

DISEÑO DE BUQUE TANQUE PARA LIMPIEZA DE FONDOS MARINOS

Juan de Dios Rodríguez

Primitivo B. González

José Manuel Rebollido

Emilio Lage

Manuel Vicente Fernández

Antonio Salamanca

Carlos Gervasio Rodríguez

Grupo Investigación Innovacións Mariñas (Universidade A Coruña)

Abstract

The seabed of Galician estuaries is contaminated with sludge from human activity: industrial, aquaculture, etc. so that the height of the sludge layer under mussel polygons grows an average of 10 cm per year.

The low particle size and low compactness of this material makes difficult the recovery, so that all extractive procedures so far tested were incompatible with the simultaneous pursuit of aquaculture activities

The research group Marine Innovacións (Universidade of A Coruña) has worked about several options and, as a result of its studies, has proposed an extraction process and sludge treatment, innovative and very advantageous with respect to alternatives raised to date.

Research work being carried out have been commissioned by the shipyard NODOSA, who leads the research project TANK VESSEL DESIGN FOR CLEANING SEABED ref: PGIDIT07MMA028E Sectorial Technology Program: Marine Environment. Call 2007 Xunta de Galicia.

Keywords: *trailing suction hopper dredge; sludge treatment; seabed cleaning*

Resumen

El fondo de las rías gallegas está contaminado con fangos provenientes de la actividad del hombre: industrial, acuícola, etc. de tal manera que la potencia de los lodos existentes bajo los polígonos de bateas crece una media de 10 cm al año.

La baja granulometría y escasa compacidad de este material dificulta la recuperación del mismo, de tal manera que todos los procedimientos extractivos hasta ahora probados resultaban incompatibles con el ejercicio simultáneo de la actividad acuícola.

El grupo de investigación Innovacións Mariñas de la UDC ha trabajado sobre diversas opciones y, fruto de este estudio realizado, realiza una propuesta de proceso de extracción y tratamiento de los lodos muy ventajosa con respecto a las alternativas planteadas hasta la fecha.

Los trabajos de investigación que se están realizando han sido encargados por el astillero NODOSA, quien lidera el proyecto de investigación DISEÑO DE BUQUE TANQUE PARA LIMPIEZA DE FONDOS MARINOS ref: PGIDIT07MMA028E del Programa de Tecnologías Sectoriales: Medio Marino. Convocatoria 2007 Xunta de Galicia

Palabras clave: draga de cántara y succión por arrastre; procesado de lodos; limpieza de fondos marinos

1. Introducción

La producción media de mejillón en la Comunidad de Galicia se ha mantenido en los últimos años en valores que oscilan entre las 200.000 y las 250.000 toneladas anuales.

Para valorar lo que representa la actividad del cultivo del mejillón en el contexto de la economía de Galicia se puede partir de las cifras del sector mejillonero como producción primaria: más de 8.000 empleos directos, más de 1.000 embarcaciones auxiliares de acuicultura y unas 3.300 bateas instaladas en la rías gallegas, que generan anualmente un valor en primera venta en torno a 114 millones de euros.

Pero la industria mejillonera no queda sólo en la actividad productiva, existen otros sectores estrechamente vinculados:

1. Empresas proveedoras, que facturan anualmente 8 millones de euros y que proporcionan empleo a unas 530 personas.
2. Plantas depuradoras, con una facturación anual de 87 millones de euros y que generan empleo para unas 400 personas.
3. Cocederos de mejillón, con una facturación de 48 millones de euros y que generan unos 500 puestos de trabajo.
4. Empresas conserveras que, en lo que respecta al mejillón, registran una facturación de 66 millones de euros y dan empleo a unas 900 personas.

En general, la facturación global del cluster del mejillón significa el 30% del total de las actividades en las zonas costeras anexas a los polígonos de bateas, así como cerca del 18% del total del empleo en los municipios referidos. El total de la facturación del cluster de actividades alcanza los 340 millones de euros y la cifra de empleos directos sería de unas 10.500 personas.

Pero por otro lado, es necesario ser consciente del impacto ambiental que genera la actividad de cultivo del mejillón:

Como resultado de la elevada capacidad de filtración de los mejillones se produce bajo los polígonos una gran acumulación de biodepósitos excretados por el mejillón, que progresivamente modifican las condiciones de los fondos, volviéndolos anóxicos ($E_h < -100$ mvol.) y originando cambios en la estructura de la cadena trófica de la ría.

Cálculos realizados por Cabanas et al. (1979) ponen de manifiesto la importancia de esta sedimentación, que estiman en unos 190 kg/día/batea de biodepósito seco, con un 16,6 % de materia orgánica. La relación C/N es próxima a 8. Con estos datos la **producción anual es de 69,3 t de sedimentos/batea**, con una aportación de 5.219 kg C/año/batea y 620,5 kg N/año/batea. Teniendo en cuenta el elevado número de bateas existentes y que el cultivo del mejillón en algunas rías supera ya los 40 años, la cifra de biosedimentos producidos a través de esta actividad resulta extraordinariamente alta (superior a 10^6 t sólo en la ría de Arousa) produciendo una importante elevación del fondo de ría bajo las bateas, a un ritmo que se estima entre 0,5 y 2 cm/año.

Cabe destacar asimismo los residuos que corresponden al desprendimiento de mejillones de las cuerdas de las bateas, así como restos de cabos, redes, algas, etc. que son consecuencia de dicha actividad productiva.

Atendiendo a lo dispuesto en la Ley 6/1993 de Pesca de Galicia Art. 65: "*limpiar, cada diez años, los fangos y otros residuos del cultivo acumulados bajo los viveros*".

En figura 1 es posible observar los cúmulos de cascajo situados bajo las bateas de un polígono.

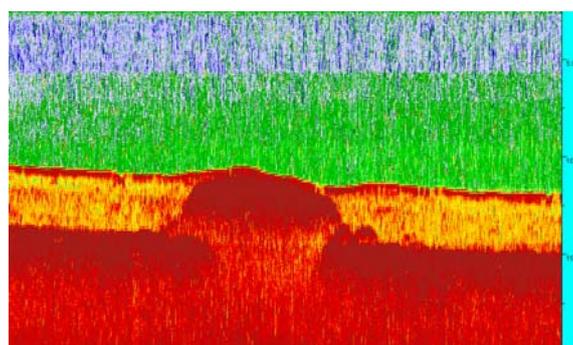
Anteriormente el proyecto de investigación GESTINMER, promovido por la Consellería de Pesca de la Xunta de Galicia, participado por la organización de Productores OPMEGA y el C.R.D.O. Mexillón de Galicia había intentado aportar una solución al problema de estos residuos generados. De los trabajos realizados en el seno de dicho proyecto ha sido aprovechada información de gran utilidad.

Figura 1: Detalle de batimetría bajo el Polígono Cangas C (Proyecto GESTINMER)



En la Figura 2 se observa la dimensión del cúmulo de cascajo bajo una batea. Se aprecia también el espesor de la capa de lodo (aprox. 2,5m) sobre lo que, se supone, es la base original del fondo marino.

Figura 2: Detalle del perfil sísmico de un montículo de cascajo (Proyecto GESTINMER)



2. Objetivos

El objeto de partida del proyecto de investigación que nos ocupa era el diseño conceptual de una unidad flotante denominada Buque Tanque para Limpieza de Fondos de puertos rías y estuarios (BTLF) cuya actividad principal sería la recogida de residuos y algas de los fondos marinos así como su procesado y espesado para una revalorización posterior de los mismos.

El BTLF estaría constituido por un sistema flotante autónomo e integrado para aspiración, recogida, separación, trituración, almacenamiento y transporte de los residuos, junto con los correspondientes sistemas para la propulsión y posicionamiento del artefacto en el lugar de trabajo. El sistema constaría de depósitos y tanques de almacenaje de los residuos, tubos o conductos de aspiración y trasvase, canales de desagüe, válvulas reguladoras, rejillas, bombas de aspiración, bombas de trasiego, módulos de trituración y filtrado así como accesorios auxiliares diversos.

El diseño de buque que se elaborase debía tomar como punto de partida la patente 200201459 del inventor D. Vicente Rebolledo Oliveira.

3. Metodología y/o Caso de estudio

Para acometer el diseño del BTLF adecuado se acudió a la literatura existente sobre procesos de dragado y buques de dragado. Asimismo, se estableció contacto con la firma IHC, líder mundial en diseño y construcción de equipos de dragado.

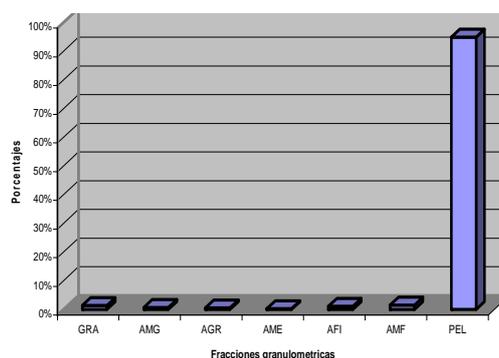
En primer lugar debía conocerse con exactitud la magnitud y el tipo de tarea que se encomendaría al BTLF, por tanto fue necesario estudiar la composición del material que se iba a retirar del fondo marino.

3.1. Caracterización de los lodos

Fueron tomadas muestras bajo bateas en tres puntos de la ría de Arousa. Fue necesaria la intervención de buzos que hiciesen catas en el lodo por medio del hincado de unos cilindros huecos (con ayuda de un mazo) con el objeto de extraer las muestras.

Las muestras fueron analizadas en la Estación de Biología Marina de A Graña – Ferrol (Universidad de Santiago). El valor medio obtenido del contenido de materia orgánica en las muestras estuvo en torno al 15% y de los posteriores análisis granulométricos efectuados se obtuvo el dato de que aproximadamente el 94% de la materia que se había de extraer tenía un tamaño inferior a 63 micras (pelitas). Resultado que coincidía con los análisis granulométricos efectuados a las muestras extraídas en el desarrollo del proyecto Gestinmer.

Figura 3: Granulometría de la muestra bajo la bateas de Cabo de Cruz



Con respecto al contenido en sustancias contaminantes de los lodos objeto de extracción, a su caracterización y gestión de los mismos, es necesario tomar como referencia el documento marco Recomendaciones para la Gestión del Material Dragado en los Puertos Españoles publicado por Puertos del Estado. Las RGMD establecen criterios de categorización de los materiales dragados en función de sus concentraciones de contaminante y las restricciones de cada categoría respecto a su vertido al mar

Tabla 1: Resumen esquemático del contenido del documento RGMD

	<	NA1	<	NA2	<	8 NA2	>
Hg	Categoría I Pueden verterse al mar considerando sólo los efectos mecánicos	0,6	Categoría II Se podrán verter al mar de forma controlada	3,0	Categoría III a Confinamiento subacuático o vertido en recinto en zonas intermareales	24,0	Categoría III b Vertido en recintos con paredes impermeables, evitando la fuga de lixiviados
Cd		1,0		5,0		40,0	
Pb		120,0		600,0		4.800,0	
Cu		100,0		400,0		3.200,0	
Zn		500,0		3.000,0		24.000,0	
Cr		200,0		1.000,0		8.000,0	
As		80,0		200,0		1.600,0	
Ni		100,0		400,0		3.200,0	
Pesticidas		0,03		0,1		0,8	
PAHs Borneff		1,0		3,0		24,0	
Σ16 PAHs		2		6,0		48,0	
Σ 7 PCBs		0,03		0,1		0,8	

Tomando como referencia los datos analíticos obtenidos de los muestreos efectuados en el proyecto GESTINMER: en ningún caso se excedieron los límites de concentración máximo de sustancias contaminantes fijadas en el Nivel de Acción 1. Por tanto sería factible el vertido libre de los lodos extraídos de los polígonos de bateas sin tener en cuenta otros efectos secundarios que los puramente mecánicos.

3.2. Dimensión del problema

A partir de las cifras anteriormente barajadas, se estima que la tarea de limpieza de fondos debe acometer un volumen total de sólidos equivalente a la producción decenal (10 años) de sedimentos de las bateas del polígono, esto es: **106.029 Tm**.

Estimando una composición del lodo existente en el fondo marino según datos:

Tabla 2: Resumen cálculo del volumen de trabajo decenal

Residuo sólido	
Densidad materia orgánica = 0,9 Tm/m ³ Densidad árido = 2,4 Tm/m ³ % materia orgánica = 16,6	Densidad resultante: 2,15 Tm/m³
Lodo a aspirar	
Densidad residuo sólido = 2,15 Tm/m ³ Densidad agua mar = 1,026 Tm/m ³ % residuo sólido (peso) = 15	Densidad resultante: 1,11 Tm/m³

Por tanto, para evacuar 106.029 Tm de residuo sólido del fondo del polígono sería necesario aspirar y procesar **636.810 m³ de lodo**.

Tabla 3: Resumen censo de bateas

Provincia	Distrito marítimo	Nº polígonos	Nº Bateas	Km ²
Pontevedra	Baiona	1	14	0,14
	Bueu	2	132	1,32
	Cambados	5	651	6,51
	Cangas	8	454	4,54
	O Grove	9	645	6,45
	Portonovo	4	123	1,23
	Redondela	5	158	1,58
	Vigo	1	40	0,40
	Vilagarcía	2	468	4,68
A Coruña	Camariñas	2	4	0,04
	Caramiñal	8	662	6,62
	Cariño	1	0	0
	Cedeira	1	0	0
	Corcubión	2	0	0
	Corme	2	12	0,12
	Ferrol	4	22	0,22
	Muros	3	107	1,07
	Noia	1	1	1,00
	Ribeira	2	64	0,64
	Sada	2	138	1,38
	Sismundi	1	2	0,02
	Viveiro	3	6	0,06
Lugo	Viveiro	2	0	0
Total		71	3.703	38,02

3.3. Sistema de tratamiento de los lodos

Con el objeto de diseñar el proceso de espesado de los lodos se estableció contacto con dos fabricantes de equipos de tratamiento de minerales y arenas: ERAL Equipos y Procesos, S.A y WESTFALIA.

El ingente volumen de lodo que sería necesario tratar hace imperativo la inclusión de un tanque de decantación como parte principal de la planta de procesado. El funcionamiento óptimo del floculante en el tanque de decantación exige la absoluta inmovilización del mismo. Por tanto se llega a la conclusión de que es necesario sacar la planta de espesamiento fuera del BTLF.

Se sopesa la alternativa de establecer la planta de espesado en tierra. Esta opción daría lugar a la necesidad de instalar varias plantas de tratamiento en cada una de las rías

gallegas (la máxima distancia entre polígonos en una misma ría puede alcanzar las diez millas)

Sin embargo se concluye que la alternativa óptima sería la inclusión dicha planta de procesamiento sobre una plataforma flotante, transportable por mar hasta su lugar de ubicación y que se pueda fijar al fondo, de tal manera que permanezca inmóvil ante las acciones dinámicas del viento, las olas y las corrientes marinas.

Se proponen y se ensayan en laboratorio diversos procesos de segregación y espesado de lodos.

Finalmente se alcanza un resultado óptimo mediante un proceso que emplea: tamiz vibrante, hidrociclonado, decantación con adición de floculante y centrifugado.

Figura 4: Ensayos de laboratorio

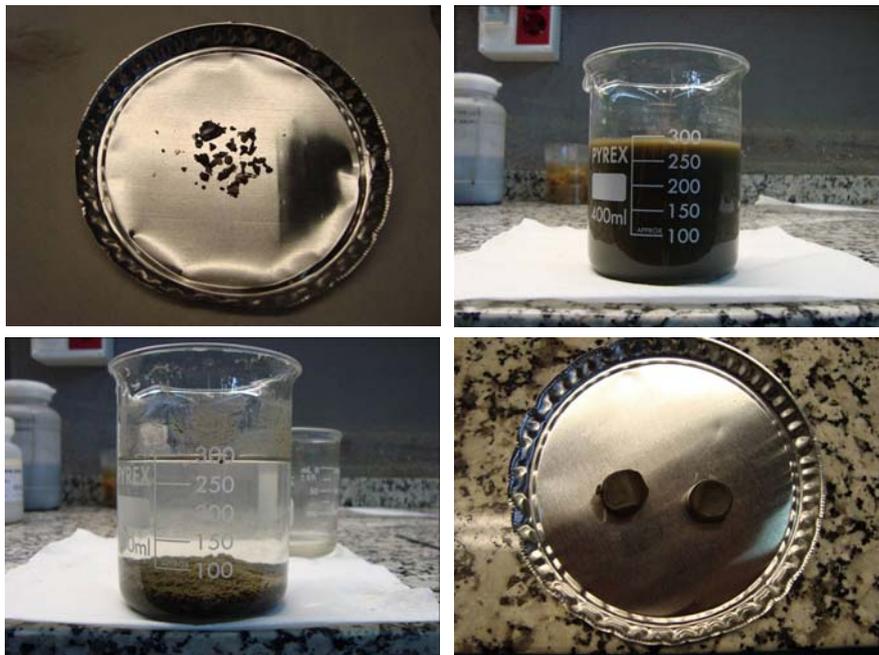


Imagen 1: Sólidos tras tamizado vibrante. Imagen 2: Aguas después de tamizado. E.S.= 1.9%. Imagen 3: Decantación con adición de polielectrolito. E.S.= 7.8%. Imagen 4: Sólido obtenido por el método Filte Spin Test. Simula la deshidratación en una centrifuga decantadora. E.S.= 37%

3.3 Elección del sistema de dragado

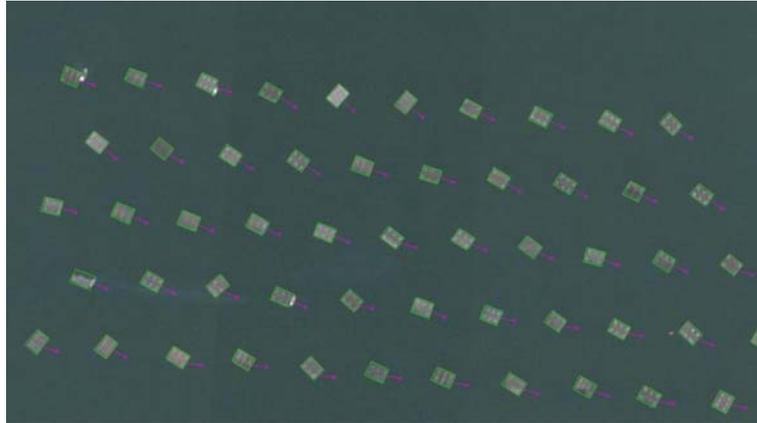
Condiciones del dragado:

- Básicamente materiales sedimentarios de muy pequeño tamaño de partícula
- Profundidad máxima: 25 m
- Capa de sedimentos de espesor variable (hasta 4 m según zonas)
- Los polígonos de bateas constituyen zonas extensas de dragado, en ellos los grandes bloques de hormigón que constituyen los fondeos se distribuyen a modo de matriz, con separación de 100m entre filas y columnas.
- Por regla general cada batea se une a su fondeo mediante una cadena de longitud igual a 1,5 veces la profundidad en pleamar de su ubicación. Por tanto las corrientes originadas por los cambios de marea dan lugar a un movimiento de rotación de las bateas de tal manera que éstas pivotan en torno a su fondeo. Luego los pasillos de

bateas que se aprecian en la superficie del mar no coinciden con la distribución en filas de sus respectivos fondeos (fig. 5)

- Mínima originación de plumas de resuspensión
- Máxima productividad

Figura 5: Recreación de la deriva de las bateas en torno a sus fondeos (Polígono de Boiro)



Fueron evaluados diversos métodos de dragado:

Dragas mecánicas:

- Draga de rosario (de cangilones)
- Draga de cuchara
- Draga de pala
- Draga retroexcavadora (backhoe)

Dragas hidráulicas:

- Draga de succión en marcha
- Draga de succión con cabezal cortador
- Draga estacionaria de succión
- Draga dustpan

4. Resultados

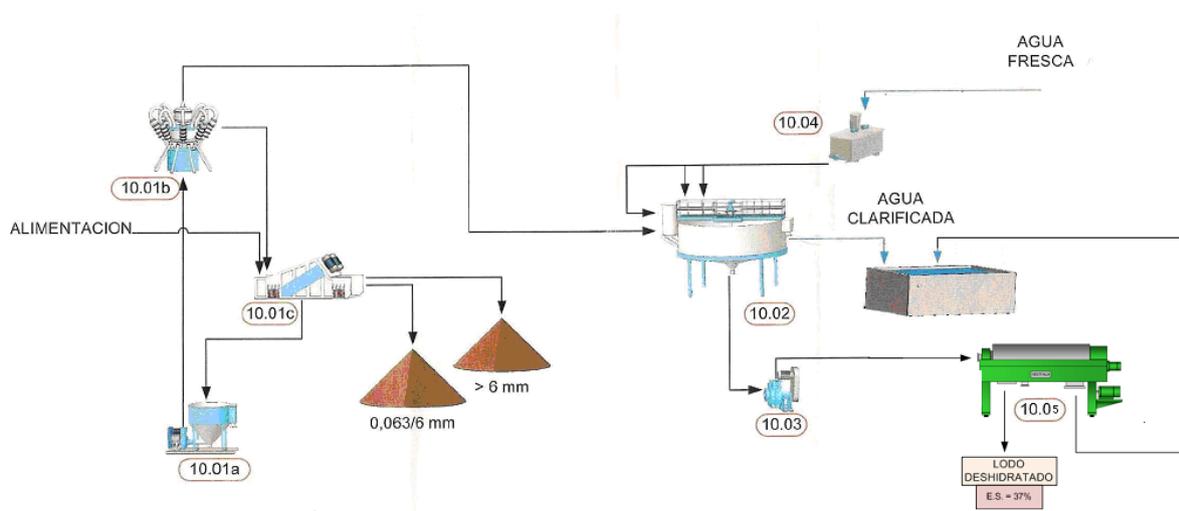
4.1. Proceso de espesado de lodos

La secuencia de tratamiento finalmente adoptada:

1. Tamizado por vibración (10.01c) para separación de las partículas más gruesas, que fundamentalmente son trozos de conchas, con dos escalones: partículas mayores de 6 mm y partículas entre 63 micras (0,063 mm) y 6 mm.
2. Bombeo (10.01a) del lodo ya filtrado hasta la unidad de hidrociclizado (10.01b), con retorno de partículas separadas a la etapa anterior.

3. Decantación de las partículas sólidas en tanque clarificador (10.02) mediante adición de floculantes (10.04) (polyelectrolito). Este material sólido descende por gravedad y se concentra en el fondo del tanque, del cual es extraído por medio de una bomba de lodos (10.03) para su envío hasta una centrifugadora (10.05) de la que se obtiene un fango ya espesado (37% de materia seca)
4. el efluente final (agua clarificada, transparente e incolora) que queda en la parte superior del tanque clarificador es extraída y devuelta al mar. No parece necesario, en principio, que tenga que ser esterilizada, ya que no debería albergar seres vivos microscópicos diferentes de los que existen en las aguas del entorno. Pero en caso de ser necesario, puede ser tratado mediante una instalación adicional de esterilización por rayos UV, por cloración o por ozono antes de su vertido.

Figura 6: Esquema proceso espesado lodos



La solución considerada óptima consistiría en el empleo de una instalación portable, que se pueda instalar próxima a los polígonos de bateas, que permanezca estable frente a la acción dinámica del viento, corrientes marinas y oleaje, capaz de soportar los equipos de procesado (espesado) de lodos además de las instalaciones auxiliares necesarias.

4.2. BTLF

Se diseña un BTLF basado en una draga de cántara y succión por arrastre, de características:

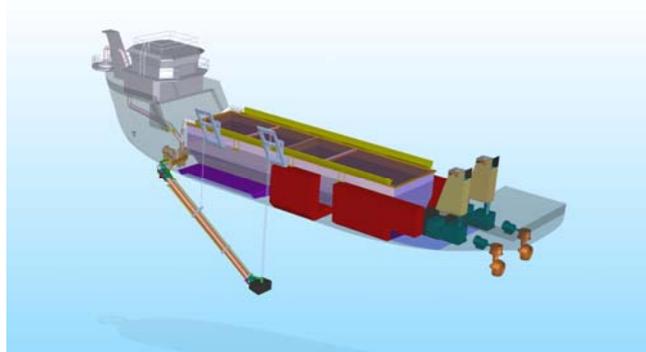
- Eslora entre perpendiculares: 50 m
- Eslora total: 54 m
- Manga: 10 m
- Calado máximo: 4 m
- Calado de escantillonado: 4,5 m
- Puntal hasta la cubierta principal: 4,8 m
- Profundidad máxima de dragado: 25 m
- Volumen de cántara: 750 m³
- Peso máximo de material en cántara: 900 Tm

- Peso consumibles (F.O., agua dulce, otros): 180 Tm
- Peso muerto al calado de 4 m: 1.080 m
- Velocidad de trabajo como draga: 0,5 a 1,5 nudos
- Velocidad de navegación normal: 10 nudos
- Tripulación por turno de trabajo: 3 personas
- Acomodación: 6 personas
- Propulsión: dos propulsores azimutales de 650 KW accionados por motor asíncrono gobernado por variador de frecuencia, un propulsor transversal a proa de 200 KW. Accionados

Equipo de Dragado

- Bomba de dragado: 1500 m³/h accionada por motor asíncrono gobernada por variador de frecuencia (100 KW en aspiración de lodos, 190 KW en aspiración de arena)
- Un tubo de aspiración de 37 mts de longitud para succión en marcha, (profundidad máxima de dragado de 25 m) y 400 mm de diámetro, dispuesto en dos tramos con articulaciones: en unión con sliding piece y en unión intermedia entre tramos, con cabezal de aspiración, grúas para manejo desde cubierta, tensionadores y válvulas y puerta deslizante (sliding piece) para conexión al casco. Incluye también, en paralelo, un tubo de 100 mm diámetro que sirve para inyectar agua a presión al cabezal de dragado y de este modo disgregar fondos compactos en el modo de trabajo como buque de dragado
- Cabezal de dragado adaptado para el tamaño de partícula
- Tres pescantes de manejo del tubo de succión
- Compensador de movimientos verticales en el pescante del cabezal de dragado.
- Rebose (overflow) para la cántara, diámetro 700 mm, carrera 2400.
- Acoplamiento para descarga por proa (bow coupling) mediante rainbowing o bien mediante manguerote.
- Dos bombas de chorro de agua (water jet pumps) para ocasional disgregado de los materiales de aspiración así como para disgregado de material contenido en la cantara.

Figura 7: BTLF (boceto 3D)



4.3. Ciclo de trabajo

Se propuso que el esquema de trabajo para succionar el lodo acumulado bajo las bateas mejilloneras, situadas en uno de los que llamamos *campo de bateas*, fuese el siguiente:

1. Aspirado del lodo del fondo mientras la draga navega a una velocidad entre 1 y 1,5 nudos (dependiendo del tamaño del campo) a lo largo de una calle entre bateas, durante 1/2 hora aproximadamente y trabajando con una bomba (de 1500 m³/h), con lo que se llena la cántara (750 m³) y no se arroja ningún rebose al mar. En la planificación diaria de trabajo necesariamente se tendrá en cuenta la dinámica de corrientes ocasionada por las mareas para evitar efectos no deseados causados por las plumas de resuspensión. Asimismo se deberá tener en cuenta que los pasillos existentes entre filas de bateas no van a coincidir con los pasillos formados por los muertos de sus fondeos, puesto que las bateas giran en torno a sus fondeos siguiendo la dinámica de corrientes originada por las mareas.
2. Conexión de la descarga de proa a un terminal flotante instalado en el extremo de la calle entre bateas, de una tubería flotante de 1/2 a 1 milla de longitud, a través de la cual se envía el lodo impulsado por la bomba del buque a una estación de tratamiento y concentrado. Tiempo necesario para esta operación: 1/2 hora.
3. Vuelta al campo de bateas para la operación de succión en un nuevo ciclo de aspiración de lodo.

De esta forma, el ciclo de trabajo sería de alrededor de hora a hora y media, como resultado del cual se bombearían 750 m³ de lodo por ciclo a la estación de tratamiento.

5. Conclusiones

Ha sido trazado un procedimiento de extracción y espesado de los lodos existentes bajo los polígonos de bateas de las rías gallegas, asimismo ha sido llevado a cabo el diseño conceptual de ciertos equipos necesarios para llevar a cabo este proceso: buque BTLF y planta de espesamiento.

No ha podido cumplirse el objetivo inicial de diseñar una planta de espesamiento sobre la cubierta del BTLF

No ha sido objeto del alcance de este proyecto la logística de gestión de los lodos espesados así como tampoco los procedimientos necesarios para la revalorización de los mismos, Estos últimos, que constituirán un pilar fundamental en el plan de gestión integral de los residuos de la acuicultura, están siendo en la actualidad desarrollados por un equipo de investigación de la Universidad de Vigo.

La planta de tratamiento concebida permitiría realizar el espesamiento de lodos procedentes del fondo marino de distinto origen: lodos en zonas portuarias originados por dispersión durante la carga-descarga de graneles sólidos, lodos sedimentarios procedentes de aportes fluviales, etc.

No se describe con mayor detalle la solución adoptada para contener la planta de espesamiento de lodos puesto que actualmente se encuentra en fase de redacción el documento de solicitud de patente.

El buque BTLF concebido serviría además para su empleo en la regeneración de playas y limpieza de canales de navegación.

Referencias

Bray, R.N. (2008) *Environmental aspects of dredging*. Taylor & Francis

- Cabanas, J.M., González, J.J., & Mariño, J.(1979). Estudio del mejillón y de su epifauna en los cultivos flotantes de la ría de Arousa. II. Observaciones previas sobre la retención de partículas y la biodeposición de una batea. *Bol. Inst. Espa. Oceano. (V)* 268, 45-80.
- Calvo, R., Quintas, I., & Macías, F. (1999). Caracterización de materiales para la recuperación de suelos degradados. i. sedimentos biogénicos de las rías de Galicia. *Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Volumen 6.* pág 47-58.
- Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO (2009). *El Estado Mundial de la pesca y la acuicultura año 2008*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- Franco, M. (2006). La miticultura en Galicia: una actividad de éxito y con futuro. *Revista Galega de Economía, vol. 15,* núm. 1
- Proyecto GESTINMER. Consellería de Pesca Xunta de Galicia
- Roorda, A., & Vertregt, J. (1963). *Floating dredgers*
- Sanz, C. (2001) *Manual de equipos de dragado*. E.T.S.I. Minas – UPM
- Varios (1994). *Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles*. Ente público Puertos del Estado
- Varios (1997). *Curso general de Dragados*. Ente público Puertos del Estado
- Varios (2004). *2º Curso general de dragados*. Ente público Puertos del Estado
- Varios. Beneficial uses of dredging materials. Report of PIANC Working Group 19
- Wilson, K., Addie, G., Sellgren, A., & Clift R. (2006). *Slurry transport using centrifugal pumps*. Springer

Correspondencia (Para más información contacte con)

Juan de Dios Rodriguez Garcia.

Phone: +34 981 337 400 Ext 3002

Fax: + 34 981 337 401

E-mail : jdedios@cdf.udc.es

URL :