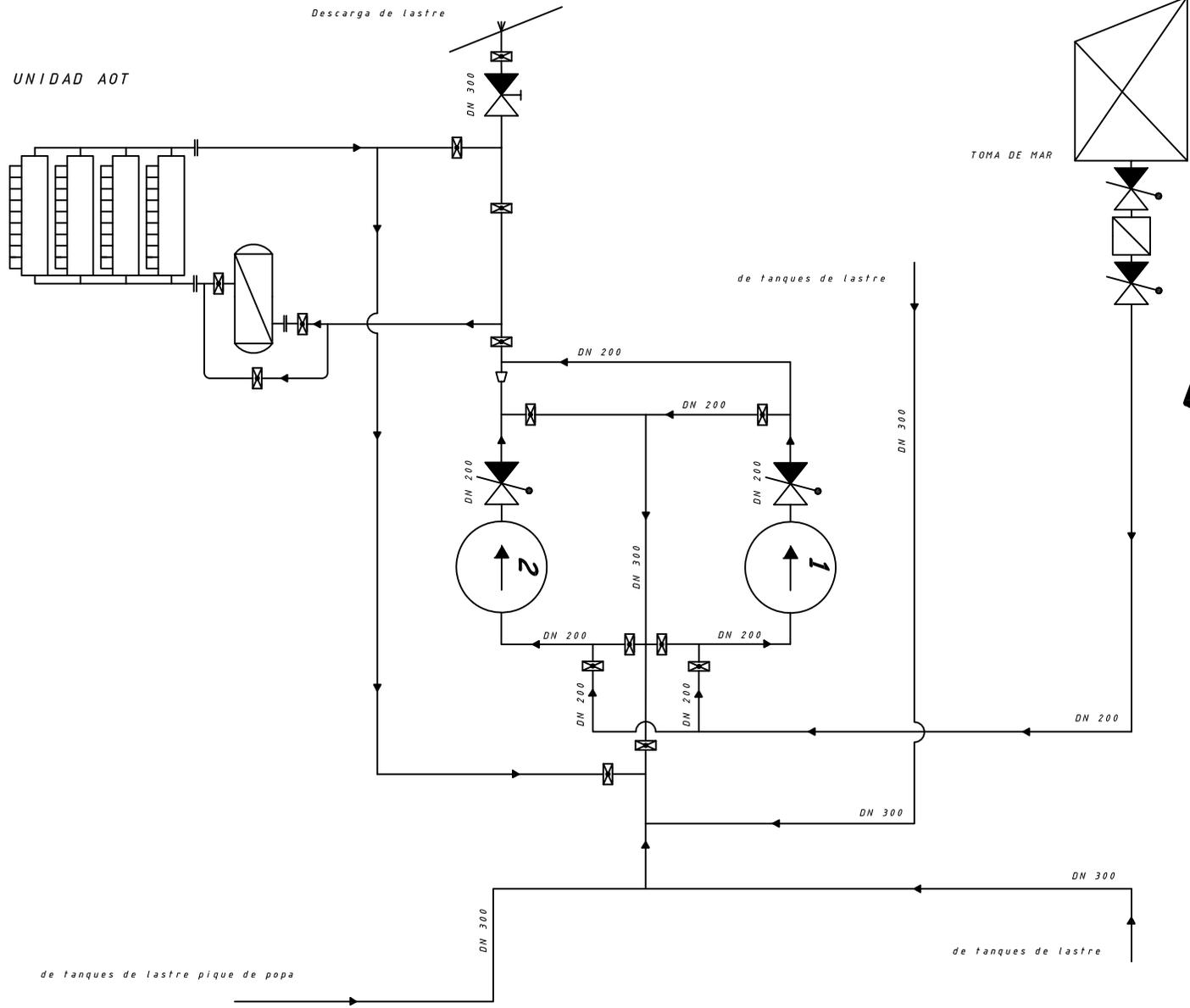


LASTRADO

DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DE MANIPULACION DE ACT. MANUAL	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DE MANIPULACION DE ACT. AUTOMATICA
<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DE MANIPULACION DE ACT. SEMI-AUTOMATICO	<input checked="" type="checkbox"/>	FILTRO

ESQUEMA DE LASTRE EN SALA DE MÁQUINAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE



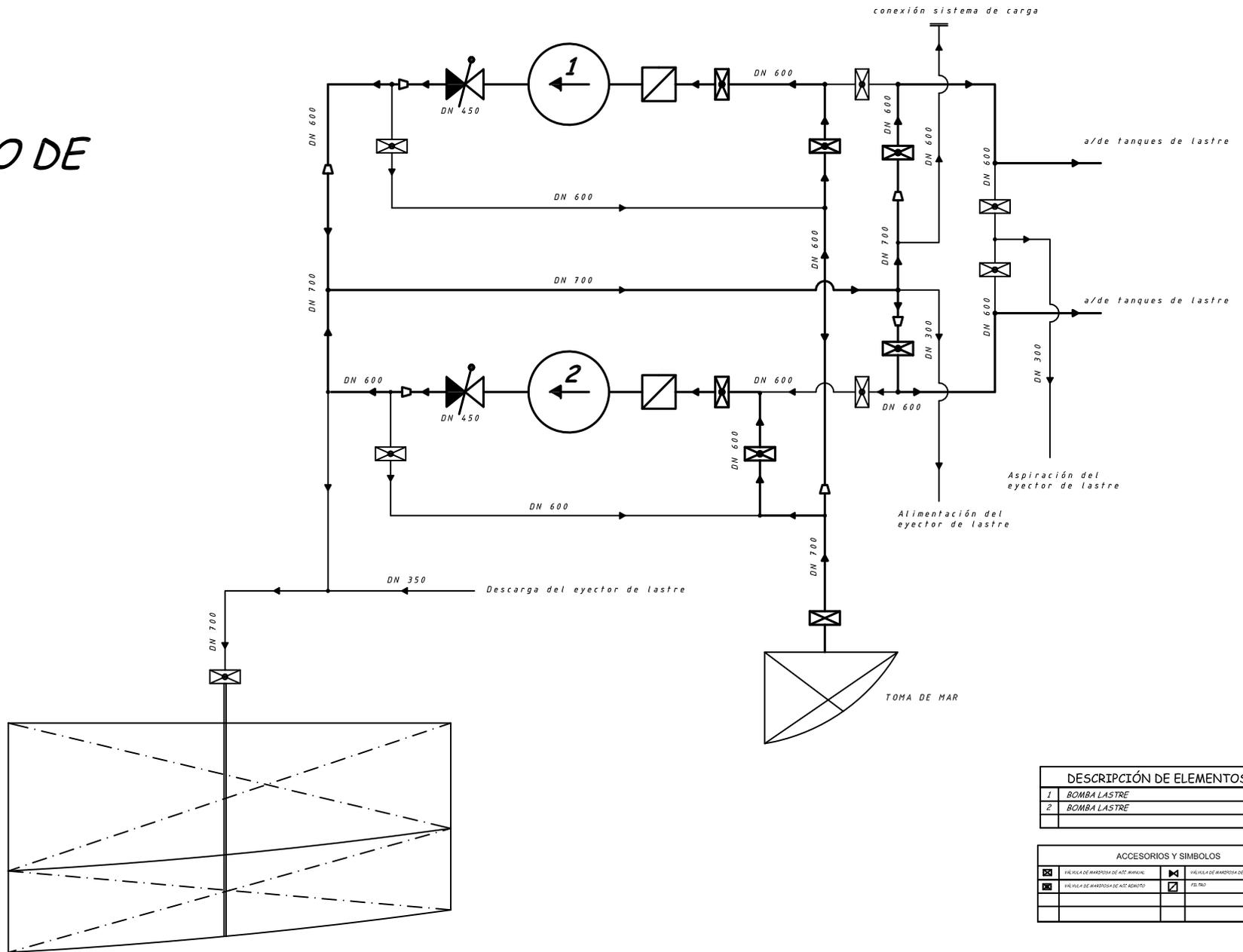
DESLASTRADO

DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	FILTRADO

ESQUEMA DE LASTRE EN SALA DE MÁQUINAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

LASTRADO DE TANQUES

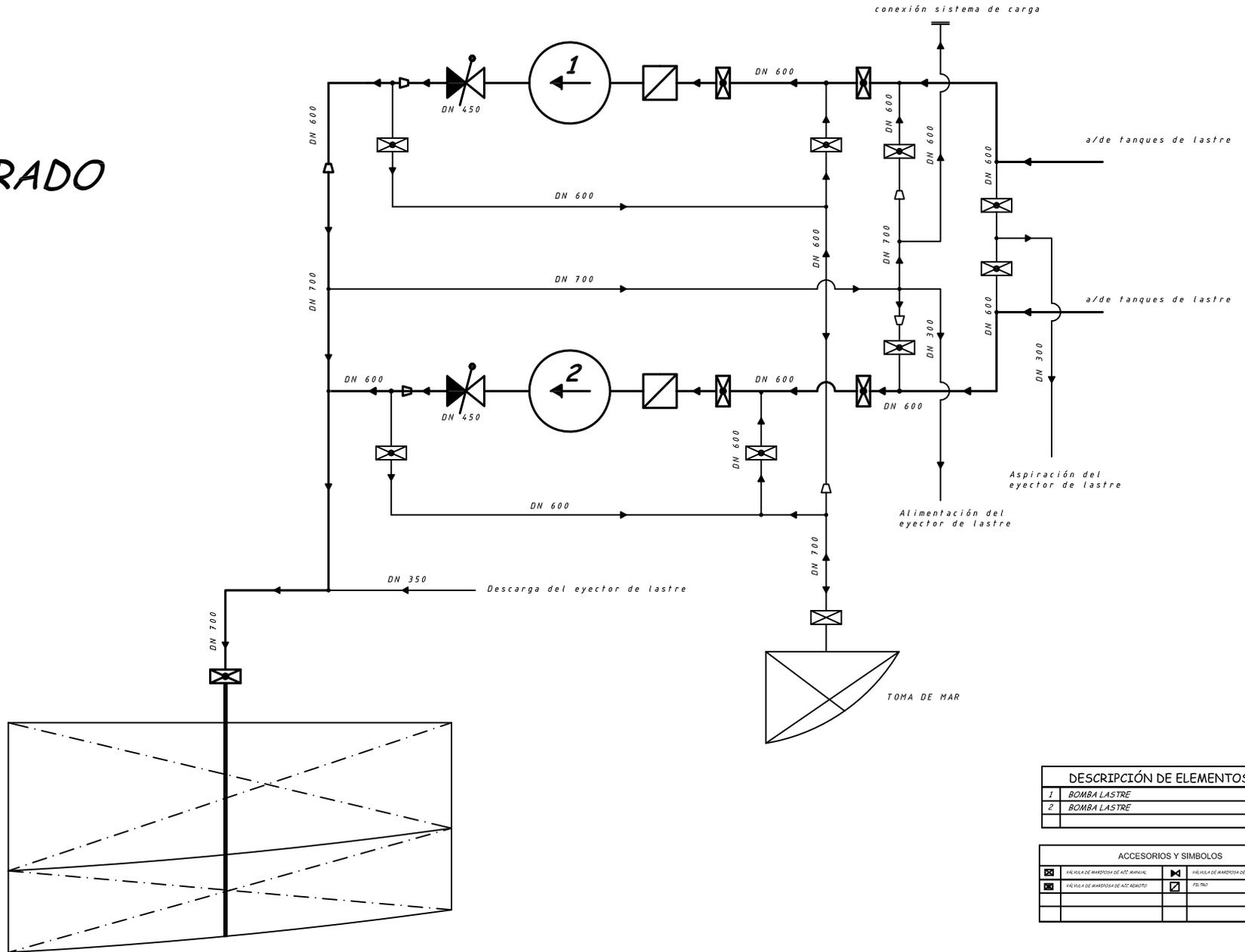


DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de maniobra de act. manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de maniobra de act. manual
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de maniobra de act. remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	Filtro

ESQUEMA DE LASTRE EN CÁMARA DE BOMBAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

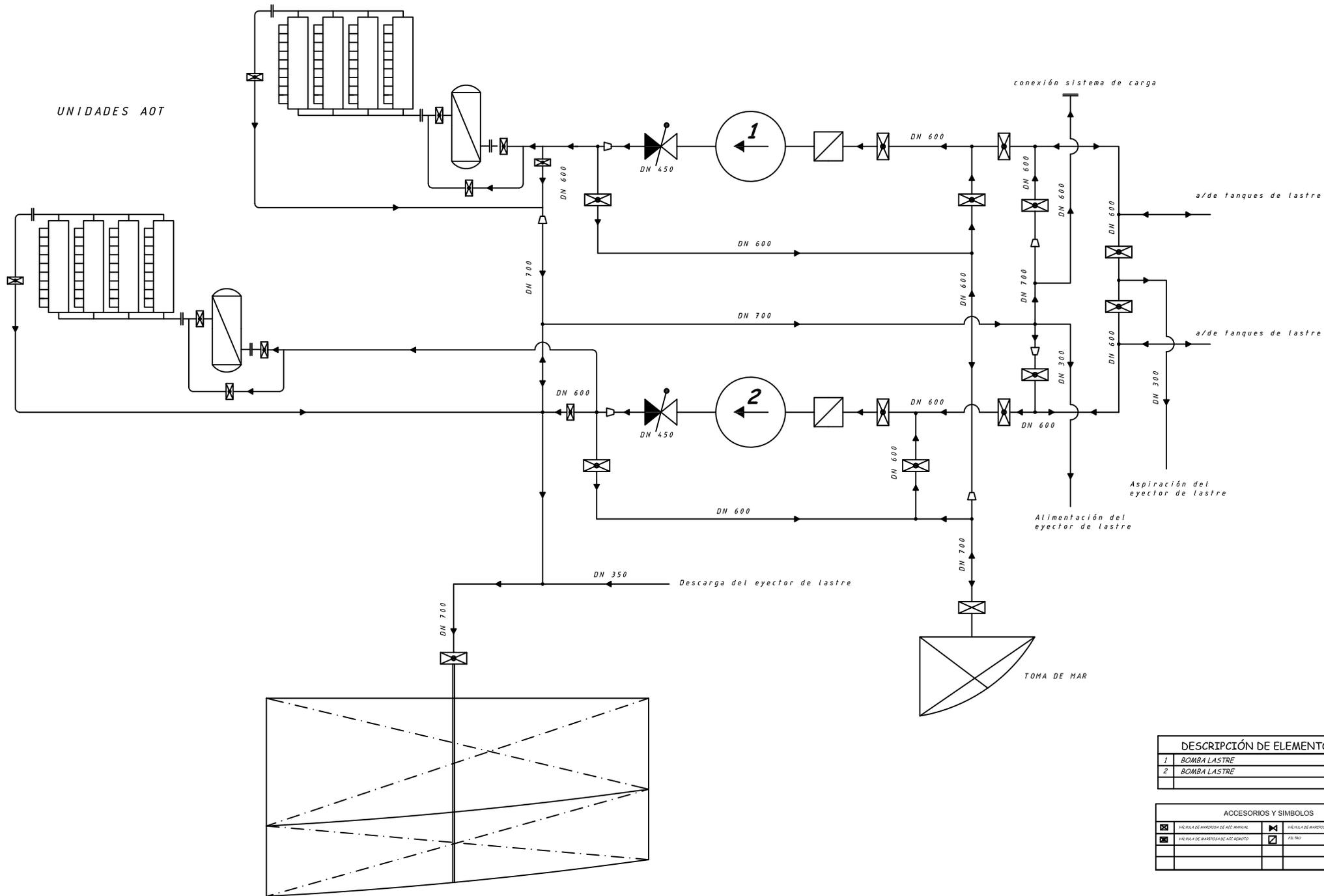
DESLASTRADO



DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de maniobra de act. manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de maniobra de act. remoto
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de maniobra de act. remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	Filtro

ESQUEMA DE LASTRE EN CÁMARA DE BOMBAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

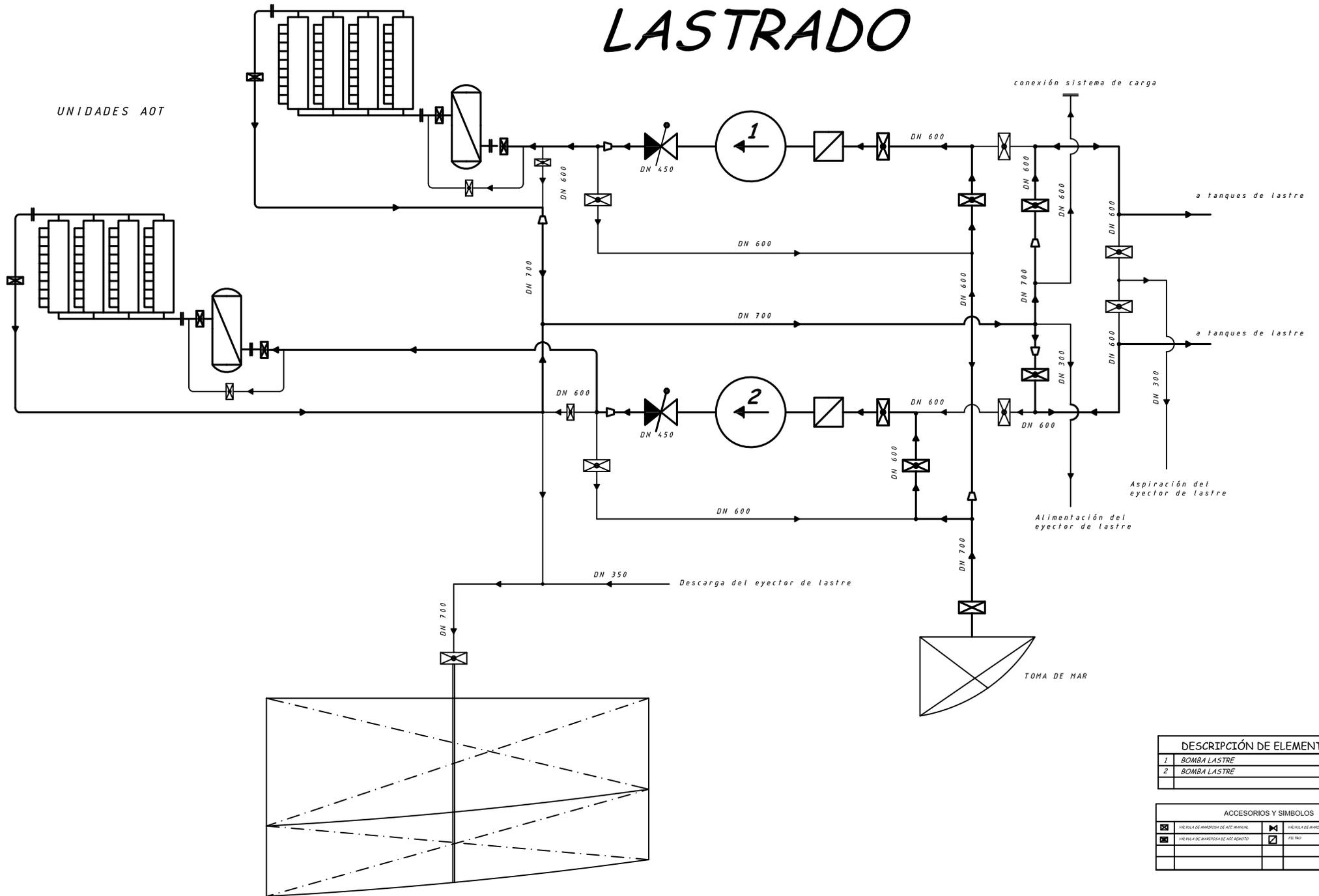


DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	Filtro

ESQUEMA DE LASTRE EN CÁMARA DE BOMBAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

LASTRADO

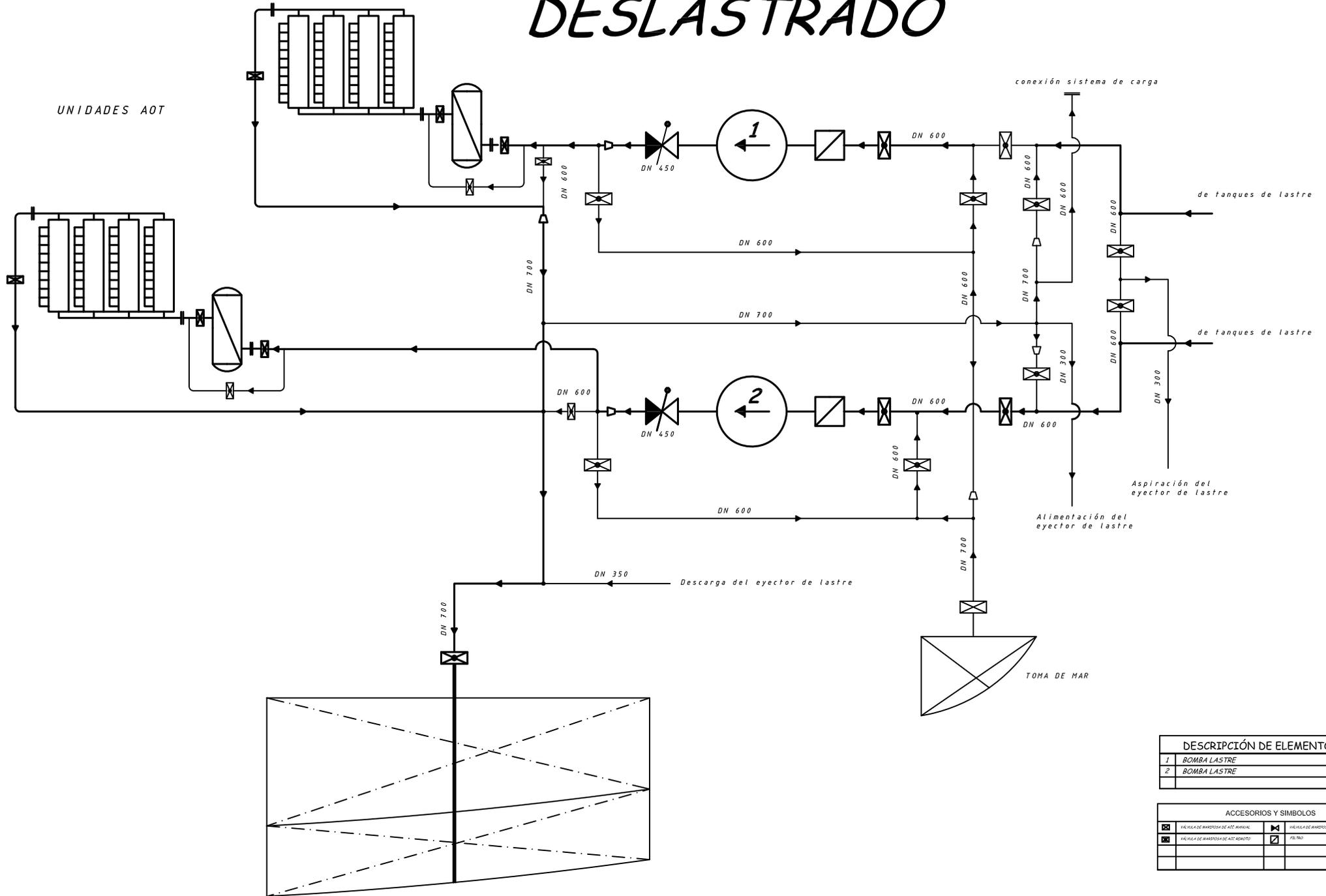


DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	Filtro

ESQUEMA DE LASTRE EN CÁMARA DE BOMBAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE

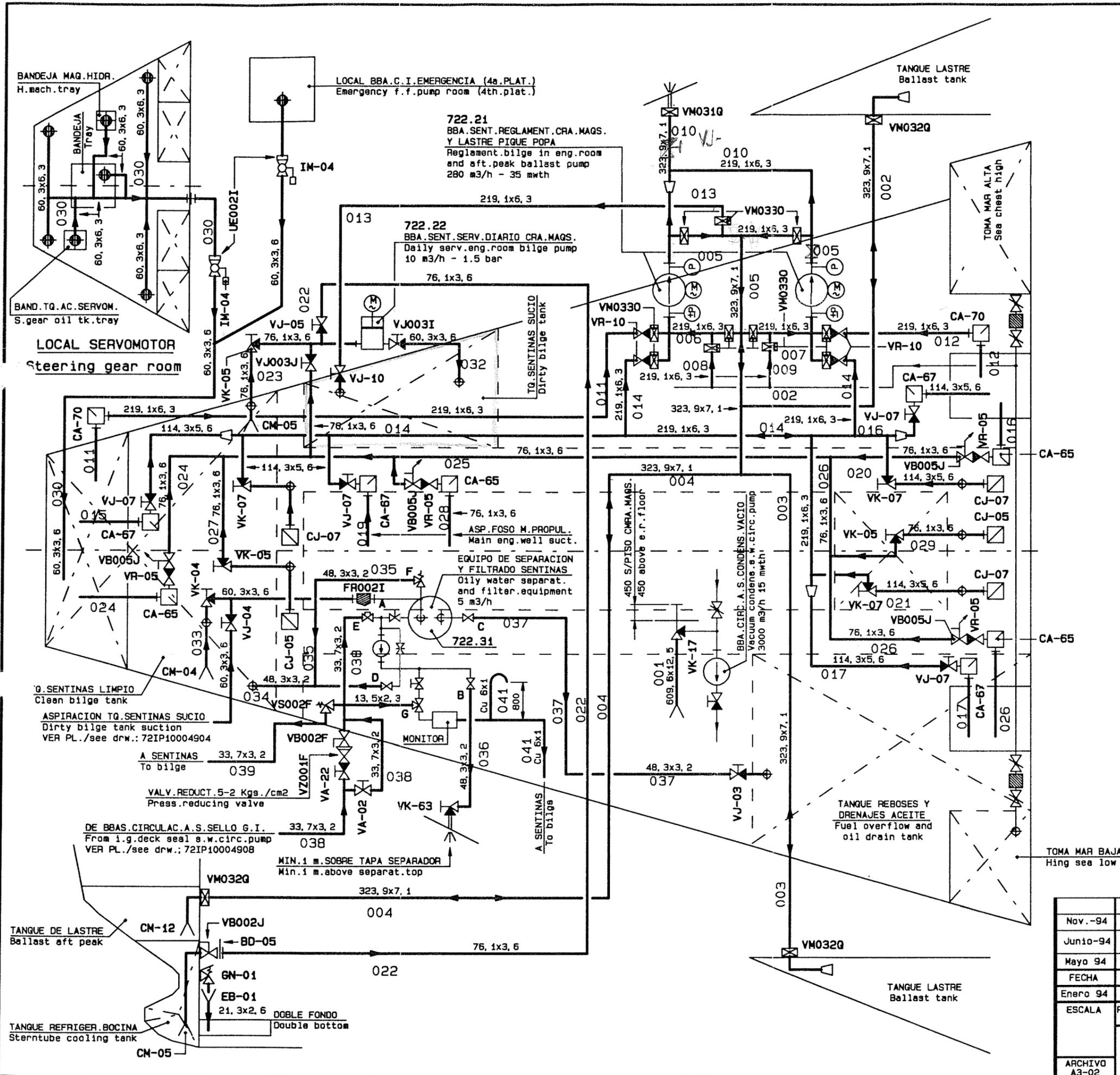
DESLASTRADO



DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	
1	BOMBA LASTRE
2	BOMBA LASTRE

ACCESORIOS Y SIMBOLOS			
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. manual
<input checked="" type="checkbox"/>	Válvula de mariposa de act. remoto	<input checked="" type="checkbox"/>	Filtro

ESQUEMA DE LASTRE EN CÁMARA DE BOMBAS	Nº DE PLANO
	FECHA
	NOMBRE



NOTAS:
 PARA LISTA DE ELEMENTOS VER PLANO: 71166-01-0102.
 PARA LISTA DE PIEZAS VER PLANO: 72.IP.1000.48.00.
 SE UTILIZARAN ACOPLAMIENTOS SOLDADOS, REDUCIENDOSE AL MINIMO EL NUMERO DE ACOPLAMIENTOS DESMONTABLES, QUE SERAN MEDIANTE BRIDAS.
 LA TUBERIA DN.>= 200 SERA DE ACERO SOLDADO ST.37 DIN 1626.
 LA TUBERIA DN.< 200 SERA DE ACERO ESTIRADO ST.37 DIN 1629.
 LA TUBERIA MARCADA: CU SERA DE COBRE ESTIRADO.
 LA TUBERIA DE SENTINAS IRA GALVANIZADA INTERIORMENTE Y EXTERIORMENTE.
 LA TUBERIA DE LASTRE, INTERIORMENTE, INCLUYENDO LA CARA DE BRIDAS, IRA RECUBIERTA DE POLIETILENO. EXTERIORMENTE IRA PINTADA COMO LAS SUPERFICIES CIRCUNDANTES.
 PARA DETALLE DE IMBORNALES, VER PL.: 00IP.1000.45.85.

Notes:
 For element list see dr.: 71166-01-0102.
 For accessories list see dr.: 72.IP.1000.48.00.
 The removable coupling number will be restricted at minimum using welding coupling. The removable coupling will be flanges.
 Piping >= 200 ND.will be welded steel ST.37 DIN 1626.
 Piping < 200 ND.will be seamless steel ST.37 DIN 1629.
 Piping marked: Cu will be copper.
 Bilge piping will be hot-dipped galvanized.
 Ballast piping internal surfaces, including flange faces, will be polyethylene lined and external surfaces will be coated as surrounding surfaces.
 For scuppers detail, see drw.: 00.IP.1000.45.85.

SIZE OF BILGE SUCTIONS (15-27 and 23-23.17).
 Diameter of bilge main and direct bilge suction:
 $d \geq d_1 \sqrt{2}$
 d_1 = diameter of suction in machinery space.
 b) $d_1 = 2.16 \sqrt{L(B+C) + 25}$ mm.
 L = length of the compartment in metres = 28
 B = breadth of ship in metres = 57
 C = depth of ship to bulkhead deck in metres = 31.5
 $d_1 = 2.16 \sqrt{28(57 + 31.5) + 25} = 132.5$ mm.
 $d = 132.5 \sqrt{2} = 187$ mm.

PUMP CAPACITY (15-26.21)
 $g = 0.565 d^2 = 197.57$
 d = internal diameter of bilge main in cm.

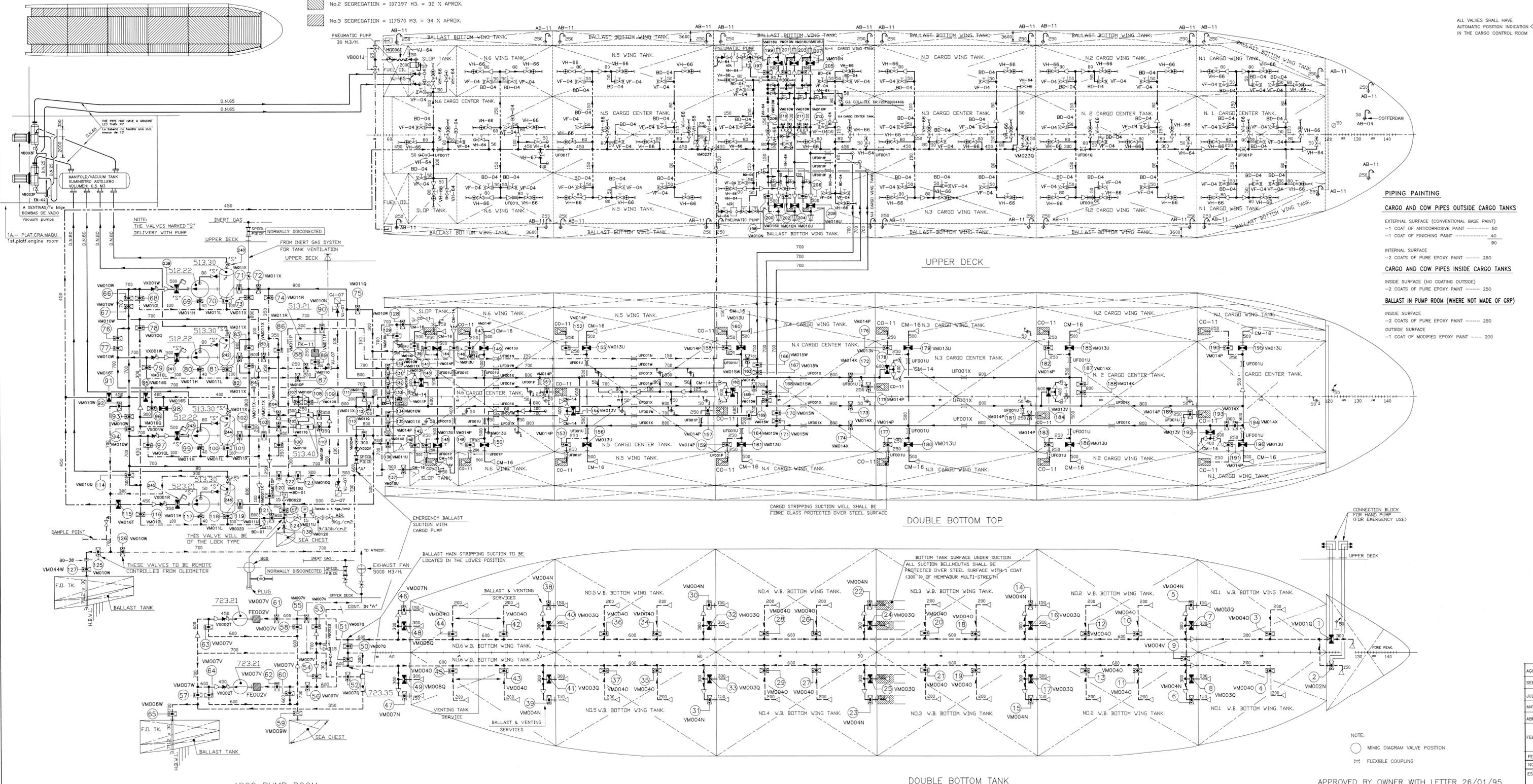
APPROVED BY OWNER WITH LETTER 8-4-94

Nov.-94	C. Sanchez	C. Sanchez	F. Montilla	Incl. imb. y band. en tq. ac. serv. y m. hid.	C
Junio-94	C. Sanchez	C. Sanchez	F. Montilla	Anular camp. asp. tq. lastre Br. y Er.	B
Mayo 94	Ramon G.	C. Sanchez	F. Montilla	Aspiracion separad. tq. sucio sentinas	A
FECHA	DIBUJADO	COMPROBADO	APROBADO	DESCRIPCION	MOD
Enero 94	Ramon G.	C. Sanchez	F. Montilla		
ESCALA	REF. q VALIDEZ			ASTILLEROS ESPANOLAS	Factoria Puerto Real
ESQUEMA DE LASTRE Y SENTINAS EN CAMARA DE MAGUINAS				N. DE PLANO 72.IP.1000.49.02	
Bilge & ballast system un eng. room				SUSTITUYE A SUSTITUIDO POR	
ARCHIVO A3-02					Hojas 1/1

Textos: 2-2.5-3-0

SEGREGATIONS

- No.1 SEGREGATION = 117036 M3. = 34 % APROX.
- No.2 SEGREGATION = 107397 M3. = 32 % APROX.
- No.3 SEGREGATION = 117570 M3. = 34 % APROX.



SYMBOLS

	THROTTLE BUTTERFLY VALVE (HYDRAULIC WITH POSITION INDICATOR)		TANK CLEANING MACHINE (DECK MOUNTED)
	BUTTERFLY VALVE (HYDRAULIC OPERATE WITH ON/OFF INDICATOR)		TANK CLEANING MACHINE (SUBMERGED)
	CAPACITY REGULATING VALVE (SUPPLIED WITH SELF PRIMING SYSTEM)		THREADED PLUG SOUNDING
	BUTTERFLY VALVE HAND OPERATE		SPLECTACLE FLANGE
	SCREW DOWN NON RETURN VALVE		AIR VENT
	NON RETURN VALVE		REDUCTION
	SWING CHECK VALVE		REACH ROD
	STOP VALVE		BELLOWS EXPANSION JOINT
	GATE VALVE		HOSE CONNECTION VALVE
	SAMPLE POINT		CARGO OIL
	BELLMOUTH		CARGO OIL STRIPPING
	SUCTION STRAINER		BALLAST
	FILTER		TANK CLEANING

ALL VALVES SHALL HAVE AUTOMATIC POSITION INDICATION IN THE CARGO CONTROL ROOM

PIPING PAINTING

CARGO AND COW PIPES OUTSIDE CARGO TANKS

- EXTERNAL SURFACE (CONVENTIONAL BASE PAINT)
 - 1 COAT OF ANTICORROSION PAINT ----- 50
 - 1 COAT OF FINISHING PAINT ----- 40
- INTERNAL SURFACE
 - 2 COATS OF PURE EPOXY PAINT ----- 250

CARGO AND COW PIPES INSIDE CARGO TANKS

- INSIDE SURFACE (NO COATING OUTSIDE)
 - 2 COATS OF PURE EPOXY PAINT ----- 250

BALLAST IN PUMP ROOM (WHERE NOT MADE OF GRP)

- INSIDE SURFACE
 - 2 COATS OF PURE EPOXY PAINT ----- 250
- OUTSIDE SURFACE
 - 1 COAT OF MODIFIED EPOXY PAINT ----- 200

THE SEA INLET VALVES, OVERBOARD DISCHARGING VALVES, COLLISION BULKHEAD VALVE, AND TANK CLEANING MACHINE VALVES, SHALL BE CAST STEEL BODY.

N.D.	SERIE	OUT. DIAM.	THICKNESS	CARGO	SERVICE
800	II	812.8	12.5/16	CARGO	
700	II	711.2	12.5	CARGO, BALLAST	
600	II	609.6	12.5	CARGO	
500	III	508	12.5	CARGO, BALLAST	
450	III	457.2	12.5	C. O. W.	
400	III	406.4	11	C. O. W., STRIPPING	
350	III	355.6	10	CARGO, BALLAST, C. O. W.	
300	IV	323.9	10	STRIPPING, C. O. W.	
250	IV	273	10	CARGO, STRIPPING	
200	IV	219.1	8.8	STRIPPING	
150	IV	168.3	7.1	STRIPPING, C. O. W.	
100	IV	114.3	6.3	STRIPPING, C. O. W.	
80	IV	88.9	6.3	STRIPPING, C. O. W.	
65	IV	76.1	5	STRIPPING	
50	V	60.3	6.3	STRIPPING, C. O. W., SOUNDING	
40	V	48.3	5	STRIPPING	

- PIPING N.D. >= 200 WILL BE WELDED STEEL ST. 37 DIN 1626
- PIPING N.D. < 200 WILL BE SEAMLESS STEEL ST. 37 DIN 1629
- BALLAST PIPING IN BALLAST TANKS SHALL BE GLASSFIBRE REINFORCED PLASTIC (GRP, CONDUCTIVE)
- THE DESIGN VELOCITY IN THE CARGO AND BALLAST PIPELINES SHALL NOT EXCEED THE FOLLOWING LIMITS:
 - SUCTION LINES ----- 3.5 m/s.
 - DISCHARGE LINES ----- 4.5 m/s.
- FOR BELLMOUTH MOUNTING DETAIL, SEE DR.: NAE 09.46320

CARGO REDUCERS

NUMBER OF REDUCER	PRESENTATION OF FLANGE	REDUCER NOMINAL BORE	SERVICE	IN TANKS	PUMP ROOM	UPPER DECK
3	500/300	3	CARGO	FLANGE/FLEX.COUP.	FLANGE	FLANGE
3	500/400	3	BALLAST	SPIROOT JOINT	FLEXIBLE COUPLING OR FLANGE	-----
3	500/400	3	STRIPPING	FLANGE/FLEX.COUP.	FLANGE	FLANGE
3	500/400	3	TANK CLEANING	-----	FLANGE	FLANGE

CONCEPT	DESIGNATION	QUANTITY	CHARACTERISTICS
512.22	CARGO OIL TURBO PUMP	3	5000 m3/h at 150 m.l.c.
513.30	CARGO OIL STRIPPING AND BILGE PUMP	1	400 m3/h at 15 bar
513.30	SELF STRIP SYSTEM	4	-----
513.40	CARGO OIL STRIPPING EDUCTOR	2	700 m3/h at 30 m.w.t.h.
523.21	CARGO TK. CLEANING TURBO-PUMP	1	3000 m3/h at 150 m.l.c.
723.21	WATER BALLAST PUMP	2	3000 m3/h at 40 m.w.t.h.
723.35	BALLAST STRIPPING EDUCTOR	1	400 m3/h at 30 m.w.t.h.

FECHA	DIBUJADO	COMPROBADO	APROBADO	DESCRIPCION	MOD.
AGOSTO-95	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	SE INCLUYE MAQUINILLAS DE LIMPIEZA EN TQUES. CENTRALES DE CARGA N-5 Y N-6	F
SEPT-94	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	SE INCLUYE BOMBAS NEUM.DREN.COLY. BAND.MAN. SE SUSTITUYEN URJAS T.LIM.POR ACOPL.FLEX.	E
JULIO-94	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	SE INCLUYE RESPIRO EN COFFERDAM PIQUE PR. SE INCLUYE MARCA MOORE EN BBAHEMATICA	D
MAYO-94	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	SE ANULAN VALVULAS EN TQUE.CARGA N-3 BR. MAQ.LIMP.DE T.CAR.CEN.N-3 A T.CAR.LAT.N-3 BR.	C
ABRIL-94	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	SE INCLUYE VALVULA ASPIRACION BBAHEMATICA. SE ACTUALIZA.	B
FEBRERO-94	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	DETALLE BBAS. Y TQUE. DE VACIO EN CASETA CAMARA DE BOMBAS. SE INCLUYEN MAQUINILLAS DE LIMPIEZA EN TQUES CARGA N-3 Y N-6. COMENTARIOS B.V. SE SUSTITUYEN POR FLEXIBLES EN TQUES CARGA	A

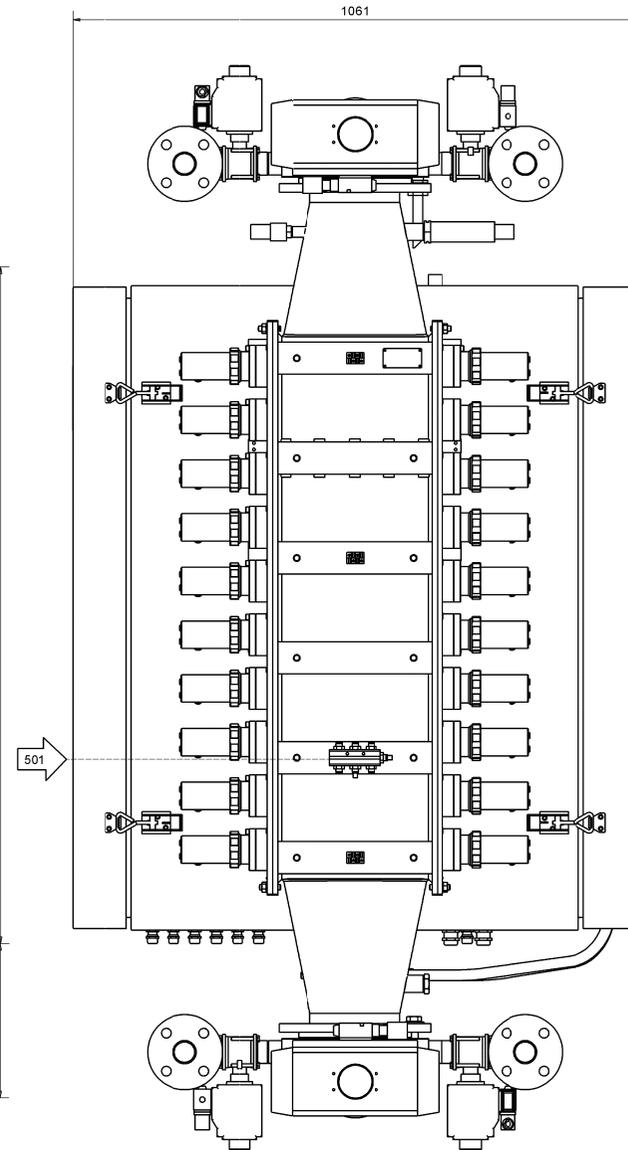
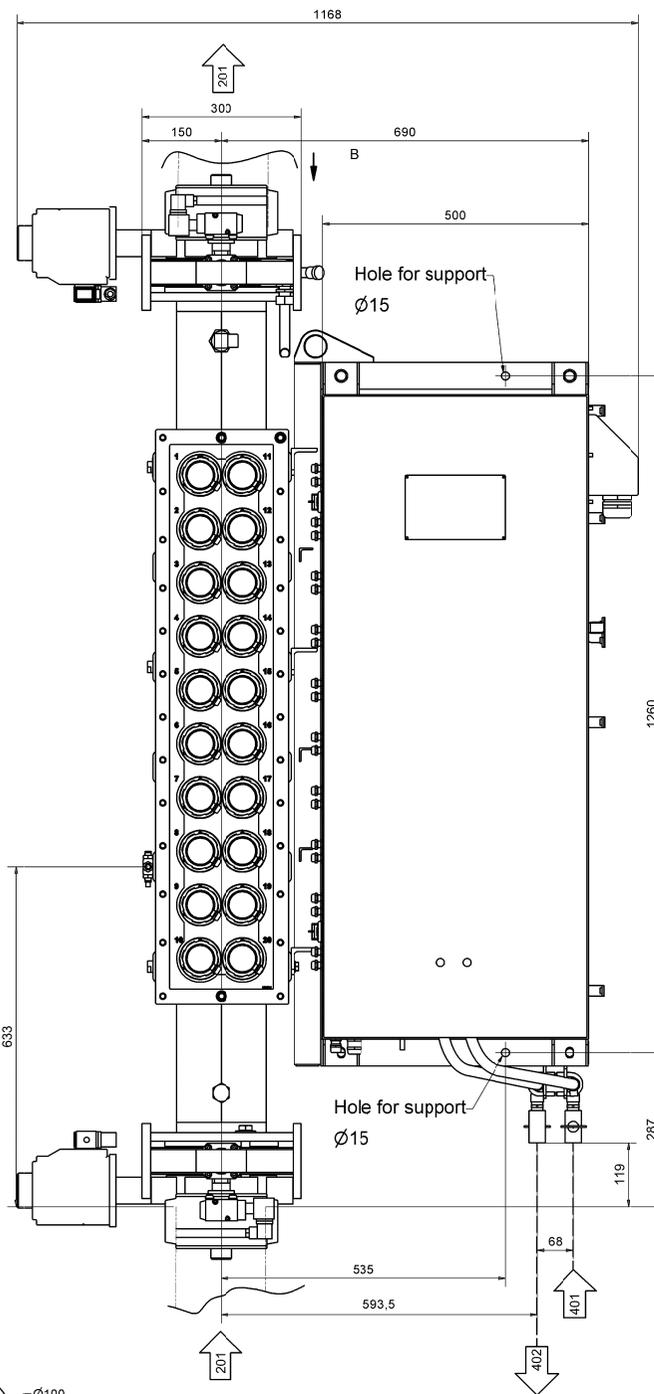
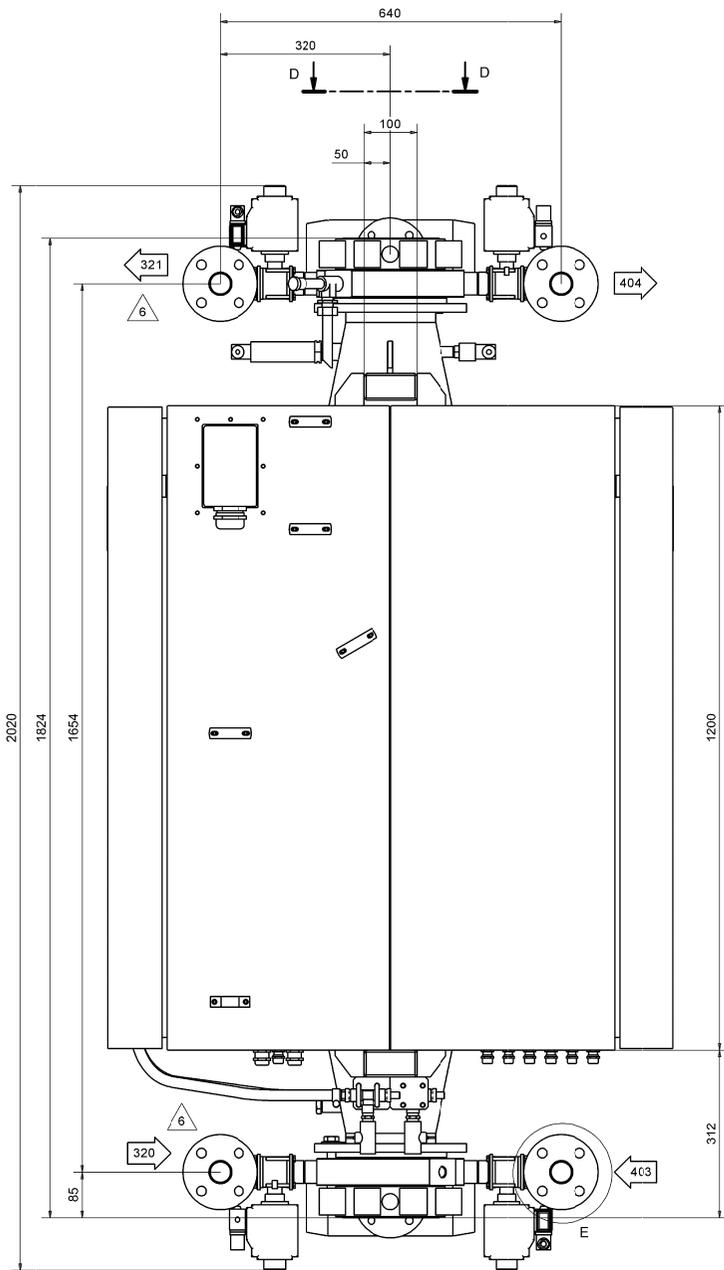
FECHA	DIBUJADO	COMPROBADO	APROBADO	DESCRIPCION	MOD.
NOV-93	C. SANCHEZ	F. MORALES	F. MORALES	-----	MOD.
ESCALA	REF. VALVEZ	C/72-MV BOURGOGNE	ASTILLEROS ESPAÑOL	Factoria Puerto Real	

APPROVED BY OWNER WITH LETTER 26/01/95
15/11/95
APPROVED BY B.V. WITH LETTER 18/05/94

CARGO PUMP ROOM

DOUBLE BOTTOM TANK

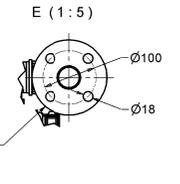
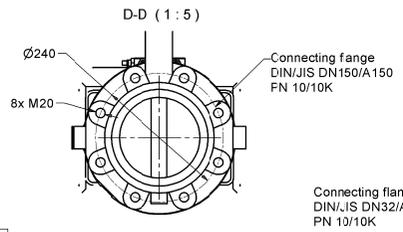
- MIMIC DIAGRAM VALVE POSITION
- FLEXIBLE COUPLING



This document is the property of Alfa Laval AB and may not be copied, reproduced, transmitted, disseminated, sold, rented, loaned, retransmitted, or otherwise used in any form or by any means without the prior written approval of Alfa Laval AB.

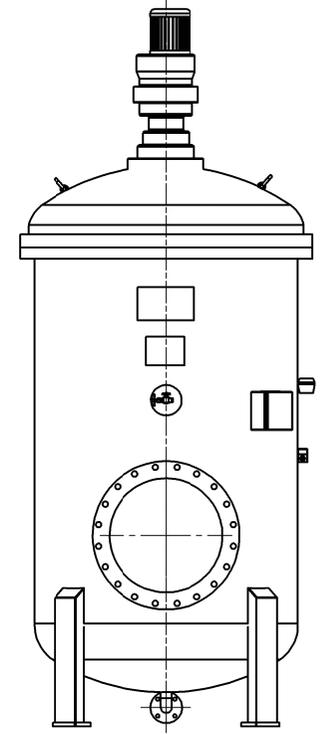
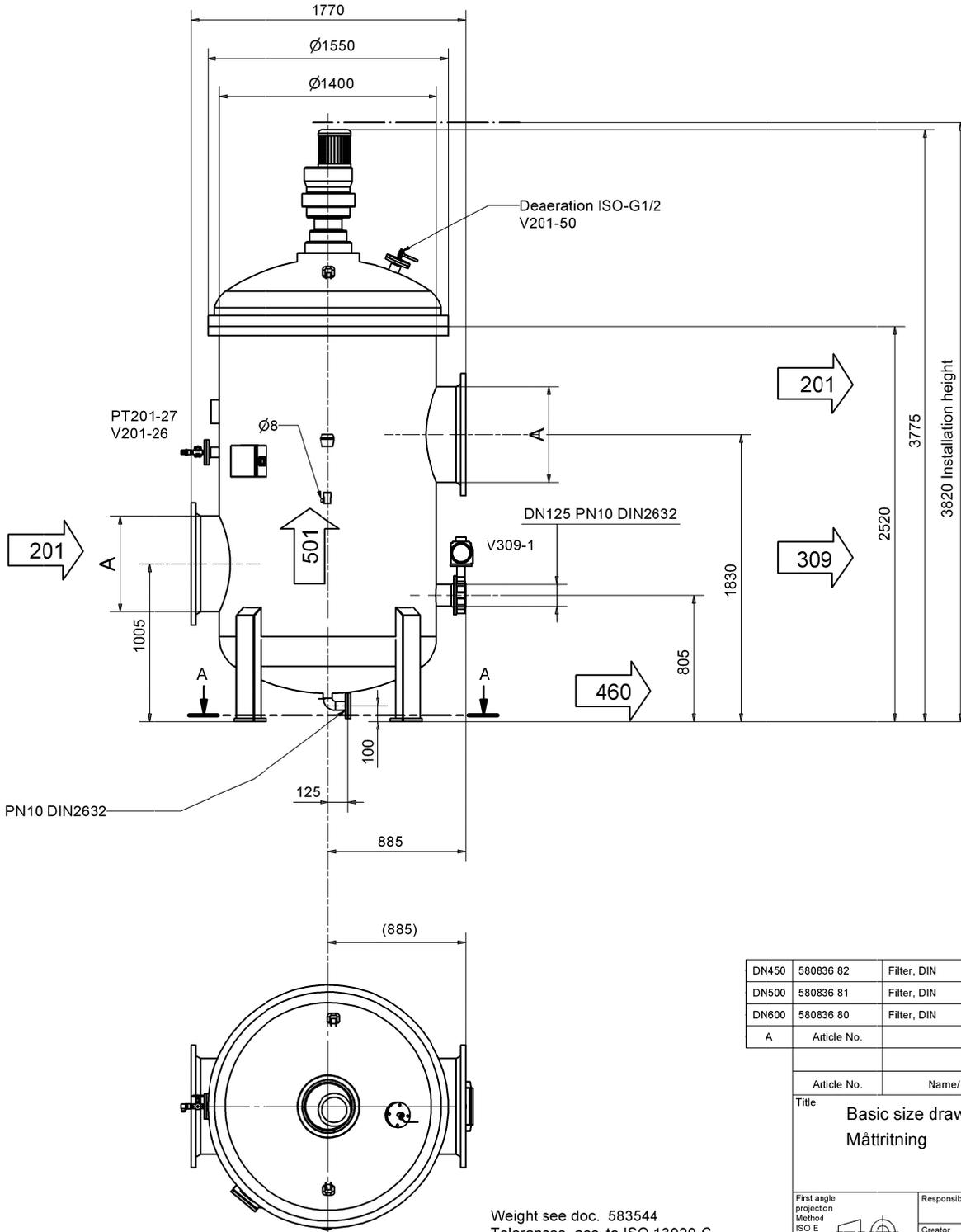
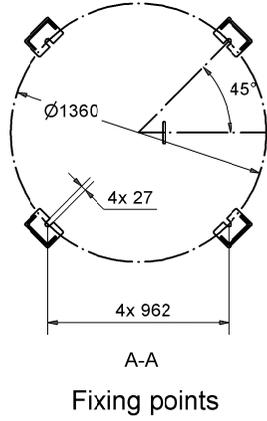
This document is the property of Alfa Laval AB and may not be copied, reproduced, transmitted, disseminated, sold, rented, loaned, retransmitted, or otherwise used in any form or by any means without the prior written approval of Alfa Laval AB.

Revision No.	Date	Revised	Approved
6	23/07-10-05	pst	JNMA



Access area, see view "B", sheet 2
Weight approx. 635 kg

Article No.	Name/ Designation	Material/Blank	Note
Title Basic size drawing Måttitrning			
First angle projection Method ISO E	Responsible Department EM Creator JNMA	Date 2006-10-16 Approved DAY	Sheet No. 1 No. of sheets 2 Revision No. 6 Document No. 581527



This document may constitute a confidential information of Alfa Laval AB only and its disclosure or use for any other purpose without written permission is prohibited.

Revision No.	Date	Revised	Approved
0		pst	

Weight see doc. 583544
Tolerances acc. to ISO 13920-C

DN450	580836 82	Filter, DIN	DN10 DIN2632
DN500	580836 81	Filter, DIN	DN10 DIN2632
DN600	580836 80	Filter, DIN	DN10 DIN2632
A	Article No.		

Article No.	Name/Designation	Material/Blank	Note
Title			
Basic size drawing Mått ritning			
First angle projection Method ISO E	Responsible Department	Date	Sheet No. 1 No. of sheets 1 Revision No. 0
	Creator	Approved	Document No. 581526

