International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities

IALA

Association Internationale de Signalisation Maritime

AISM

IALA Directriz Nº 1066

Sobre

Diseño de Fondeos para Ayudas Flotantes a la Navegación

On

The Design of Floating Aid to Navigation Moorings

Edición 1.1

Junio 2010

(Edición 1; Mayo de 2009)

Puertos del Estado

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO

IALA AISM

10, rue des Gaudines
78100 Saint Germain en Laye, France
Telephone +33 1 34 51 70 01 Fax +33 1 34 51 82 05
e-mail - contact@iala-aism.org Internet: www.iala-aism.org

Revisión de Documentos

Las revisiones realizadas al Documento de la IALA se anotarán en la tabla antes de la emisión de un documento revisado.

Fecha	Página / Apartado Modificado	Motivo de la Revisión
Junio de 2010	3.3.1.2.1	Enmienda a formula

ÍNDICE

REVISIÓN DE DOCUMENTOS 1
ÍNDICE 3
CUADROS 5
FIGURAS 5
1 INTRODUCCIÓN 7
2 CONSIDERACIONES GENERALES 7
3 AMARRES DE CADENA 8
3.1 Proceso de Diseño para un Nuevo Amarre 8
3.1.1 Datos Necesarios 8
3.1.2 Proceso de Cálculo 9
3.2 VARIAS SECCIONES DEL AMARRE 10
3.2.1 Cadena de Cola 10
3.2.2 Anclaje en forma de Y o pata de gallo 11
3.2.3 Cadena suspendida 11
3.2.4 Cadena de Borneo o de roce 11
3.2.5 Cadena Durmiente o de Fondo 11
3.2.6 Radio de Borneo 11
3.2.7 Muerto 12
3.3 DISEÑO DEL AMARRE 12
3.3.1 Tipos de fondeo 12
3.3.2 Peso del Muerto 20
3.3.3 Muertos Enterrados 21
3.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE FONDEO CON CADENA 21
3.4.1 Cadena 21
3.4.2 Amarre en Y o pata de gallo 23
3.4.3 Grilletes 24
3.4.4 Eslabones Giratorios 27
3.4.5 Muertos 28
3.5 Desgaste y corrosión de amarres 29
3.5.1 Corrosión 30
3.5.2 Desgaste 30
3.6 VIDA ÚTIL 30
4 AMARRES CON CABO 31
4.1 Amarres de Boya de Cabo 31
4.2 Diseño del Amarre 31
4.3 Tamaño del cabo 32
4.4 Fabricación del cabo 32
4.5 Tipos de Fibra 33
4.5.1 Nylon 33
4.5.2 Poliéster 33
4.5.3 Polipropileno 33
4.5.4 Fibras Avanzadas 33

4.5.5 Construcción Mixta 34
4.6 Acabados para los cabos 34
4.6.1 Guardacabos 34
4.6.2 Empalmes 34
4.6.3 Amarres de cable / Cadena ("Amarres Híbridos") 35
4.6.4 Fondeo con las patas en tensión 35
4.7 Manipulación cabos de fondeo 35
4.7.1 Utilización 35
4.7.2 Recuperación 35
4.8 Seguridad 36
5 AMARRES ELÁSTICOS 36
5.1 Introducción 36
5.2 Construcción de los Amarres Elásticos 36
5.3 Diseño de los Amarres Elásticos 36
5.4 Manipulación 37
5.5 Ventajas 37
6 EJEMPLOS DE AMARRES FLUVIALES ESPECIALES 38
6.1 Alemania 38
6.1.1 Boyas ancladas en el lecho del Río Rin 38
6.2 Los Países Bajos (Holanda) 39
6.2.1 Amarre con anclas en el Rin 39
ANNEX 1 COEFICIENTE DE ARRASTRE 41
1 CÓMO ESTABLECER LA RESISTENCIA O COEFICIENTE DE ARRASTRE 41
2 DATOS DE LA BOYA DE ACERO CON FALDÓN (6.5 M^3) 41
3 PRUEBA DE REMOLQUE 41
4 RESULTADOS 42
5 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE 43
6 CONCLUSIONES 43
ANNEX 2 COMPARACIÓN DE CARGAS EN EL AMARRE UNA BOYA FONDEADA CON FONDEO ELÁSTICO O DE CADENA 44
1 INTRODUCCIÓN 44
2 EL CONFLICTO INICIAL 44
3 DESCRIPCIÓN DE LA BOYA DE NAVEGACIÓN AMARRADA EN EL MAR 44
4 AGUAS SOMERAS 48
5 BOYA AMARRADA CON ELASTÓMERO 49
6 CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS 51
7 CONCLUSIÓN 52
ANNEX 3 EJEMPLO DEL DISEÑO DE UN AMARRE 53
1 SITUACIÓN ELEGIDA 54
ANNEX 4 DETALLES DE LOS MUERTOS 59

ANNEX 5 DETALLES DEL SISTEMA DE AMARRE CON CABO UTILIZADO POR LOS GUARDACOSTAS CANADIENSES 64

Cuadros

Cuadro 1 Acero Típico de Cadena 22
Cuadro 2 Cuadro donde se puede ver las fuerzas de remolque con el cabo 43
Cuadro 3 Cuadro donde se puede ver las fuerzas de remolque con la línea de elastómero 43
Cuadro 4 Dimensiones del muerto de hormigón 60
Cuadro 5 Dimensiones del muerto de hormigón 62

Figuras

Figura 1 Amarre de boya 10
Figura 2 Fondeo intermedio 13
Figura 3 Reserva de flotabilidad 15
Figura 4 Amarre Flojo 17
Figura 5 Amarre Tenso 18
Figura 6 Cadena 4d 22
Figura 7 Grillete de chaveta con pasador ovalado 24
Figura 8 Grillete cerrado con pasador ovalado 25
Figura 9 Grillete de Perno 25
Figura 10 Perno Roscado 26
Figura 11 Grillete Kenter 26
Figura 12 Gancho “G” y eslabón de unión 27
Figura 13 Eslabón Giratorio 27
Figura 14 Muerto de Hormigón 28
Figura 15 Muerto de hierro fundido de 3 toneladas de Trinity House 29
Figura 16 Construcción de tres hebras 32
Figura 17 Construcción Multitrenza 32
Figura 18 Construcción trenzada 33
Figura 19 Comportamiento de distintos tipos de fibra bajo tracción 34
Figura 20 Configuración del amarre elástico 37
Figura 21 Tipo de Boya Fluvial 39
Figura 22 Amarre Fluvial 40
Figura 23 Fuerzas al remolcar con una línea de cabo y Fuerzas al remolcar con una línea de elastómero 42
Figura 24 Gráfico en el que se puede observar la resistencia de la boya al remolcarla a varias velocidades. 42
Figura 25 Un tren de olas rompientes 45
Figura 26 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya como función del desplazamiento ΔX. 45
Figura 27 La fuerza horizontal de una boya vs. El desplazamiento de la boya desde su posición de corriente cero 46
Figura 28 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya cuando llega una ola rompiente 47
Figura 29 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya cuando una ola rompiente pasa 48
Figura 30 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya cuando una ola rompiente pasa. 49

Figura 31 La fuerza ejercida sobre un fondeo elástico como función de la longitud relativa. 50
Figura 32 La fuerza ejercida sobre el amarre de una boya con un fondeo elástico cuando pasan olas rompientes. Longitud del cabo de elastómero : 2 cm, 8 cm, 32 cm, 1.3 m y 5.1 m. 50
Figura 33 La fuerza de amarre ejercida sobre una boya amarrada con un fondeo elástico cuando pasan olas rompientes. Longitud del cabo de elastómero: 2 cm, 8 cm, 32 cm, 1.3 m y 5.1 m. 51
Figura 34 Boya A8L de la nueva generación 53
Figura 35 Tensión vertical ejercida sobre el muerto en función de la longitud de la cadena 55
Figura 36 Carga vertical ejercida sobre la boya 56
Figura 37 Tensión ejercida sobre la cadena 57
Figura 38 Masa del muerto 57
Figura 39 Reserva de flotabilidad 58
Figura 40 Muerto cuadrado de hormigón 59
Figura 41 Muerto circular de hormigón 61
Figura 42 Muertos de hierro fundido 63
Figura 43 Amarres con cabo de los Guardacostas Canadienses para boyas de 0.5 m 64

Diseño de Fondeos para Ayudas a la Navegación Flotantes

1 INTRODUCCIÓN

Esta directriz combina y sustituye el contenido técnico de tres documentos de la IALA ya existentes: 'Recomendación E-107 sobre el Diseño de los Amarres Normales, 1998', 'Directrices sobre los Amarres Sintéticos 1024, 2001', y 'Consejos Prácticos sobre la utilización de las Cadenas de Amarre para las Ayudas Flotantes a la Navegación, 1989', que han sido retirados. La información se basa en las costumbres actuales de las Miembros de la IALA en el año 2009.

2 CONSIDERACIONES GENERALES

Para garantizar la seguridad de los marineros, las Autoridades de Faros utilizan boyas y buques faro como señales marítimas (AtoN). Los fondeos de dichas señales garantizan que se mantengan en el lugar adecuado.

El sistema de amarre ha de mantener la señal marítima flotante en una posición lo suficientemente exacta para cumpla su función como una AtoN.

El fondeo es un cable flexible que conecta la (AtoN) flotante a un dispositivo de anclaje.

En la mayoría de los casos nos estaremos refiriendo a una boya conectada por un tramo de cable de amarre a un muerto en el fondo del mar. No obstante, los conceptos podrían aplicarse igualmente a las señales flotantes más grandes, como los buques faro fondeados con anclas.

El diseño del amarre dependerá de:

- La profundidad del agua en el lugar de fondeo;
- La flotabilidad de la ayuda flotante;
- Las condiciones del fondo del mar en el lugar;
- Las cargas a las que la señal marítima flotante se ve sometida por las acciones del oleaje, el viento, las corrientes y el hielo;
- Las cargas a las que el cable de amarre se ve sometido por las corrientes de agua;
- Las condiciones del entorno que someten el amarre al desgaste y la corrosión;
- Los medios de mantenimiento disponibles;
- La vida útil exigida al amarre;
- El precio.

3 AMARRES DE CADENA

El tipo de cable de amarre que más se utiliza es la cadena de acero. La cadena formará una catenaria entre la boya y el fondo del mar y podrá absorber grandes cantidades de energía. Las cadenas tienen una buena resistencia al desgaste. Su manipulación resulta fácil y segura con el equipamiento adecuado. Las cadenas pueden unirse mediante grilletes con poco impacto sobre su resistencia a la tracción.

Los amarres de boya suelen estar compuestos de una cadena de eslabón abierto cuyo tamaño se establece en base al diámetro de barra del material empleado en su fabricación. Así que la cadena de amarre de la boya puede variar entre 12.5 y 50 mm. Se puede utilizar un acero aleado de poco carbón o con un nivel más elevado de carbón. Asimismo puede emplearse un acero aleado si la mejora en su resistencia al desgaste justifica la utilización de un producto más caro.

No suelen emplearse las cadenas con eslabones de contrete para los amarres de boya por su elevado coste inicial, pero puede considerarse su utilización en casos donde su peso más elevado tiene ciertas ventajas sobre las cadenas de eslabón abierto.

No obstante, existen dos situaciones específicas en las que la utilización de las cadenas resulta problemática:

- Si se prevén amarres en aguas más profundas, a más de 60 m., puede que un amarre de cadena pese tanto que una boya normal no puede soportar el peso de la cadena de amarre. En estos casos, un material de peso ligero, como un cabo sintético podría servir para parte del cable de amarre. El Apartado 4 contiene información pormenorizada sobre los amarres de cabo.
- Asimismo, la utilización de los amarres de cadena convencionales podría causar problemas en aguas poco profundas, sobre todo en las zonas de rompientes. Si la rotura del oleaje es un fenómeno frecuente en el emplazamiento de la boya, ocurriría típicamente cuando la altura de ola sea de ¼ (o más) de la profundidad del agua. En estos casos, la ola rota transmitiría gran cantidad de energía a la boya. Puede que la cadena de amarre, que podría tener una longitud de 7 veces superior a la profundidad del agua, no sea capaz de absorber las cargas tan altas generadas por una boya barrida por las olas. En estos casos la cadena pudiera romperse o el muerto pudiese ser arrastrado a otro lugar. La utilización de los fondeos elásticos puede ser la solución en estos casos. El Apartado 5 contiene información pormenorizada sobre los amarres de elastómero y el ANNEX 2 proporciona datos sobre las altas cargas a las que se ven sometidos los amarres donde existe rotura de ola.

3.1 Proceso de Diseño para un Nuevo Amarre

Antes de hacer los cálculos para el amarre, es preciso tener los datos físicos de la boya en cuestión y las condiciones ambientales del emplazamiento. Debería tenerse en cuenta qué mantenimiento va a necesitar la boya y cómo se va a llevar a cabo, porque puede que haga falta una plataforma segura para el personal de mantenimiento.

Asimismo, para tener unos cálculos más acertados, es preciso conocer el tamaño y la resistencia de la cadena de amarre disponible, información sobre los muertos disponibles y la capacidad de izado de los equipos de la maquinaria de elevación de los barcos de mantenimiento.

3.1.1 Datos Necesarios

La clase y el tipo de boya a emplear dependen de las exigencias de las AtoN en el lugar de fondeo en cuestión. Una combinación de los siguientes factores determinará el tipo o clase de boya a emplear:

- La intensidad de luz exigida;
- La altura del plano focal,
- El tamaño de las marcas diurnas y sus marcas de tope;

- Otras señales marítimas (AtoN) a llevar;
- Sistema de control remoto y de seguimiento;
- Todos los sistemas de energía asociados;

Puede que haga falta tener en cuenta la precisión posicional exigida a la AtoN a la hora de diseñar el amarre. Cuando se calculan las cargas de los amarres, puede ser preciso un cuerpo de boya más grande que el que se preveía para tener francobordo suficiente para la marca diurna o garantizar condiciones de trabajo seguras para el personal de mantenimiento.

Será necesario conocer las dimensiones de la superestructura de la boya y la marca diurna para calcular las cargas ejercidas por el viento.

Será preciso tener datos pormenorizados sobre el cuerpo de la boya y el tubo de la cola o el faldón para calcular las cargas ejercidas sobre el fondeo por la corriente o marea.

Hace falta conocer las dimensiones físicas y el desplazamiento de la boya elegida para poder calcular el francobordo bajo las condiciones máximas de carga del fondeo.

Los datos ambientales para el emplazamiento del amarre proporcionarán la información sobre las condiciones adversas o extremas de viento y marea, y las alturas máximas de las corrientes y el oleaje. Asimismo, es preciso saber en qué tipo de fondo va a asentarse el muerto.

3.1.2 Proceso de Cálculo

Pueden emplearse los datos relevantes de la boya y las fuerzas ambientales en las Fórmulas para el caso de "fondeo intermedio" (con la catenaria de tangencia horizontal al muerto) para calcular las cargas sobre el fondeo, el tamaño de la cadena, la longitud de la cadena, el tamaño del muerto, el radio de borneo máximo y la reserva de flotabilidad de la boya.

Si el radio de borneo calculado no cumple con las exigencias de navegación, habrá que replantear el diseño de los amarres utilizando una cadena más pesada o realiza los cálculos con las ‘Fórmulas de Amarre Tenso’ para conseguir un amarre aceptable. Entonces se puede reevaluar la idoneidad de la boya elegida calculando la nueva reserva de flotabilidad.

Si no plantea problemas el radio de borneo obtenido a partir de las ‘Fórmulas de fondeo intermedio’, se puede investigar con las “Fórmulas de Amarre Flojo”, para ver cómo un aumento en la longitud de la cadena puede ayudar a reducir las cargas sobre el muerto o incluso reducir el tamaño del muerto.

3.2 VARIAS SECCIONES DEL AMARRE

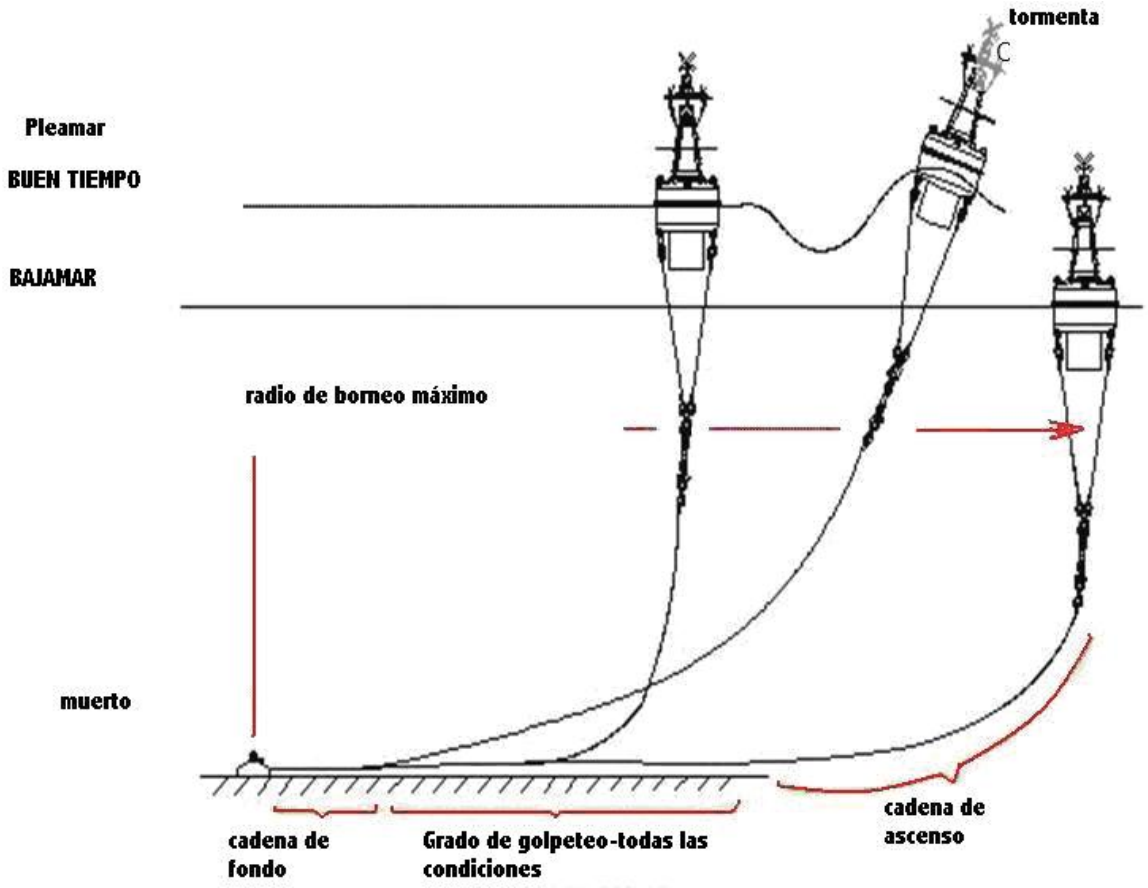


Figura 1 Amarre de boya

Un amarre suele estar compuesto por los siguientes componentes debidamente montados:

- Una Cadena de cola o amarre en forma de Y o pata de gallo (según el método empleado para asegurar la boya);
- Cadena Suspendida ;
- Cadena de Borneo o de roce;
- Cadena Durmiente o de Fondo.

3.2.1 Cadena de Cola

En el caso de las boyas donde el amarre se sujeta únicamente a un solo asa de anclaje, la cadena de cola es el tramo de la cadena conectada a la boya. Sufre desgaste entre los eslabones al absorber gran parte de la energía generada por la boya cuando sube y baja siguiendo los movimientos de la superficie del mar. Asimismo, tiene que absorber la energía rotacional del amarre inducida por la boya girando sobre su eje. Para contrarrestar dichos efectos se puede colocar una aleta estabilizadora en la boya en el lado opuesto al asa de amarre o perpendicular al eje de las asas de amarre en el caso de anclaje en forma de Y o pata de gallo. Otra ventaja de dicha aleta es que reduce la oscilación de la boya en el agua circulante.

Para permitir que las boyas con un solo punto de sujeción puedan permanecer en vertical en distintas corrientes y profundidades de agua y con diferentes pesos de cadena, es preciso colocar varias asas de amarre a distintas distancias del eje de la boya.

Si se trata de una boya de cola, se debe aumentar el tamaño de la cadena de cola para tener en cuenta el desgaste adicional en el punto donde la cadena frota contra la cola tubular. Para disminuir este roce, algunos Servicios colocan una banda de madera de roce en la parte inferior del tubo.

3.2.2 Anclaje en forma de Y o pata de gallo

Este anclaje está compuesto por dos tramos de cadena de la misma longitud engrilletados en lados opuestos de la boya. Las dos cadenas se unen por debajo de la boya mediante un eslabón triangular o circular, o un conjunto de engrilletado.

Por debajo de dicho punto puede que se encuentre un eslabón giratorio o una conexión directa al próximo tramo de cadena.

La utilización de este anclaje permite que las boyas permanezcan en vertical sin necesitar varias asas de amarre en diferentes posiciones para distintas condiciones de flujo o para amarres de distintos pesos.

3.2.3 Cadena suspendida

La Cadena suspendida une la cadena de anclaje a la boya (en Y o de cola) a la cadena de borneo. El tamaño de la cadena (diámetro) y su longitud pueden variarse en función de la flotabilidad de la señal marítima, la profundidad del agua y las fuerzas que se vayan a ejercer sobre la cadena. La cadena ha de tener una resistencia suficiente como para recuperar el muerto. Las cadenas se suelen suministrar en unidades estándar de la misma longitud, ya conectadas entre sí mediante grilletes.

Esta parte del amarre queda suspendida debajo de la boya y no se ve expuesta al desgaste en el fondo del mar. Por tanto, para esta parte del amarre se puede emplear un cabo sintético si es preciso tener un amarre de poco peso, como sucede normalmente en aguas profundas, o de cabo de elastómero para amarres en aguas muy someras, donde han de absorberse grandes cantidades de energía del oleaje. Se trataran tanto el cabo sintético como el cabo elástico en esta Directriz.

3.2.4 Cadena de Borneo o de roce

La Cadena de Borneo es la parte del amarre que se encuentra en el fondo del mar o cerca del fondo, uniendo la cadena suspendida con la cadena de fondo. La cadena de borneo se mueve constantemente en el fondo del mar debido a los efectos de las mareas, las corrientes y las condiciones del mar y el viento. Si el fondo es arenoso esta parte del amarre va a sufrir mucho desgaste.

Esta parte del amarre suele ser la primera en sustituirse, bien con una nueva cadena o empleando una sección de cadena de otra parte del amarre.

En algunos casos se aumenta el tamaño de la cadena (diámetro) en este tramo para contrarrestar el desgaste.

3.2.5 Cadena Durmiente o de Fondo

La cadena durmiente se encuentra en el fondo del mar entre la cadena de borneo y el muerto, y a veces se queda enterrado en el lecho marino.

Se puede bien aumentar la longitud de esta sección del amarre o emplear un tamaño más grande de cadena para disminuir las cargas transmitidas al muerto.

La cadena de fondo, el muerto y la capacidad de recuperación de las demás partes del amarre mantienen a la boya en su posición correcta.

Nota En el caso de los amarres de tamaño reducido o mediano, se puede utilizar un solo tramo de cadena para la cadena suspendida, cadena de fondo y cadena de borneo. No obstante, se sigue empleando esta terminología para identificar las distintas secciones del amarre.

3.2.6 Radio de Borneo

El radio de borneo es el radio del movimiento circular de la boya alrededor de la posición del muerto en situaciones de bajamar. La presencia de hielo puede aumentar el radio de borneo porque con el aumento de la carga, la cadena podría volverse recta.

En zonas de marea o fluviales, la trayectoria del desplazamiento de la boya seguirá la del caudal.

3.2.7 Muerto

El muerto normalmente fija el amarre al fondo del mar. La ventaja que tienen los muertos es que son capaces de resistir las cargas ejercidas desde cualquier punto. Las anclas pueden emplearse cuando la carga del amarre es siempre unidireccional. Un ancla puede resultar bastante más resistente que un muerto del mismo peso, pero solo cuando el ancla se encuentra correctamente enterrada en el fondo del mar o el río.

3.3 DISEÑO DEL AMARRE

El siguiente apartado explica una metodología para calcular las dimensiones de un fondeo de cadena y el peso ideal del muerto necesario, para lo cual es preciso conocer las condiciones ambientales en el emplazamiento del amarre, tener información sobre el régimen de oleaje y conocer las dimensiones de la boya a fondear. Hace falta tener datos sobre el tipo de lecho marino para poder determinar el peso muerto.

Las necesidades de navegación, en lo referente a un radio de borneo aceptable para una boya, podrían exigir afinar más en el diseño del fondeo.

En los lugares donde existe una preocupación sobre los daños a la fauna y la flora en el fondo del mar, puede que haga falta diseñar el amarre de manera que no tenga cadena durmiente barriendo en el fondo.

En zonas como el Mar Báltico, donde la carrera de mar es muy reducida, es frecuente el uso de los amarres tensos. Unen la boya directamente al muerto mediante una línea lo más corta posible, para que la tensión en tren de fondeo mantenga a la boya en la posición vertical.

La información obtenida a partir de la experiencia práctica con otras boyas en la zona de amarre propuesta resultará de importancia a la hora de verificar los resultados de los cálculos.

En los cálculos se supone que:

- El eje de la boya sea vertical bajo la mayoría de las condiciones de corriente y viento;
- La reserva de flotabilidad de la boya totalmente equipada sea suficiente bajo las peores condiciones de viento y marea;
- El arrastre debido al flujo del agua sobre la cadena de fondeo no sea significante en las corrientes de menos de 5 nudos y en profundidades de agua de menos de 40 m. Serán necesarios cálculos adicionales para emplazamientos más profundos y/o con mayores corrientes.

3.3.1 Tipos de fondeo

Se presentan datos para los tres tipos de fondeo principales:

- El Fondeo intermedio;
- El Amarre Flojo;
- El Amarre Tenso.

El texto que aparece a continuación contiene una descripción de estos tres tipos de fondeo y explica cómo pueden calcularse las cargas de los amarres.

3.3.1.1 Fondeo intermedio

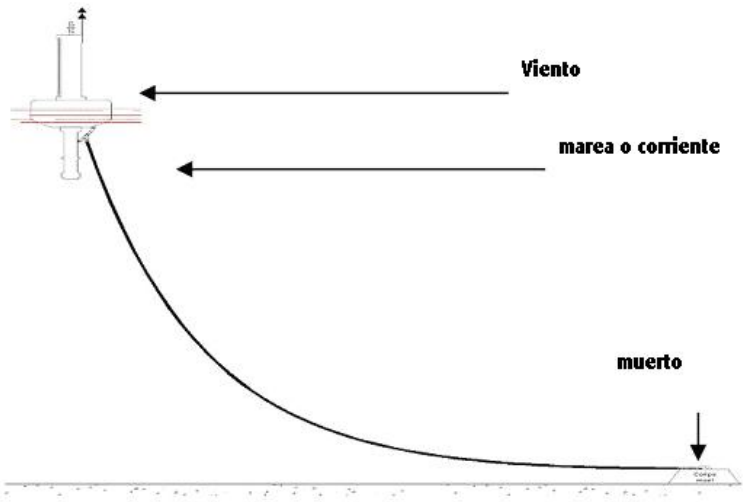


Figura 2 Fondeo intermedio

El intermedio (Véase la Fig. 2) es el estado de fondeo ideal, en el que la catenaria de la cadena de fondeo se encuentra en fondo del mar tangencialmente al muerto cuando la boya se ve expuesta a las máximas cargas de viento y marea (o corriente). Las cargas de amarre se transmitirán horizontalmente al muerto, que estará funcionando de la manera más eficaz posible.

3.3.1.1.1 Fondeo intermedio. Cargas

Se calculan las cargas a las que la boya se ve sometida por el viento y por las mareas mediante las siguientes fórmulas:

$$T_{h0} = F_w + F_d$$

Siendo

T_{hO} la carga horizontal provocada por el viento y las mareas en Newtons

F_w la máxima carga del viento sobre la boya en Newtons

F_D la máxima carga de la marea (o la corriente) sobre la boya en Newtons

$$F_w = \frac{1}{2} \rho_a V_w^2 A C_w$$

Siendo

ρ_a la densidad del aire en Kg/m3

V_W la máxima velocidad del viento en m/s

A el área de la sección transversal de la boya expuesto al viento en m2

C_W el coeficiente de arrastre aerodinámico del las partes de la boya expuestas a las cargas del viento.

Los valores típicos de C_W son los siguientes:

Cilindro	0,3 a 0,4
Chapa Plana	1,0
Celosía (ángulos)	1,2
Celosía (tubería)	0,3 a 0,4

$$F_d = \frac{1}{2}\rho_0 V_w^2 A C_d$$

Siendo

- ρ_o la densidad del agua marina en Kg/m3
- S el área de la sección transversal de las áreas sumergidas de la boya en m2
- V la máxima velocidad de la corriente o marea en m/s
- C_d el coeficiente de arrastre hidrodinámico de las distintas secciones sumergidas de la boya. Los valores típicos de C_d son 0,55-0,65 (sin incrustaciones) según el tipo de boya. Se puede ver un ejemplo en el Apéndice 1, donde se ha establecido un coeficiente de arrastre de 0,55 para una boya de faldón convencional.

3.3.1.2 Tamaño de Cadena para fondeo intermedio

Se puede determinar el tamaño práctico de la cadena realizando pruebas sobre la resistencia y el peso sumergido de varios tamaños de cadena comercial disponibles, empleando las siguientes fórmulas:

$$R_c \geq 5(pgH + T_{h0})$$

Siendo

- R_c la carga de prueba de la cadena en Newtons.
- p la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (la masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.
- H la máxima profundidad en el lugar de fondeo en metros, que debería incluir la altura de ola.
- T_{ho} la carga horizontal debido a la boya, que equivale a la carga horizontal de amarre en el muerto en Newtons.
- g la aceleración debido a la gravedad en m/s^2

El factor de seguridad de 5 tiene en cuenta la carga cíclica constante y los efectos del oleaje a los que la cadena se ve sometida por los movimientos de la boya.

E cálculos darán una orientación en cuanto al tamaño de cadena que se necesita, y a continuación se puede emplear las siguientes fórmulas para establecer la longitud de la cadena de amarre.

3.3.1.2.1 Longitud de la Cadena para los fondeos intermedio

$$L = \sqrt{H\left(H + \frac{2T_{h0}}{pg}\right)}$$

3.3.1.2.2 Reserva de flotabilidad para fondeos con catenaria tangente al muerto

Para instalar una marca diurna adecuada hace falta una reserva de flotabilidad suficiente, para garantizar que el cuerpo no se ve sumergido por el oleaje normal y para que pueda constituir una plataforma de trabajo segura si es necesario que el personal de mantenimiento trabaje sobre la boya cuando está a flote.

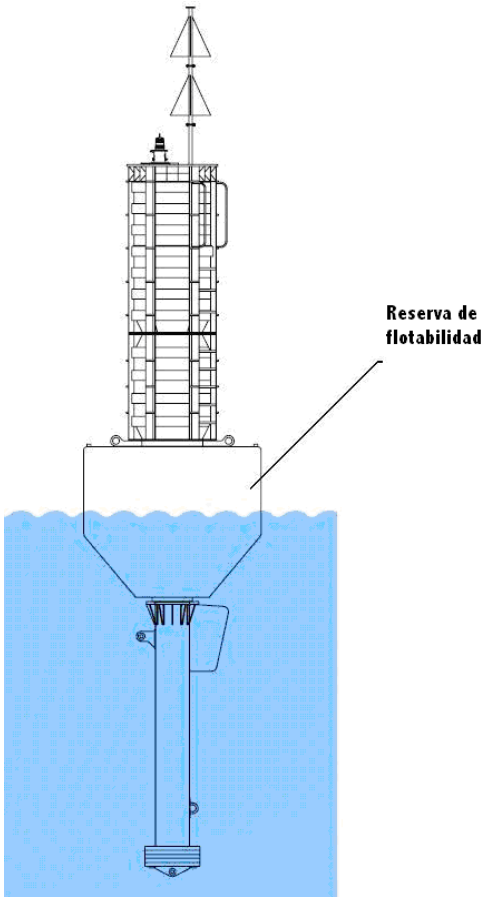


Figura 3 Reserva de flotabilidad

A continuación se puede calcular la carga a la que la boya se verá sometida para ver si la boya propuesta tiene suficiente reserva de flotabilidad.

$$R_b = U - \frac{M_b + m_c L}{\rho_w}$$

Siendo

R_b	el volumen de la reserva de flotabilidad en m^3.
U	el volumen total del flotador en m^3.
M_b	la masa de la boya en Kg.
m_c	la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena en Kg/m.
L	la longitud del tramo suspendido del amarre en m.
ρ_w	la densidad del agua en Kg/m^3

3.3.1.2.3 Radio de Borneo para el fondeo intermedio

A continuación se puede calcular el radio de borneo (Véase la Fig.1) del amarre empleando las siguientes formulas:

$$R_m = L - \sqrt{H_m(H_m + 2\frac{T_{h0}}{pg})} + \frac{T_{h0}}{pg}\cosh^{-1}(H_m\frac{pg}{T_{h0}} + 1)$$

Siendo

R_m	el máximo radio de borneo en metros,
L	la longitud total del amarre en metros,
H_m	la mínima profundidad en el lugar de fondeo en metros,
g	la aceleración debido a la gravedad en m/s^2
T_{h0}	la tensión horizontal de amarre en el punto de conexión con el muerto en Newtons,
p	la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (la masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.

Entonces será posible ver si el fondeo diseñado cumple con las exigencias operacionales y de navegación.

¿Será aceptable el radio de borneo? Si la boya señaliza un canal navegable, puede que haga falta reducir el radio de borneo. Se puede conseguir dicha reducción agrandando el tamaño de la cadena. El efecto de esta medida puede comprobarse recalculando el diseño de los fondeos con tamaños de cadena cada vez más grandes.

Si resulta preciso reducir aún más el radio de borneo máximo se puede considerar el 'Amarre Tenso'. (Véase 3.3.1.4)

Asimismo, se debe controlar la reserva de flotabilidad de la boya al considerar tamaños de cadena más grandes.

Si lo que se necesita es un marcado de precisión, se puede considerar la utilización de una boya articulada, una baliza sobre pilar fijo o un amarre de dos patas.

3.3.1.3 Amarres Flojos

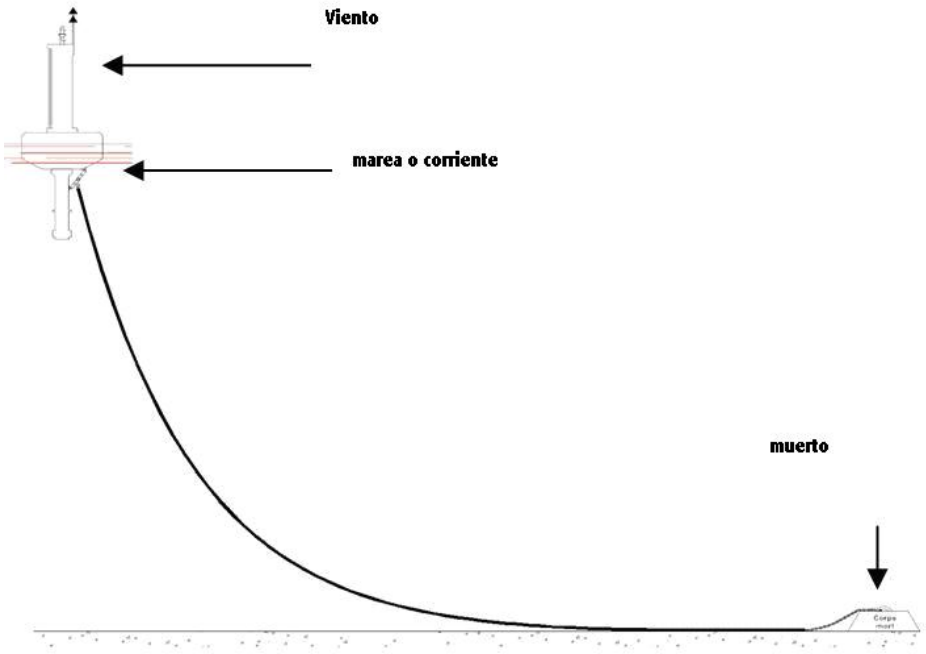


Figura 4 Amarre Flojo

Es el tipo de amarre que más se emplea en la práctica.

Los amarres flojos o estirados siempre tienen parte de la cadena en el fondo del mar. Cuando la carga sobre la boya está en su punto máximo, la catenaria de la cadena de amarre tocará el fondo del mar a cierta distancia del muerto. La cadena en el fondo del mar mejora la seguridad del amarre o puede emplearse para disminuir el tamaño del muerto (Véase la Figura 4)

3.3.1.3.1 Resistencia de la Cadena de Fondo para el amarre flojo

La siguiente fórmula evalúa el aumento efectivo de la masa que la cadena de fondo suma al muerto:

$$M_{gained} = m_c L_g \frac{\tan \phi}{K}$$

Siendo

M_{gained} *el aumento efectivo de la masa del muerto proporcionado por la cadena de fondo.*

m_c *la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (la masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.*

K *un coeficiente de seguridad (normalmente equivale a 1,5).*

ϕ *el ángulo de rozamiento interno del fondo del mar (depende del tipo de suelo en el lugar de fondeo), 45° (0.7855 en radianes) es una aproximación práctica que puede emplearse en la mayoría de los casos. El ángulo de rozamiento es más bajo en los fondos de caliza y algunos fondos de gravas.*

L_g *la longitud* del tramo de fondeo que se apoya en el fondo del mar en m.

Se utiliza esta disposición de fondeo, se usa a menudo en mar libre donde es aceptable un radio de borneo de la boya amplio. El tramo de cadena de fondo es capaz de absorber energía en condiciones meteorológicas extremas.

Si el peso muerto para el fondeo intermedio resulta superior a la capacidad de elevación del barco de mantenimiento, dicho peso puede reducirse empleando una cadena de fondo larga.

3.3.1.4 Amarre Tenso

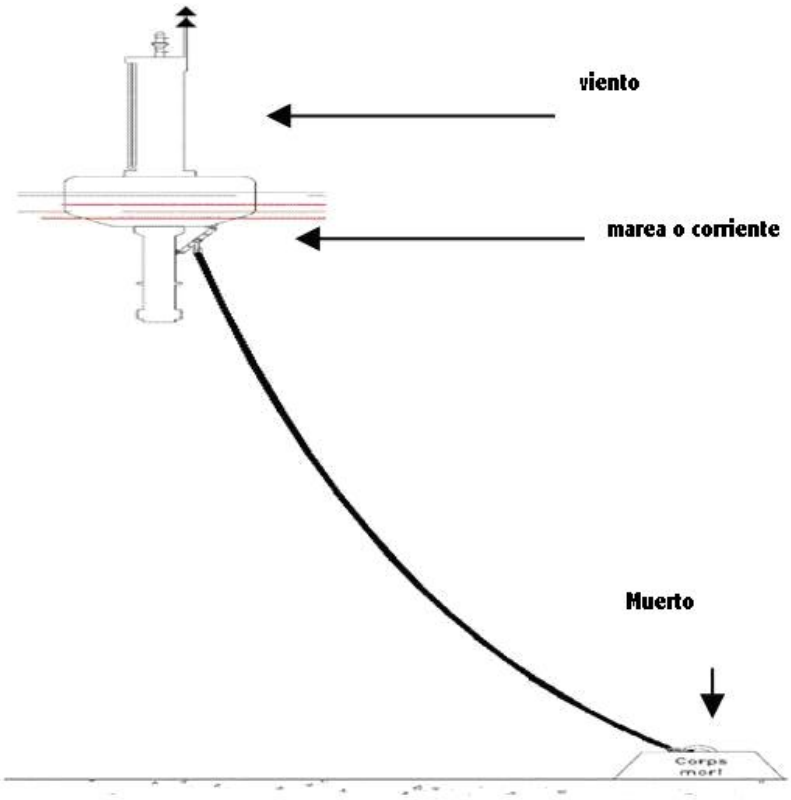


Figura 5 Amarre Tenso

Si el radio de borneo obtenido a partir del diseño inicial del fondeo es demasiado grande para las exigencias de navegación, por ejemplo, cuando se necesita marcar los límites de los canales dragados con mucha precisión, puede que haya que considerar un amarre tenso.

Las mismas restricciones han de aplicarse si el fondo del mar es un ecosistema importante. Podría ser necesario emplear un amarre tenso dimensionado de tal forma que gran parte de la cadena de amarre quede suspendida de la boya, con el fin de reducir a un mínimo los daños que la cadena pueda ocasionar en el fondo del mar.

En las zonas donde el fondo del mar es rocoso y accidentado existe la posibilidad de que la cadena de amarre quede atrapada en los afloramientos rocosos. Si el amarre proyectado es intermedio o amarre flojo, puede que parte de la cadena en el fondo del mar quede enganchada en una roca acortando así la longitud del amarre. En este caso las cargas ejercidas sobre la cadena y la boya aumentarán, posiblemente hasta el punto de rotura. Se puede minimizar dichos problemas diseñando el fondeo como amarre tenso.

En el caso del amarre tenso (Véase la Figura 5) la cadena de amarre se une con el muerto formando un ángulo cuando las cargas máximas del viento y de las mareas se ejercen sobre la boya. En tal caso, el muerto se verá sometido a una componente vertical de la carga del amarre. En estos casos, hará falta un muerto más grande para mantener la boya en su lugar de fondeo.

Ya se puede calcular el tamaño de la cadena y la longitud y el peso del muerto para el radio de borneo que se necesita en el lugar de fondeo de la boya. Es preciso comprobar los resultados de nuevo para garantizar que la flotabilidad de la boya sea suficiente para soportar este amarre en las peores condiciones ambientales.

Existen las siguientes fórmulas para realizar este cálculo de amarre.

3.3.1.4.1 Cargas de Amarres Tensos

Para la carga vertical del amarre sobre el muerto:

$$T_{v0} = \frac{pgH\sqrt{4T_{h0}^2 + (pgL)^2 - (pgH)^2}}{2\sqrt{(pgL)^2 - (pgH)^2}} - \frac{pgL}{2}$$

Siendo

- T_{v0} *la tensión vertical del amarre en su punto de unión con el muerto en Newtons,*
- T_{h0} *la tensión horizontal de amarre en su punto de unión con el muerto en Newtons (igual a la tensión horizontal de amarre en su punto de unión con la boya cuando la tensión horizontal se transmite íntegramente por el amarre),*
- p *la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.*
- H *la máxima profundidad del agua en m, que debería incluir la altura de la ola*
- L *la longitud del amarre en m.*

3.3.1.4.2 Tamaño de Cadena para los amarres tensos

Para la resistencia de cadena

$$R_c \geqslant 5(pgH + \sqrt{T_{h0}^2 + T_{v0}^2})$$

Siendo

- R_c *la carga de prueba de la cadena en Newtons.*
- p *la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.*
- H *la máxima profundidad del agua en el lugar de fondeo en metros, que debería incluir la altura de la ola*
- T_{h0} *la carga horizontal ejercida por la boya, que es igual a la carga horizontal de amarre en el muerto en Newtons.*
- T_{v0} *la carga vertical ejercida por el peso (en el agua) de la cadena más la carga vertical ejercida sobre el muerto en Newtons*
- g *la aceleración debido a la gravedad en m/s²*

El factor de seguridad de 5 tiene en cuenta la carga cíclica constante a la que la cadena se ve sometida.

3.3.1.4.3 Reserva de flotabilidad para los amarres tensos

Para la reserva de flotabilidad

$$R_b = U - \frac{M_b + m_c L + \frac{T_{v0}}{g}}{\rho_w}$$

Siendo

- R_b *el volumen de la reserva de flotabilidad en m³,*
- U *el volumen total del flotador en m³,*
- M_b *la masa de la boya en Kg,*
- mc *la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.*
- L *la longitud en suspensión del amarre en m,*
- T_{v0} *la tensión vertical del amarre en su punto de unión con el muerto en Newtons,*
- g *la aceleración debido a la gravedad en m/s²,*
- ρ_w *la densidad del agua Kg/m³ (igual a 1024 Kg/m³ para el agua salada).*

3.3.1.4.4 Radio de Borneo para un amarre tenso

Para el radio de borneo del amarre tenso:

Nota: el máximo radio de borneo ocurre cuando el nivel del agua está en su punto más bajo. Comprueba que el amarre sigue tenso en estas condiciones.

$$R_m = \frac{T_{h0}}{pg}\cosh^{-1}\left(\frac{pgH_m}{T_{h0}} + \frac{\sqrt{T_{h0}^2 + T_{v0}^2}}{T_{h0}}\right) - \frac{T_{h0}}{pg}\sinh^{-1}\left(\frac{T_{v0}}{T_{h0}}\right)$$

Siendo

- R_m *el radio de borneo en metros,*
- H_m *la mínima profundidad en el lugar de fondeo en metros,*
- T_{h0} *la tensión horizontal de amarre de la boya en su punto de unión con el muerto en Newtons,*
- T_{v0} *la tensión vertical de amarre de la boya en su punto de unión con el muerto en Newtons, calculada mediante la fórmula (5) con la profundidad mínima*
- p *la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.*

3.3.2 Peso del Muerto

Una manera muy sencilla de calcular el peso del muerto consiste en tener en cuenta solamente los efectos del rozamiento con el fondo del mar (sin tener en cuenta los efectos del 'soterramiento' y el 'atrapamiento por las rocas').

Bajo dichas hipótesis, el peso mínimo del muerto se calcula con la formula:

$$M \geqslant K\frac{T_{h0}\,\delta}{g\,(\delta - \rho_w)\tan\phi} + \frac{T_{v0}}{g}$$

Siendo:

- M *la masa del muerto en Kg.*
- K *un coeficiente de seguridad (generalmente igual a 1.5)*
- T_{h0} *la tensión horizontal de amarre en el punto de unión con el muerto en Newtons,*
- T_{v0} *la tensión del amarre vertical en su punto de unión con el muerto en Newtons,*
- δ *la densidad media del muerto en Kg/m^3 (generalmente igual a 2.400 Kg/m3 para un muerto de hormigón armado y 7.800 kg/m^3 para uno de hierro fundido),*
- g *la aceleración debido a la gravedad en m/s²,*
- ρ_w *la densidad del agua Kg/m^3 (igual a 1024 Kg/m^3 para el agua salada),*
- ϕ *el ángulo de rozamiento interno del fondo del mar (depende del tipo de suelo en el lugar de fondeo), 45° (0.7855 en radián) es una aproximación práctica que puede emplearse en la mayoría de los casos. Un ángulo de rozamiento más bajo puede darse en el caso de ciertos fondos de gravas y en fondos de caliza. La información relevante puede encontrarse en los libros de texto de la ingeniería.*

3.3.2.1 Peso del Muerto para los Fondeos intermedios y Amarres Flojos

En el caso de los Fondeos intermedios o los Amarres Flojos, la tensión vertical del amarre en su punto de unión con el muerto es igual a cero, y por tanto, se puede simplificar la relación anterior:

$$M \geqslant K\frac{T_{h0}\,\delta}{g\,(\delta - \rho_w)\tan\phi}$$

3.3.3 Muertos Enterrados

Debe tenerse en cuenta que los muertos, a menudo acaban enterrados en la arena o los sedimentos en el fondo del mar. Para recuperar el muerto, el barco de mantenimiento tendrá que levantar la cadena de amarre y liberar el muerto del fondo del mar .

Con las siguientes formulas empíricas se obtiene una estimación de la máxima carga que se pudiera encontrar:

$$H_c \geqslant 2\mathrm{M}\frac{\delta - \rho_w}{\delta} + H_m m_c$$

Siendo

- H_c *la capacidad de elevación del barco de mantenimiento (probablemente un buque balizador) en Kg,*
- M *la masa del muerto en Kg,*
- δ *la densidad media del muerto en Kg/m^3 (generalmente 2,400 Kg/m3 para un muerto de hormigón armado y 7.800 Kg/m^3 para uno de hierro fundido),*
- ρ_w *la densidad del agua Kg/m^3 (igual a 1.024 Kg/m^3 para el agua salado),*
- H_m *la profundidad del agua cuando se levanta el amarre (se suele tener en cuenta la máxima profundidad en el emplazamiento) en m.*
- m_c *la masa sumergida por unidad de longitud de la cadena (masa menos la flotabilidad de la cadena) en Kg/m.*

Véase ANNEX 3: Ejemplo de los cálculos del fondeo para una de las boyas estándar del Servicio Francés.

3.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE FONDEO CON CADENA

Los componentes que se necesitan para montar un sistema de amarre o tren de fondeo son:

- Cadena;
- Grilletes;
- Eslabones Giratorios;
- Muertos o anclas.

Para minimizar el desgaste y la corrosión electrolítica, es preciso que todos los componentes (muerto y los ojos del ancla incluidos) se fabriquen con materiales de la misma calidad.

3.4.1 Cadena

El tamaño de la cadena se define por el diámetro de la barra que forma los eslabones de la cadena. No obstante, se han determinado varias longitudes de los eslabones de cadena en función de los procesos locales de fabricación, las normas nacionales y las exigencias operacionales.

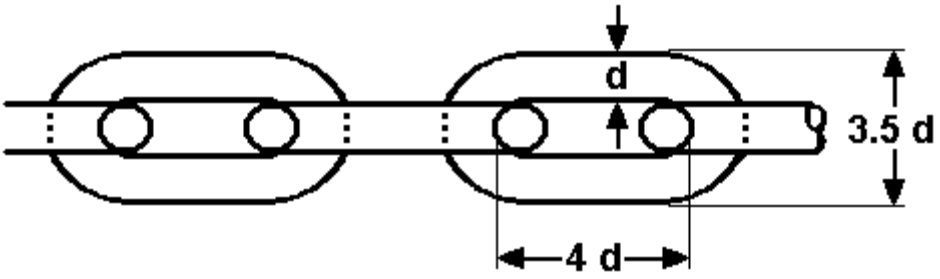


Figura 6 Cadena 4d

Las proporciones del eslabón de la cadena se definen como la relación entre el diámetro de la barra y la longitud interior del eslabón de la cadena.

Cada Servicio debería acordar una relación dimensional con el proveedor y el fabricante, que permitirá la utilización de sus grilletes tipo y otras conexiones tipo para la cadena.

Ejemplos de las relaciones que se emplean en la actualidad son:

- Francia 3d, 4d y 5d;
- Reino Unido 4d;
- Países Bajos 5d;
- Alemania 9d.

Las cadenas que tienen eslabones más cortos necesitan más eslabones por tramo. Pesan más, y por tanto podrían resultar más caras, pero es más fácil manipularlas con un cabrestante. No obstante, puede que los eslabones no tengan el tamaño suficiente como para recibir un grillete de unión, y puede que se necesiten eslabones finales alargados en cada tramo de cadena.

Para las cadenas con eslabones más largos puede no ser necesario un eslabón final alargado para introducir un grillete de unión. En estos casos se pueden cortar tramos largos de cadena hasta la longitud exigida para un amarre en concreto. Es más fácil manipularlas con un gancho y permiten que un solo tamaño de gancho en el equipo de levantamiento se utilice para varios tamaños de cadena. Asimismo, existe menos riesgo de 'anudamiento'.

Es preciso tener en cuenta no solamente el método empleado para manipular la cadena sino también las dimensiones del cabrestante que manipula la cadena en los barcos de mantenimiento si se van a emplear distintas longitudes de eslabón.

3.4.1.1 Materiales utilizadas en la fabricación de una Cadena

Las cadenas se fabrican a partir de calidades de acero que resultan aptas para crear la forma de un eslabón y que pueden soldarse de manera fiable. Existen varios aceros de este tipo que proporcionan diversas combinaciones de resistencia, dureza, resistencia al desgaste y precio. Un tipo de acero podría tardar en desgastarse pero no ser resistente a la corrosión o viceversa. En general, se debe encontrar un compromiso en la calidad del material que minimice tanto el desgaste como la corrosión, y todo a un precio aceptable.

Los aceros con un alto contenido de carbón (0,2%) y un alto contenido de manganeso (1,5%) se han demostrado muy eficaces para las cadenas de amarre de las boyas. Se debe recordar que los grados U de Lloyd y los grados DIN alemanes se basan en la resistencia de la cadena y no especifican un grado de acero en concreto. Por tanto no indican el rendimiento de la cadena en cuanto a su desgaste se refiere. Se recomienda que las autoridades nacionales especifiquen qué acero ha de emplearse en la fabricación de su cadena.

Las cadenas pueden ser tratadas térmicamente para reducir la concentración de puntos débiles debidos a los procesos de moldeado y soldadura y para mejorar la resistencia de la cadena. No obstante, algunas Autoridades consideran aceptable una cadena no termotratada fabricada a partir de acero bajo en carbono y por tanto más económico.

En el Cuadro 1 se puede ver el acero utilizado por las Autoridades de los Países Bajos. Es un acero aceptable de alto rendimiento para cadenas de amarre. La cadena termotratada en este ejemplo ha sido templada y revenida.

Tabla 1 *Acero Típico de Cadena*

Material	Min %	Max %

Aluminio	0,015	0,025
Carbono	0,25	0,26
Cromo	0,20	0,30
Cobre	-	-
Manganeso	1,40	1,60
Molibdeno	0,10	1,20
Níquel	0,20	0,30
Fósforo	-	0,02
Silicio	0,20	0,35
Azufre	-	0,02
Vanadio	0,08	0,12

3.4.1.2 Acabado de la Cadena

Según algunas Autoridades la cadena necesita una capa protectora contra la corrosión cuando la cadena se encuentra almacenada antes de utilizarse.

3.4.1.3 Especificaciones y Homologación

La especificación debería incluir información sobre el material que se va a emplear para realizar la cadena, el tratamiento térmico, las dimensiones de la cadena acabada y las propiedades mecánicas del material y de la cadena terminada. Deberá incluir también la información sobre los procedimientos de ensayo y los procesos de certificación, para que el comprador pueda demostrar que la cadena cumple con la especificación. Asimismo debería incluir medios de identificación para cada tramo individual de cadena.

Mediante la utilización de dicha especificación, una Autoridad puede comprar cadenas de la misma calidad que funcionarán de la misma manera cuando se pongan en servicio.

3.4.2 Amarre en Y o pata de gallo

Un amarre en pata de gallo está compuesto por dos tramos de cadena idénticos engrilletados a las asas de amarre de la boya. Algunos de estos amarres se diseñan para que tengan una longitud suficiente como para pasar por debajo del faldón o cola tubular de la boya. Otros son más cortos, y se diseñan para apoyarse contra el tubo de la cola, dándose así más estabilidad a la boya. Cuando se emplean estos enganches más cortos, en general se instala en el tubo de la cola un dispositivo para impedir que el enganche ocasione desgaste por rozamiento

Existen varias maneras de unir las "patas" de la cadena: mediante un eslabón circular, un eslabón triangular, una placa triangular con tres agujeros o un solo grillete. A partir de la conexión central, las patas puede unirse directamente a la cadena de amarre, o se puede incorporar un eslabón giratorio.

Tradicionalmente, los componentes se montan durante el proceso de fabricación de la cadena. Los eslabones de conexión se forjan hasta que tengan la forma adecuada y después se sueldan. Así que es posible efectuar ensayos sobre el conjunto y certificarlo de una manera parecida a la cadena. Si se montaran los componentes in situ no se podría efectuar pruebas sobre la pata de gallo terminada. Además, no es siempre posible utilizar un grillete con la misma resistencia que la cadena si las dimensiones de los eslabones de la cadena así lo impiden. Se suele considerar que las conexiones engrilletadas resultan menos fiables que los eslabones de cadena sometidos a todas las pruebas.

3.4.3 Grilletes

El grillete es el dispositivo que más se emplea para unir el fondeo a la boya, y para unir los demás componentes del fondeo.

Como mínimo, la resistencia del grillete ha de ser igual a la resistencia de la cadena en cuestión. Así que, es probable que el diámetro del arco del grillete sea más que el "tamaño" de la cadena que se está uniendo. En este caso, puede ser necesario que la cadena esté provista de eslabones finales alargados para acomodar los grilletes de unión.

El hecho de que cuando se habla del "tamaño" de un grillete, se puede estar refiriendo al tamaño de la cadena donde se instala o al diámetro del perno o pasador del grillete causa cierta ambigüedad y confusión. Es preciso ver las normas de la zona para garantizar que los tamaños se definen correctamente.

Se utilizan los siguientes tipos de grilletes / conectores:

- Grilletes de chaveta;
- Grilletes remachados;
- Grilletes de perno con tuerca;
- Grilletes de perno roscado;
- Grillete Kenter;
- Unión de zafado rápido;

3.4.3.1 Grilletes de Chaveta

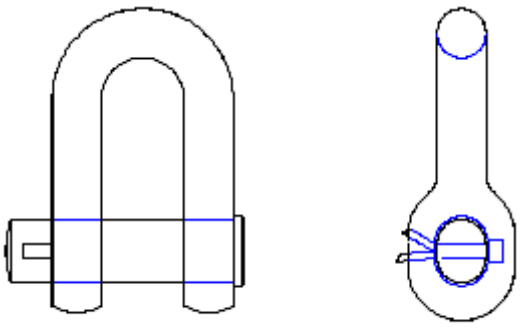


Figura 7 Grillete de chaveta con pasador ovalado

El grillete de chaveta es un tipo muy fiable y fácil de usar. Se puede fabricar de un tamaño y de una forma tal que se adapte a los componentes a los que conecta y tiene una chaveta para asegurar el perno o pasador. La ventaja que tiene este tipo es que la chaveta es el componente que menos tensión tiene que soportar. No obstante, no se deberían utilizar estos grilletes en la zona de borneo del tren de fondeo, porque con los movimientos de la cadena, la clavija podría soltarse o desgastarse.

La sección del perno o pasador puede ser redonda u ovalada. Es más fácil fabricar los pasadores redondos pero son propensos a girar en servicio, sometiendo a la chaveta y a los ojos del grillete a desgaste. Aunque resultan más caros, los pasadores ovalados no padecen dicho problema.

3.4.3.2 Grilletes remachados ("*Heat & Beat*" – Estados Unidos)

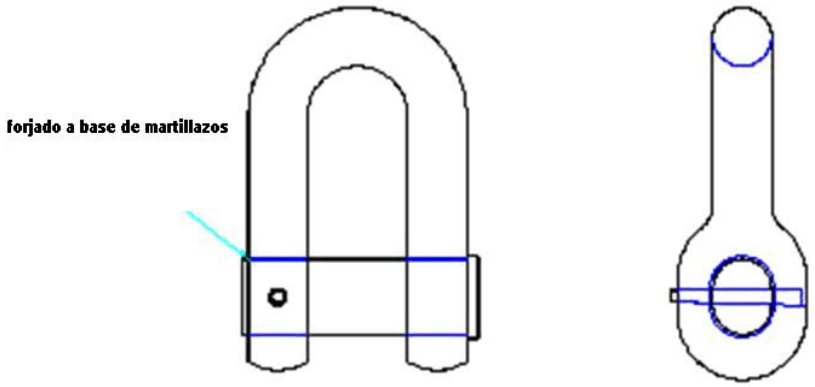


Figura 8 Grillete cerrado con pasador ovalado

El grillete remachado es el método más fiable de unir tramos de cadena, y resulta muy útil en la zona de borneo. El extremo del perno se ensancha a base de martillazos (forjado) para impedir que se salga durante uso.

Las desventajas estriban en que es necesario aplicar mucho calor al perno hasta que tenga una temperatura apta para forjar, después de esto ya no se puede reutilizar el perno. En vez de forjar, se puede soldar el extremo del perno al ojo del grillete, pero en este caso no se puede reutilizar ni el perno ni el grillete. Es imprescindible emplear la varilla de soldar propicia para evitar la corrosión electrolítica. Es muy difícil conseguir una soldadura de buena calidad en la cubierta de un buque.

3.4.3.3 Grilletes de perno con tuerca

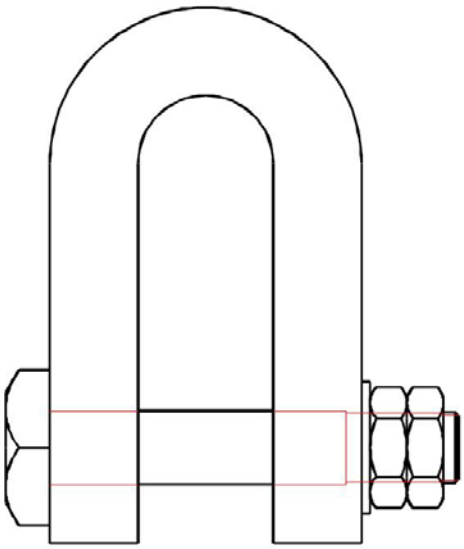


Figura 9 Grillete de Perno

El grillete de perno con tuerca tiene un perno redondo sujeto por una o dos tuercas. Si se emplea una sola tuerca es preciso utilizar un pasador de aletas o una chaveta para sujetar la tuerca. A las Autoridades que deciden utilizar estos grilletes les puede resultar aconsejable soldar las tuercas y los pernos *in situ*.

Un inconveniente con este grillete es que el perno redondo pueda girar dentro de las asas del grillete ocasionando un desgaste rápido. Además, la tuerca podría aflojarse en servicio por

abrasión contra el fondo del mar o los movimientos de la cadena de amarre. Por todos estos motivos, no es recomendable utilizar este grillete en la zona de borneo

3.4.3.4 Grilletes de perno roscado

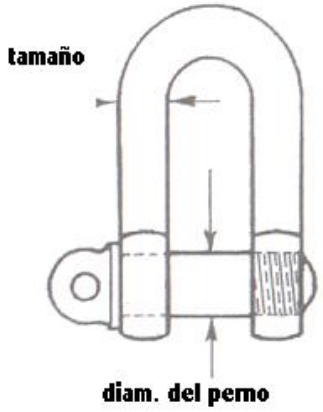


Figura 10 Perno Roscado

No se deben utilizar en los amarres permanentes o en la zona de borneo, porque si el perno del grillete gira, fallará el grillete.

3.4.3.5 Grilletes Kenter

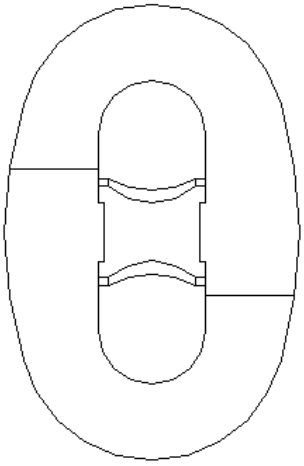


Figura 11 Grillete Kenter

Se emplean frecuentemente en los amarres de buques pero no se suelen utilizar en los amarres permanentes, porque se deshacen debido al desgaste y la corrosión.

3.4.3.6 Unión de zafado rápido

Existen muchos tipos, uno de los cuales se puede ver a continuación. Se pueden emplear cerca de la boya, donde el amarre siempre se encuentra tenso, si es necesario desconectar el amarre con frecuencia o rápidamente.

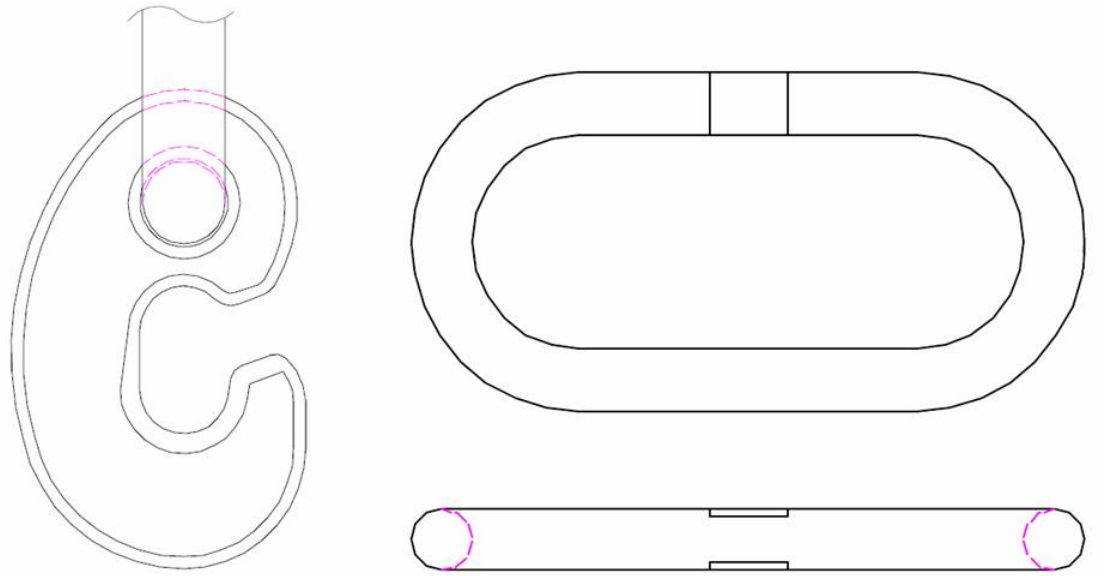


Figura 12 Gancho "G" y eslabón de unión

3.4.4 Eslabones Giratorios

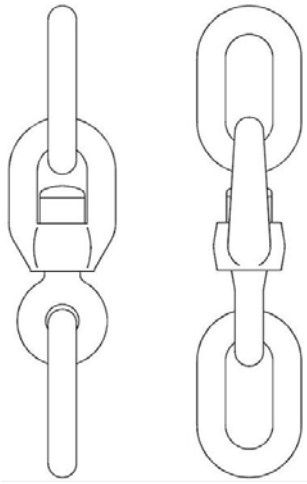


Figura 13 Eslabón Giratorio

Un eslabón giratorio facilita la unión entre dos tramos de cadena sin que se transmita un par de torsión de un tramo al otro.

Al girar por su eje, la boya somete la cadena a un par de torsión. Puede que la cadena "se anude" a consecuencia, lo cual podría tener un impacto negativo en la capacidad de flotación de la boya. En estos casos se puede insertar uno o más eslabones en el amarre. Se suele colocar un eslabón giratorio entre la cadena de cola o el enganche y la cadena de ascenso.

La experiencia ha demostrado que es preciso seguir y controlar la calidad de los eslabones giratorios para asegurar que su resistencia y su vida útil sean parecidas a las de los demás componentes del amarre. Han de fabricarse con el mismo material que la cadena.

Puede que los eslabones giratorios se agarroten a consecuencia de la corrosión, el desgaste y/o una acumulación de fauna marina. Se recomienda una revisión y limpieza con regularidad si la acumulación de fauna marina resulta excesiva.

3.4.5 Muertos

La experiencia ha demostrado que los muertos son capaces de mantener las boyas en sus ubicaciones designadas. No proporcionan ni la resistencia ni la capacidad de sujetar que tienen las anclas del mismo peso, pero tienen la ventaja de que proporcionan la misma resistencia independientemente del sentido de aplicación de la carga del fondeo.

Los muertos pueden fabricarse a partir del hormigón, hierro fundido, roca o cadena usada.

Aunque la mayoría de las Autoridades utilizan los muertos, en algunos casos se necesitan anclas para resistir las altas cargas del fondeo. Por ejemplo, LANBYS (LNBs) emplean una combinación de muertos y anclas en los lugares de fondeo expuestos. Asimismo las anclas se pueden utilizar para las señales flotantes en los ríos donde el sentido de la corriente es constante. El ancla se queda enterrada en el cauce porque la carga transmitida desde la boya siempre viene en el mismo sentido.

El peso muerto efectivo será igual al peso muerto en tierra menos el peso del desplazamiento del agua.

3.4.5.1 Muertos de hormigón

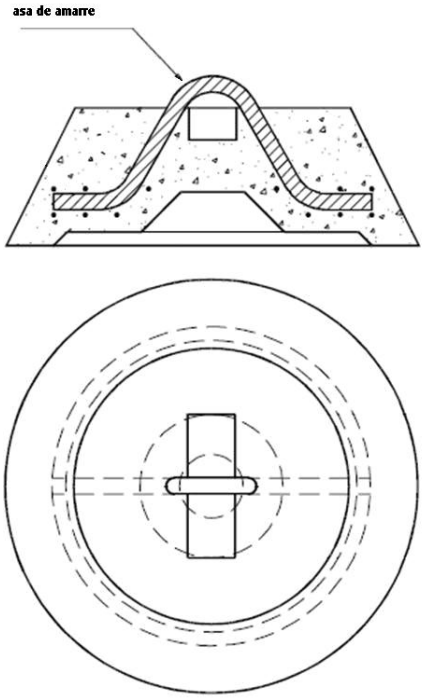


Figura 14 Muerto de Hormigón

Su precio no es excesivo y su uso está muy extendido. Se fabrican echando el hormigón en un molde de forma adecuada junto con una anilla metálica embutida en el hormigón para acoplar la cadena de amarre. Los muertos de hormigón pueden fabricarse empleando mano de obra y materiales de la misma zona. No obstante, son bastante más grandes que los muertos de hierro fundido del mismo peso sumergido y por tanto ocupan mucho espacio en el almacén o en la cubierta del buque balizador. Es preciso cuidar todos los aspectos de su fabricación para garantizar que no se deshagan y para que el asa de amarre no se salga. Hay que controlar con cuidado la calidad del hormigón para que tenga la densidad indicada. Se puede mejorar la densidad incorporando cadena de chatarra en el hormigón. Asimismo se puede añadir la hematita como material inerte para aumentar la densidad del hormigón.

Se suele fabricar la anilla metálica del muerto de acero con aproximadamente 0.3% de carbono esto da una buena resistencia a la abrasión. Las barras de acero de la armadura no suelen ser aptas para las anillas de amarre.

Véase el ANNEX 4 para información sobre la fabricación de los muertos empleados por los servicios de los EE.UU., el Reino Unido y Francia.

3.4.5.2 Muertos de Roca

Se puede hacer otro tipo de muerto empotrando una anilla de amarre o cáncamo en una roca o una piedra grande. Pueden servir si abundan en la zona piedras densas de tamaño adecuado. No obstante, resulta muy difícil evaluar el estado de rocas o piedras aisladas y podrían romperse en servicio.

3.4.5.3 Muertos de hierro fundido

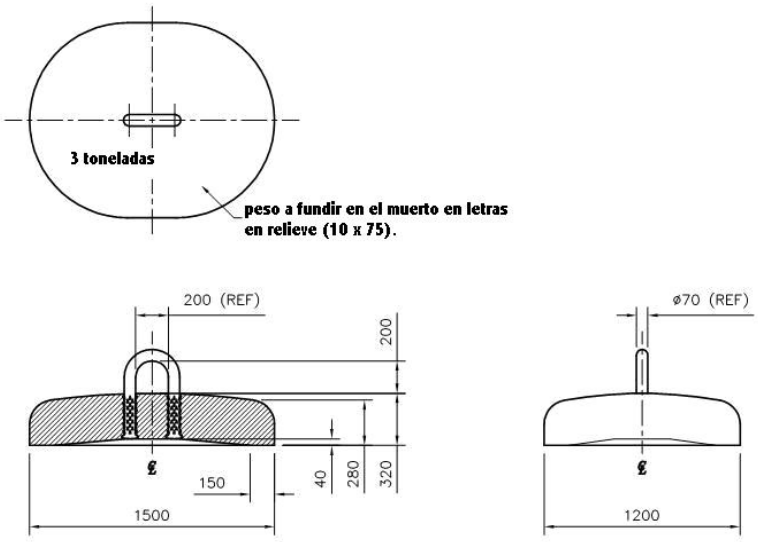


Figura 15 Muerto de hierro fundido de 3 toneladas de Trinity House

Los muertos más caros pero más duraderos se fabrican de hierro fundido. Comparados con los de hormigón, su densidad es aproximadamente 3 veces superior.

Los muertos de hierro fundido son robustos y es posible reparar o sustituir el asa de amarre.

Si el amarre tiende a quedarse inundado en la arena, es más fácil extraer un muerto de hierro fundido que uno de hormigón, porque sus dimensiones son reducidas. No obstante, si se pierde un muerto de este tipo resultará más caro sustituirlo que sustituir un muerto de hormigón.

Los muertos de hierro fundido existen en muchas formas. Puede ser más económico utilizar hierro fundido de chatarra si existe en tamaños adecuados. Véase el Apéndice 4 para las dimensiones de distintos tamaños de muertos de hierro fundido.

3.4.5.4 Amarres Fijos

En circunstancias especiales se pueden emplear puntos de amarre anclados al fondo del mar o río. Se pueden hincar pilotes en el fondo del mar para crear un punto de sujeción para el amarre y se puede unir las asas de amarre directamente a los cauces fluviales si existe roca sana en el fondo.

3.5 Desgaste y corrosión de amarres

Los dos factores principales que inciden sobre la vida útil de un sistema de amarre son el desgaste y la corrosión Existe una interrelación entre los dos factores puesto que la corrosión produce la aceleración de los procesos de desgaste.

El rendimiento de la cadena de amarre depende en gran medida de las especificaciones del acero y debe tenerse en cuenta una cantidad aceptable de desgaste durante la vida útil del amarre.

3.5.1 Corrosión

La oxidación, la acción electrolítica y la contaminación pueden acortar la vida útil de un tren de fondeo. La oxidación ocurre tanto en la tierra como en el mar. La acción electrolítica es consecuencia de las diferencias que existen entre los componentes de un amarre. Se debe a la utilización de metales distintos en un mismo fondeo sumergidos en un electrólito común, en este caso el agua. Se manifiesta en forma de picaduras cerca de y sobre las soldaduras de los eslabones de las cadenas y sobre la cadena en cada lado de los grilletes de unión, en un tramo de entre 1 y 2 metros. Se puede minimizar la acción electrolítica si se fabrica el cuerpo de la boya y todos los componentes metálicos del amarre de la misma calidad de acero. Las aguas contaminadas influyen sobre el grado de corrosión por picadura. Se suele observar en la parte suspendida de la cadena de amarre y a veces en los faldones de las boyas de acero.

3.5.2 Desgaste

Hasta cierto punto el desgaste depende principalmente de la calidad de los materiales utilizados para fabricar el amarre. Asimismo, las condiciones del entorno influyen sobre el nivel de desgaste, sobre todo:

- El tipo de fondo del mar;
- La cantidad de arena transportada en el agua;
- Las mareas;
- La profundidad del agua;
- Aguas abrigadas o mar libre;
- Condiciones meteorológicas.

El amarre no puede modificar estas condiciones, solo puede reaccionar frente a ellas.

Se puede apreciar una reducción en el diámetro de la barra en el punto de contacto entre los eslabones. Esto puede ser ocasionado bien por el desgaste a consecuencia del movimiento entre los eslabones o por una deformación localizada del metal debido a los esfuerzos producidos por los “tirones repentinos” de la cadena. Asimismo, estos tirones pueden alargar los eslabones.

En las zonas donde el fondo del mar es arenoso, sobre todo durante el mal tiempo y cuando hay corrientes mareales fuertes, se puede esperar un alto nivel de transporte de sedimentos. En estas condiciones los componentes del amarre se verán afectados por la abrasión.

La zona de borneo del amarre es donde se encuentra el mayor desgaste porque siempre se está moviendo. Se puede detectar un nivel importante de desgaste hasta en las aguas con una carrera de marea reducida, donde solo una pequeña parte de la cadena de amarre se desplaza sobre el fondo del mar. Para tener en cuenta este desgaste adicional, se suele emplear un tamaño de cadena más grande en la zona de borneo.

3.6 VIDA ÚTIL

En general, la vida útil de la cadena oscila entre 1 y 5 años, pero en las aguas abrigadas con muchos limos, pueden durar hasta los 20 años. Cuando las cadenas han sobrepasado su vida útil se suelen desguazar o se les bajan de categoría para que se puedan emplear en otros emplazamientos, o se puede trasladar las partes desgastadas de la cadena a otra parte del tren de fondeo que se ve sometida a menos desgaste. En general, se toma la decisión de dar a una cadena de baja cuando el diámetro en cualquier punto de un eslabón se ha quedado reducido a un porcentaje predeterminado de su tamaño inicial: para algunas Autoridades un 60% es el valor para las boyas en los canales y ríos, y un 85% en el mar libre y en las zonas no abrigadas.

Se suelen llevar a cabo inspecciones para determinar el estado de la cadena a intervalos que oscilan entre 6 y 24 meses. La frecuencia depende de los factores de seguridad incorporados en él y de las condiciones ambientales en el emplazamiento AtoN. La experiencia nos dirá si las inspecciones deberán efectuarse con más o menos frecuencia en un lugar de fondeo determinado. Un régimen de inspección que incluye aspectos de mantenimiento preventivo puede

permitir un margen de desgaste mayor o menor. Dicho régimen debe tener en cuenta el índice de desgaste y el desgaste esperado para la sección. Por tanto, es preciso mantener un registro detallado como parte del proceso de inspección.

Es preciso mantener un registro detallado de todas las especificaciones dimensionales y materiales para poder estimar de manera fiable, el desgaste previsible de todos los componentes del amarre. Dichas especificaciones tienen importancia sobre todo a la hora de planificar el mantenimiento. Solo será posible utilizar la experiencia adquirida en cuanto a la vida útil de un conjunto de amarres y el mantenimiento necesario y aplicarla en el futuro para reparar y sustituir amarres semejantes, si se puede comprar cadenas, grilletes y otros componentes de la misma calidad en el futuro. Si se someten los distintos componentes de los sistemas de amarre a un proceso de homogenización habrá ventajas por la disminución de costes y almacenamiento de componentes.

Es importante recordar que las certificaciones que se suelen citar para los fabricantes de cadenas para buques mercantes, según establecen las sociedades de clasificación, solo se refieren a la resistencia al choque de la cadena y su resistencia a la rotura, y no dan datos sobre el desgaste y la resistencia a la corrosión. Los buques no suelen pasar mucho tiempo fondeados, y por tanto el desgaste de las cadenas es mínimo, y pasa lo mismo con la corrosión. A menudo, la vida útil de la cadena es la misma que la del buque, o solo se sustituye si ha sido sobrecargada.

Véase IALA Directriz No. 1040 sobre “El mantenimiento de boyas y pequeñas estructuras de AtoN”.

4 AMARRES CON CABO

4.1 Amarres de Boya de Cabo

Los beneficios principales de los amarres de cabo cuando se comparan con los de cadena, son su peso reducido y su elasticidad. El cabo moderno tiene la misma resistencia que una cadena de acero y se ha demostrado que su vida útil es la misma que la cadena o incluso más larga si se toman medidas para evitar el rozamiento.

El amarre de cadena convencional utiliza la catenaria de la cadena para absorber gran parte de la energía del viento y de la ola ejercida sobre la boya, impidiendo así que se transmita al muerto o al ancla. La elasticidad del cabo tiene una función parecida y si se elige una combinación adecuada de tipo de fibra y construcción del cabo se puede optimizar dicha absorción de energía.

El rozamiento y el corte son los riesgos principales para un amarre de cabo. Es fácil demostrar que una navaja afilada puede dañar el cabo y cualquier roca o concha con aristas vivas e incluso el cabrestante del buque puede causar daños permanentes en su superficie. Si se permite que el cabo se deslice sobre el tambor de un cabrestante o si se pasa por un guiacabos no adecuado puede verse sometido no solamente a daños por abrasión sino también a un calentamiento localizado hasta tal punto que las fibras superficiales se fundan y debiliten. Asimismo, las partículas de arena en suspensión en el agua pueden dañarle y tener un impacto negativo sobre la carga de rotura. En las zonas donde existe un nivel alto de flora y fauna marina, el cabo puede atraer plantas y moluscos, que elevan la resistencia del amarre a niveles inaceptables en zonas de corrientes rápidas.

4.2 Diseño del Amarre

El amarre ha de dimensionarse de tal forma que el cabo nunca entre en contacto ni con el cuerpo de la boya o el tubo de la cola, ni con el fondo del mar (aunque esto no suele ser un problema en zonas de fondo blando y de barro).

Se puede cumplir con estos criterios en un amarre de boya normal utilizando una cadena de fondo que absorba el desgaste en el fondo del mar, a la que se une un cable ascendente “cabo flotante”. Se pueden añadir flotadores para mantener al cabo por encima del fondo. Los flotadores pueden emplearse así en zonas sensibles desde un punto de vista ambiental. El componente cable ascendente “cabo flotante” del amarre es de una longitud que impide que el cabo roce contra el fondo del mar incluso durante las mareas más bajas.

Se puede unir el cabo directamente a la boya si el asa de amarre se encuentra en una posición adecuada que garantice que el cabo nunca entre en contacto con la boya.

En otros casos, se puede emplear un pequeño tramo de cadena (o una pata de gallo en el caso de dos asas de amarre) para evitar cualquier roce.

En zonas de pesca comercial, existe el riesgo de que los cables de arrastre corten el cabo. Se podría emplear cadena en la parte del amarre que pudiera estar expuesto a dicho riesgo.

4.3 Tamaño del cabo

La decisión respecto al tamaño de cabo a emplear dependerá de la carga ejercida por la boya debido a la acción del viento y las olas, la velocidad del agua y la fuerza que se necesita para subir el muerto (o el ancla).

Un cabo cuya resistencia es igual a dos veces la capacidad de elevación del barco de mantenimiento podría servir de orientación a la hora de seleccionar el cable a emplear, para tener en cuenta las situaciones en las que el muerto está enterrado.

El fabricante del cabo ha de proporcionar información pormenorizada sobre las propiedades de absorción de energía y de su carga de trabajo admisible.

El método a emplear para manipular el cabo es otro factor que puede determinar el tamaño de éste.

El usuario ha de ser consciente del peligro que supone el alto nivel de energía que se acumula dentro de un cabo elástico bajo carga, y que puede liberarse repentinamente si se rompe. Por tanto, el personal ha de tomar medidas de seguridad adecuadas cuando trabajan con un cabo bajo carga.

4.4 Fabricación del cabo

Existe una gran variedad de cabos en el mercado con muchos tipos de fibras y fabricadas de muchas maneras. Ya apenas se utilizan los cabos de fibras naturales si tienen que soportar cargas. Los cabos de fibra natural tienen poca resistencia, tendrán una vida útil mucho más corta que los de fibra sintética y ya no resultan más baratos que los sintéticos.

Además, en gran medida los cabos trenzados han sustituido al cabo tradicional de tres hebras cuando las exigencias principales son una alta resistencia y una larga vida útil .

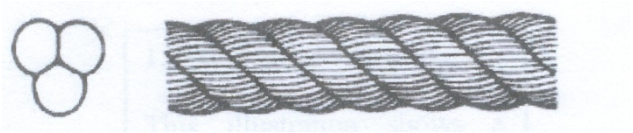


Figura 16 Construcción de tres hebras

La manera más antigua y más sencilla de fabricar un cabo es con tres hebras trenzadas. Los cabos de tres hebras son duraderos y fáciles de empalmar.

Figura 17 Construcción Multitrenza

El cabo multitrenza está compuesto por 8 hebras trenzadas en parejas, cada pareja pasa por encima de una pareja y por debajo de la siguiente. Es fácil empalmarla y las hebras son resistentes a la abrasión.

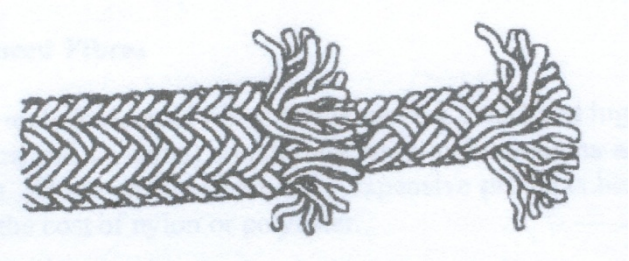


Figura 18 Construcción trenzada

En este ejemplo se puede ver un cabo con el cuerpo central trenzado encapsulado en una funda trenzada. Para éste, también se pueden emplear cabos de tres hebras. Se pueden crear cabos para distintas situaciones y funciones variando la forma de construir la funda y el cuerpo central. Con este tipo se puede conseguir las mejores resistencias, pero resulta difícil empalmar el cabo.

Se puede construir cada hebra interna del cabo de varias maneras. Es preciso leer la información de fabricante con detalle.

4.5 Tipos de Fibra

En la fabricación de los cabos modernos se utiliza los siguientes tipos de fibras:

4.5.1 Nylon

El cabo fabricado con nylon es muy fuerte, elástico y capaz de resistir a los golpes. No obstante, si el cabo se encuentra permanentemente sumergido en el agua, pierde algo de su resistencia debido a la absorción del agua.

4.5.2 Poliéster

Su uso está muy extendido para fabricar cabos muy resistentes y de poca elasticidad con una buena resistencia al desgaste y una larga vida. .

4.5.3 Polipropileno

Se ha utilizado por ser barato, para uso general, es un cabo que flota. No obstante, los últimos avances en la fabricación y construcción de los cabos han creado productos de rendimiento moderado, que resultan menos caros que el nylon o el poliéster.

4.5.4 Fibras Avanzadas

Entre estas fibras se incluyen las fibras Aramid (de la marca Kevlar) y el polietileno de alto módulo (HMPE, de las marcas Spectra, Dyneema y Vectran) que combinan una alta resistencia con poca elasticidad. La cuerda HMPE también flota. Sin embargo, son productos muy caros, su coste es aproximadamente tres veces más que el nylon o el poliéster.

Puede resultar difícil identificar los tipos de cabo porque muchas veces los fabricantes utilizan sus nombres comerciales para definir el tipo de fibra en vez de emplear sus nombres genéricos.

Es muy fácil empalmar algunos tipos de cuerda HMPE.

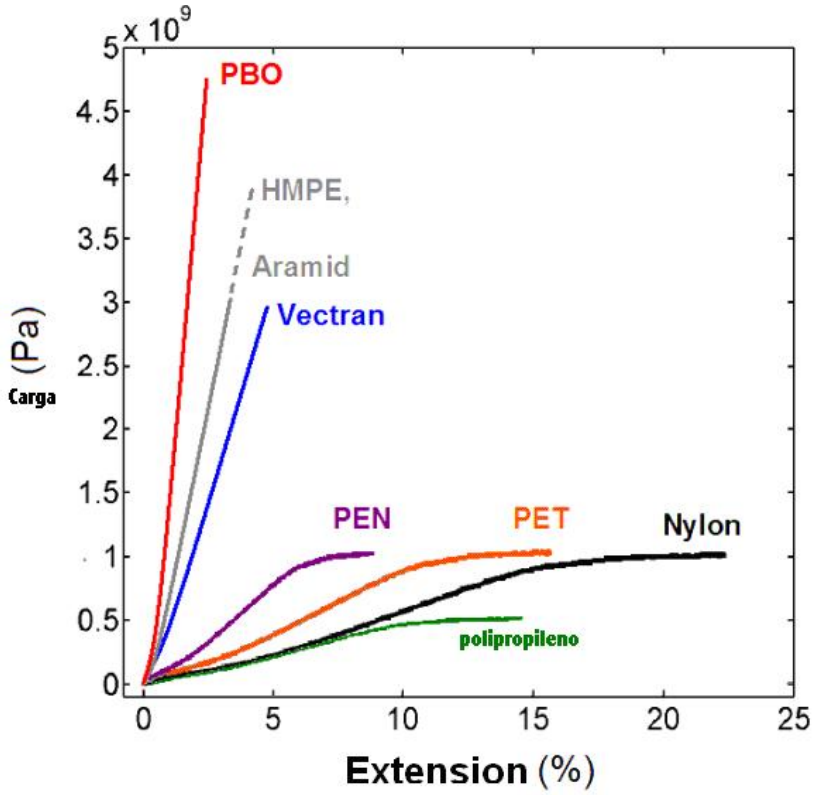


Figura 19 Comportamiento de distintos tipos de fibra bajo tracción

4.5.5 Construcción Mixta

Los cabos largos, tales como las que se emplean para los amarres de buques, se pueden fabricar empleando una mezcla de fibras para cumplir con ciertos parámetros particulares de rendimiento.

En el Apéndice 4 se pueden ver de forma pormenorizada los datos de un sistema de amarre estándar desarrollado por los Guardacostas Canadienses para amarrar boyas pequeñas (menos de medio metro en diámetro) en profundidades por encima 30 metros.

4.6 Acabados para los cabos

4.6.1 Guardacabos

La utilización de cuerda de fibra en lugar de cables de acero para remolcar y amarrar a los buques y las plataformas de petróleo ha dado lugar al desarrollo de guardacabos que permiten soportar cargas muy altas a ser engrilletados a las cadenas o las asas de amarre sin dañar a las fibras.

Dichos guardacabos envuelven toda la superficie del cabo de forma que éste queda totalmente protegido y no puede rozar contra el grillete de unión. Se pueden fabricar a partir de tubos de acero, hierro fundido o plástico de alta resistencia. Asimismo, se puede impedir que la cuerda se mueva dentro del guardacabo llenando el guardacabo con una resina flexible (normalmente poliuretano); no obstante, existen opiniones diferentes sobre la necesidad de dicho proceso

4.6.2 Empalmes

Con las técnicas modernas de fabricación (es decir, la cuerda trenzada) se puede conseguir empalmes muy resistentes cuando el cable ha sido instalada alrededor del guardacabo. Se debe tener en cuenta que es imprescindible que el fabricante facilite instrucciones sobre cómo empalmar y seguir dichas instrucciones rigurosamente para asegurarse de que gran parte de la resistencia del cabo esté en el empalme. Se necesitan unas herramientas especiales para empalmar cabos trenzados, y quienes hacen los empalmes necesitan una formación especial.

Cuando se realizan los cálculos para los amarres se debe tener en cuenta el hecho de que se pierde aproximadamente un 10% de la resistencia con los empalmes si se hacen correctamente.

4.6.3 Amarres de cable / Cadena ("Amarres Híbridos")

Una de las aplicaciones en la que más éxito ha tenido el cable ha sido para el tramo de ascenso del fondeo “riser” (Véase “Cadena suspendida” Figura 1) de los fondeos de boyas en aguas profundas. El peso más ligero del tramo de cabo permite la utilización de una boya estándar en lugares donde el peso de un fondeo compuesto exclusivamente por cadena hundiría a la boya. Como alternativa, el menor peso de un amarre de cabo podría permitir emplear una boya más pequeña comparada con el tamaño que se necesitaría para soportar un fondeo con cadena (siempre que el tamaño de la marca diurna y la altura del plano focal sean adecuados).

Es preciso evaluar cuidadosamente el diseño de la boya en cuestión para asegurarse de que la boya flota de manera adecuada si se emplea cabo para el amarre. Algunos diseños boya se basan en el peso de la cadena para lograr una estabilidad positiva.
.

Este tipo de amarre no funciona bien para aplicaciones en aguas poco profundas.

4.6.4 Fondeo con las patas en tensión

Los amarres con cabo son particularmente adecuados para las configuraciones de amarre bajo tensión tales como las boyas de pértiga y balizas elásticas, donde el amarre va directamente desde la boya al muerto y la tensión en la estacha de amarre mantiene a la boya en vertical. Cuando el cabo está tenso no existe peligro de rozamiento contra el fondo del mar o contra la boya. La ventaja de dicha configuración es que mantiene a la boya en su lugar de fondeo (es decir, no existe el “círculo de borneo”, que sí existe con un amarre convencional), pero solo resulta práctico utilizarlo en zonas donde la amplitud de la marea o las corrientes es reducida. No obstante, el muerto o el ancla de fondeo tendrá que ser bastante más grande que el de un fondeo de cadena convencional.

4.7 Manipulación cabos de fondeo

4.7.1 Utilización

En comparación con la cadena, un cabo es mucho más ligero y más fácil de manipular. Como pesan menos, las personas pueden mover los componentes de un fondeo relativamente grande tanto en tierra como en la cubierta de un barco. Se puede adujar el cabo en la cubierta (o en una caja de adujamiento). La boya se coloca en el agua, el muerto y la cadena de fondo se echan por la borda (o se sueltan cortando los cables de sujeción), y el cabo los sigue y cae dentro del agua.

La cubierta debe estar limpia y sin arena, y el borde de la cubierta tiene que ser lo suficientemente liso como para no dañar al cabo.

4.7.2 Recuperación

Si es necesario levantar el amarre para inspección o para sustituirlo, es preciso cerciorarse de que:

1 Si el cabo tiene que pasar por encima de cualquier guiacabos, éste debe tener un diámetro suficiente para el cabo en cuestión, ser del tipo “rodillo” y no tener aristas afilados.

2 El cabrestante debe ser diseñado específicamente para manipular el cabo, y ha de garantizar que el cabo no resbale sobre el tambor del cabrestante cuando está bajo carga.

Los cabrestantes convencionales que se emplean para tensar el cabo de amarre pueden ser capaces de recuperar un cabo de amarre. No obstante, hay que tener en cuenta que tienden a permitir que el cabo resbale sobre el tambor del cabrestante, lo cual provoca la generación de mucho calor en el punto de contacto entre el cabo y el tambor, causando serios daños al cabo. Se han desarrollado con éxito técnicas que emplean cabrestantes con grandes carretes donde el cabo se envuelve sobre un tambor giratorio grande. Dicha técnica se ve limitada por la longitud del cabo, y por tanto existe un límite en el número de fondeos que el tambor puede llevar simultáneamente.

Cuando se manipula gran cantidad de fondeos, el método preferido es el de emplear un cabrestante diseñado específicamente para el arrastre de cabos. Dichos dispositivos pueden

instalarse en la borda de la cubierta del buque de tal forma que el cabo puede ir directamente al cabrestante sin necesidad de un guiacabos. El cabrestante está compuesto por una configuración de ruedas de goma, que sujetan al cabo sin dañar a las fibras superficiales. El cabo suele pasar solo por un segmento de rueda de arrastre en lugar de envolverse alrededor de un tambor, por tanto se puede colocar dentro del cabrestante de arrastre o sacarlo de él según las necesidades. La ventaja de este tipo de cabrestante colocado en el borde de la cubierta es que no hay ningún cabo bajo carga cruzando la cubierta del buque, que constituiría un serio peligro si el cabo se rompiera.

Otro concepto es el de incorporar lazos de manipulación o grilletes en el cabo para que la grúa en la cubierta pueda levantar el fondeo en secciones.

El diseño que emplean la Autoridades francesas para fondeos de aguas profundas garantiza que la cadena de fondo tenga una longitud suficiente para que cuando se está recuperando la parte del fondeo hecho de cabo, la única tensión a la que el cabo se ve sometido es el peso de la cadena de fondo que se está levantando. No se notará el peso muerto hasta que todo el cabo haya sido recuperado y el buque esté levantando la parte del fondeo formado por cadena.

4.8 Seguridad

Hay que señalar que la cantidad de energía que se acumula en los tipos de cabo más elásticos cuando están bajo tensión puede ser considerable, y que esta energía se liberaría violentamente si el cabo se rompiera. Es preciso tomar medidas para cerciorarse de que no haya personas en la zona que podrían ser alcanzadas por el extremo de un cabo que se rompe.

5 AMARRES ELÁSTICOS

5.1 Introducción

Puesto que actualmente la vida útil de las boyas de navegación es más larga que antes, el desgaste de la cadena de amarre ya constituye el factor determinante a la hora de planificar la frecuencia del mantenimiento. El movimiento constante de los eslabones de la cadena y las partículas abrasivas suspendidas en el agua producen un desgaste de la cadena. Se puede minimizar dicho desgaste si se puede mantener la estacha de amarre siempre bajo tensión. La utilización de líneas de amarre totalmente elásticas logra superar este problema. Pueden proyectarse para que siempre se encuentren bajo tensión para minimizar el desgaste.

El amarre elástico es parecido al amarre con cable al que se ha referido anteriormente en esta Directriz, siendo la única diferencia el hecho de que la parte superior de la estacha de amarre la compone un tramo de cabo de elastómero (goma o similar) que absorbe la energía creada por los movimientos de la boya y que compensa las diferencias en los niveles de agua, las mareas, las olas, etc.

5.2 Construcción de los Amarres Elásticos

El cabo elástico se fabrica de goma natural sólida. Se puede alargar considerablemente y tiene una buena resistencia al desgarramiento. El cabo de goma se instala paralelamente a un cable de seguridad, que se conecta al cabo elástico son un simple nudo. Se emplean grilletes de H especiales para unir los distintos tramos de cabo.

5.3 Diseño de los Amarres Elásticos

El diseño de un fondeo elástico estará condicionado por las condiciones del mar, y el calado, del lugar de fondeo y el tamaño y la forma de la boya. Para los fondeos de cadena, se necesitan una longitud determinada, un tamaño de cadena y calidad de acero para mantener la boya en su lugar durante cierto tiempo. En el caso de un amarre elástico, las variables a tener en cuenta son que el cabo del elastómero tenga la longitud correcta, y que el diámetro de la goma y su dureza sean suficientes para permitir el alargamiento necesario para compensar por los distintos niveles de agua y para absorber la energía de la boya.

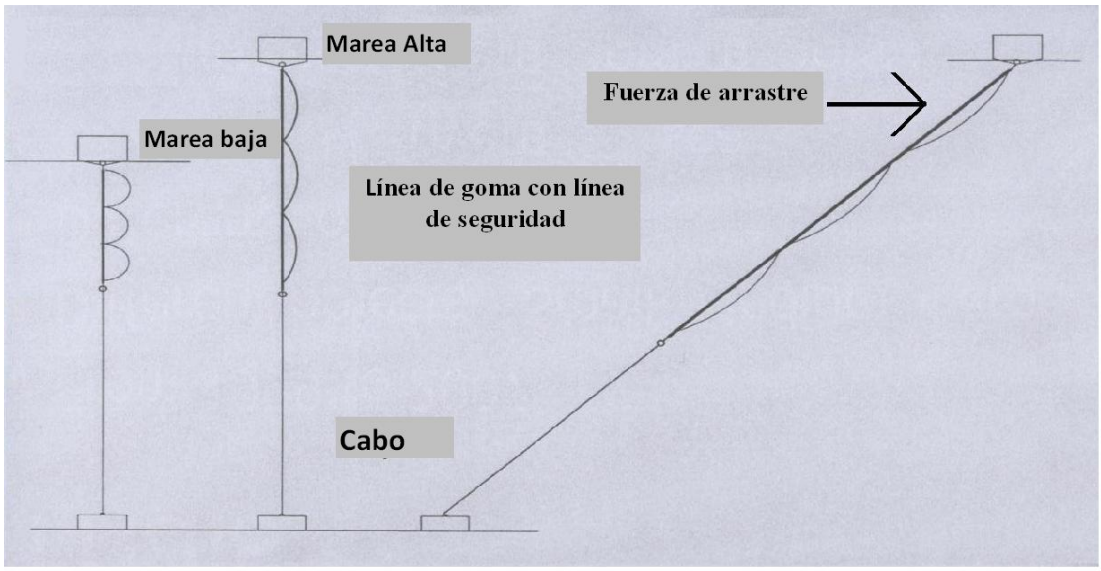


Figura 20 Configuración del amarre elástico

5.4 Manipulación

Se puede utilizar un amarre elástico de la misma manera que un amarre con cabo sintético. Para recuperarlo, la grúa levanta las secciones de cabo, tramo por tramo. Se necesita un dispositivo especial de retención en el borde de la cubierta para aguantar sin peligro el cabo durante el proceso de recuperación.

5.5 Ventajas

Un amarre elástico pesa poco, es fácil de montar y no es necesario utilizar un soplete para cortar el amarre hasta la longitud exigida.

Un amarre elástico siempre se encuentra bajo tensión y no daña al fondo del mar.

El diámetro de un amarre elástico es mucho más reducido en comparación con un amarre de cadena, y por tanto la acumulación de fauna marina es mucho menor. Por tanto, el amarre elástico tiene una resistencia menor en el agua que el amarre de cadena.

Una ventaja que tiene el amarre elástico es que se puede emplear en aguas someras y en zonas donde rompa la ola, porque la misma goma absorbe la energía en el sistema. Para funcionar adecuadamente, un amarre de cadena ha de tener una longitud determinada y debe tener un peso determinado, además de tener una profundidad mínima de agua. Por tanto, un amarre de cadena no es una buena opción en las aguas someras y en zonas de rompientes.

Un amarre elástico pesa muy poco y por tanto apenas influye sobre la reserva de flotabilidad de la boya.

La boya siempre se encuentra en su posición precisa porque la estacha de amarre siempre está bajo tensión.

El cable elástico absorbe la energía de una manera muy suave por lo que la fuerza ejercida sobre el tren de fondeo es aproximadamente la mitad que en un fondeo de cadena,

Dado que la estacha de amarre siempre se encuentra bajo tensión, existe poco desgaste y por tanto apenas necesita mantenimiento. Por tanto la vida útil de un fondeo elástico es casi el doble que el de uno de cadena.

6 EJEMPLOS DE AMARRES FLUVIALES ESPECIALES

Los ejemplos incluidos a continuación son de amarres especiales desarrollados para ríos que fluyen rápidos y corriente unidireccional.

6.1 Alemania

6.1.1 Boyas ancladas en el lecho del Río Rin

En la zona de St. Goar, el cauce tiene una anchura de 120 m y serpentea. La corriente es de aproximadamente 7 nudos y el terreno principalmente de roca. Buques de una eslora de hasta 140 m y una anchura de 15 m utilizan este tramo del río. Alrededor de 70,000 buques transportan 67 millones de toneladas al año. Por motivos de seguridad solo se permite tráfico en un sentido y se ha instalado un Centro-VTS para controlar el tráfico. En esta zona aproximadamente 1/3 de las boyas se encuentran amarradas a argollas empotradas en la roca en el cauce del río. Los muertos serían demasiado grandes y podrían constituir un peligro para los buques en tránsito.

Datos del río

- Corriente de 3.6 m/s (7 nudos);
- Anchura mínima 120 m;
- Profundidad mínima (no más de 20 días al año) 1,9 m;
- Profundidad media 3,4 m;
- Variación estacional de la profundidad de 1,39 m hasta 9,29 m.

Datos del sistema de amarre

- Profundidad del anclaje del fondeo 60 cm;
- Argolla de amarre, diámetro de barra 50 mm;
- Longitud de la cadena durmiente 12 m, diámetro de barra 18 a 20 mm;
- Longitud de la cadena de ascenso 15 m, diámetro de barra 10 mm;
- Si se pierde la argolla de anclaje, entonces el tramo de la cadena temporal (utilizado hasta que se instale un nuevo anclaje) es 40 m, y un diámetro de 20 a 22 mm (peso de 600 a 700 kg).

Datos de la boya

- Boya de acero ligero, diámetro 1 m;
- Volumen, 400 litro;
- Lleno de poliestireno, en caso de falta de estanqueidad, podría entrar 40 litros de agua;
- Peso 62 kg + cola tubular 13 kg + contrapeso 8 kg = 73 kg.

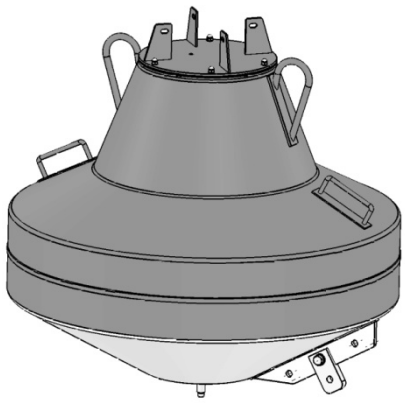


Figura 21 Tipo de Boya Fluvial

6.2 Los Países Bajos (Holanda)

6.2.1 Amarre con anclas en el Rin

Es preferible emplear un ancla de 125 kg en vez de un muerto.

La longitud de la cadena es 25 m, incluyendo la pata de gallo de 4 m..

El diámetro de la cadena es 22 mm.

La profundidad del agua oscila entre 3 m y 12 m.

La corriente suele ser de 4 nudos, pero podría subir hasta 6 nudos.

La segunda línea de la boya se denomina la “neuringline”. La parte inferior es de cadena de 10 mm y la parte superior de cabo sintético. Un pequeño buque utiliza la neuringline para remolcar la boya y el ancla a un emplazamiento nuevo si es necesario por cambios en los niveles del agua. Resulta fácil para un buque pequeño levantar el ancla de esta manera y llevar la boya y el amarre a un lugar distinto. No es necesario levantar la boya, un buque pequeño no podría levantar un muerto con la misma fuerza de sujeción que el ancla.

La boya empleada es de acero, tiene un diámetro de 2.00 m, pesa 2,500 kg y el calado es de 1.90 m.

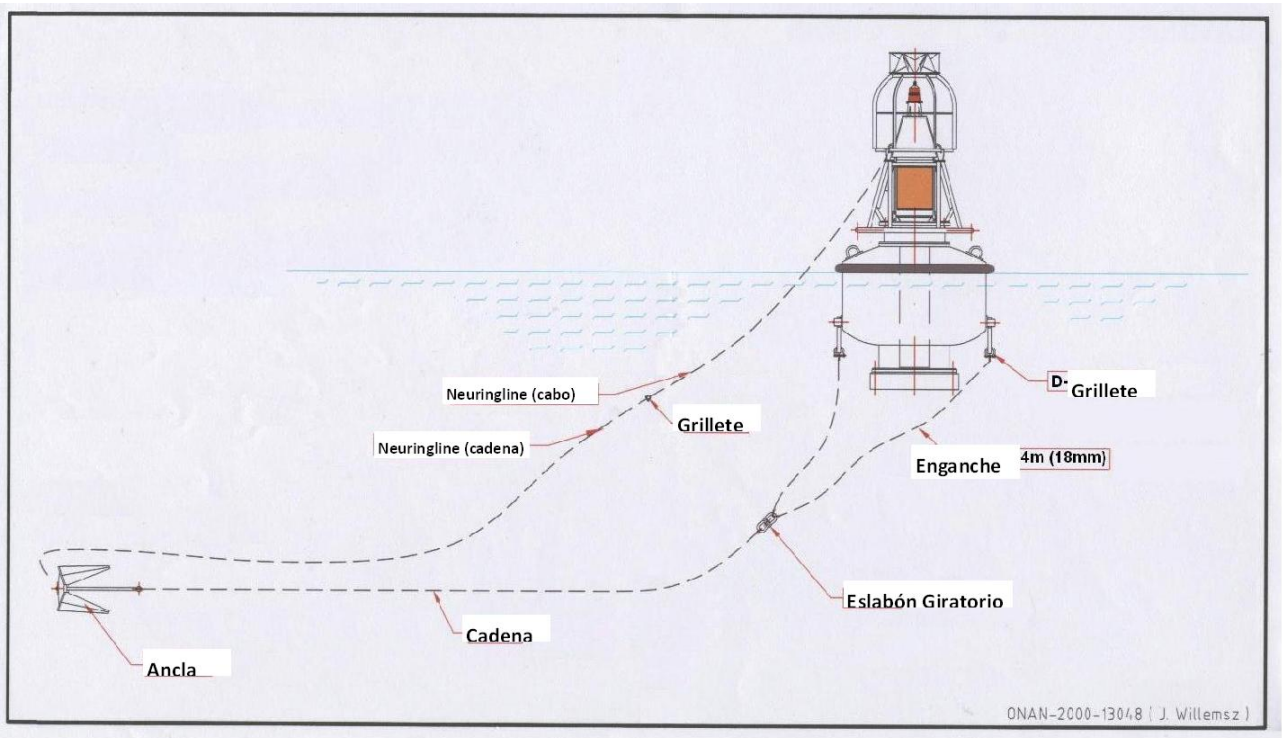


Figura 22 Amarre Fluvial

ANNEX 1 COEFICIENTE DE ARRASTRE

1 CÓMO ESTABLECER LA RESISTENCIA O COEFICIENTE DE ARRASTRE

Se ha publicado muy poco sobre el coeficiente de arrastre de las boyas, a pesar de que dicho valor es muy importante a la hora de calcular las cargas en el amarre. El día 9 de abril de 2002, las Autoridades de los Países Bajos llevaron a cabo unas pruebas prácticas de remolque en el Haringvliet, cerca del dique, para establecer el coeficiente en cuestión. El buque balizador, el "Vliestroom" efectúo varias pruebas de remolque con un cuerpo de boya tipo de 6.5 m^3 con faldón, remolcando desde el Sur hacia el Norte a distintas velocidades.

2 DATOS DE LA BOYA DE ACERO CON FALDÓN (6.5 M^3)

Diámetro del cuerpo de la boya:	2.55 m
Diámetro del faldón:	1.78 m
Calado:	1.35 m
Superficie de la boya:	2.97 m^2 a un calado de 1.35 m

3 PRUEBA DE REMOLQUE

Se remolcó la boya de dos maneras, primero con una estacha de remolque de fibras y después con una de goma de 35 mm de diámetro.

Para impedir que la estela de la hélice incidiera sobre las medidas, se remolcó la boya desde el extremo de la pluma de la grúa cuando la pluma estaba colocada de babor a estribor. El registrador de fuerza de tracción se ubicó en el tramo sencillo de la estacha de remolque.

Composición de la estacha de remolque:

1ª prueba: asa de amarre, ramal del cabo (l = aproximadamente 5 m) registrador de fuerza de tracción, longitud del cabo aproximadamente 10 m, cable de izado. Botalón horizontal.

2ª prueba: asa de amarre, ramal del cabo (l = aproximadamente 5 m) registrador de fuerza de tracción, longitud del cabo aproximadamente 10 m, botalón de izado. Botalón horizontal.

A continuación, el Vliestroom remolcó la boya a velocidades de 1, 2, 3 y 4 nudos con la línea de cabo y a velocidades de 1, 2 y 3 nudos con la línea de goma.

Durante el remolque, la boya no dio guiñadas, ni giró, ni osciló.

La boya se desplazó a una velocidad constante por el agua. La boya se comportó igual con la línea de cabo que con la de goma.

Al subir la velocidad, se formaban olas a lo largo de la boya, con una ola de proa creciente y un seno de ola en el punto donde la ola tenía su máxima anchura.

Durante la prueba con la línea de goma, la línea se alargaba con el aumento de la velocidad de arrastre. A una velocidad de 3 nudos, la boya se encontraba aproximadamente en línea con la parte trasera de la superestructura, mientras que al principio, estaba en línea con la parte trasera de la zona de trabajo del puerto.

4 RESULTADOS

Las fuerzas medidas oscilaban desde 20 kgf hasta alrededor de 400 kgf con el aumento de la velocidad de remolque de 1 hasta 4 nudos.

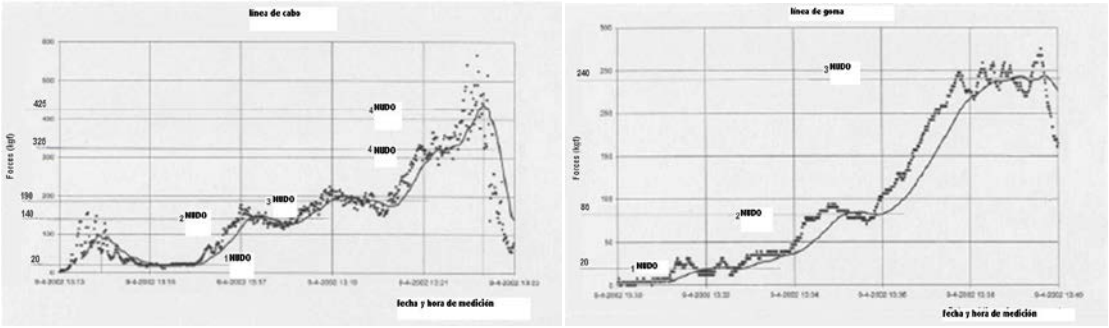


Figura 23 Fuerzas al remolcar con una línea de cabo y Fuerzas al remolcar con una línea de elastómero

En base a las fuerzas medidas, se calculó la resistencia de la boya de 6.5 m^3 en función de la velocidad de remolque. Se puede explicar los valores medidos, que se desvían ligeramente de la tendencia, por el hecho de que resultaba muy difícil remolcar la boya a una velocidad baja y constante.

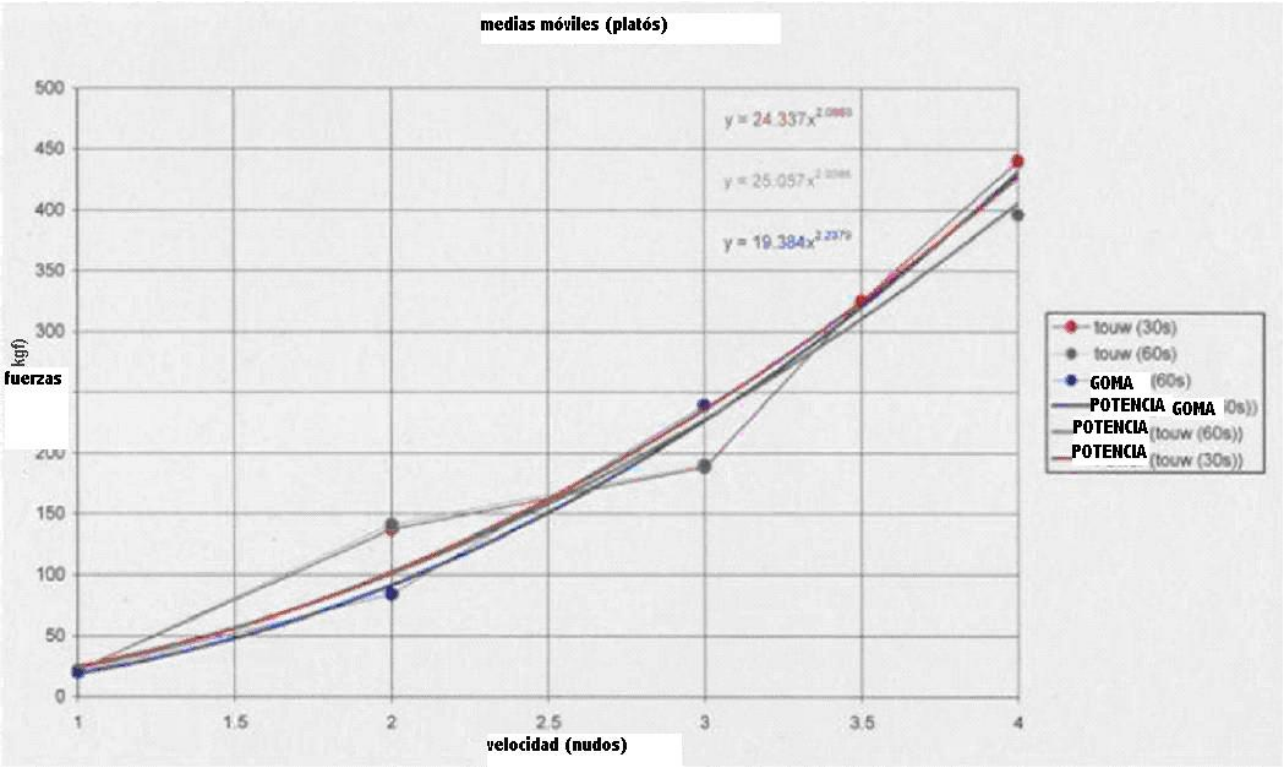


Figura 24 Gráfico en el que se puede observar la resistencia de la boya al remolcarla a varias velocidades.

5 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE

Se puede utilizar las fuerzas medidas para calcular el coeficiente de arrastre para este tipo de boya con faldón.

Tabla 2 *Cuadro donde se puede ver las fuerzas de remolque con el cabo*

V (nudo)	Fuerza (kgf)	Cd	Comentarios
1	20	0.53	
2	140	0.93	Pico aleatorio
3	190	0.55	
4	325/ 425	0.54/ 0.70	

Tabla 3 *Cuadro donde se puede ver las fuerzas de remolque con la línea de elastómero*

V (nudo)	Fuerza (kgf)	Cd
1	20	0.53
2	85	0.56
3	240	0.70

6 CONCLUSIONES

Los cuadros demuestran que el valor oscila entre 0.53 y 0.56 con picos de hasta 0.93. Si se supone que los picos son consecuencia de errores de medición y fluctuaciones en la velocidad de remolque, se puede considerar que, para este tipo de boya, se puede aplicar un valor de Cd de 0.55.

ANNEX 2 COMPARACIÓN DE CARGAS EN EL AMARRE UNA BOYA FONDEADA CON FONDEO ELÁSTICO O DE CADENA

1 INTRODUCCIÓN

Un estudio numérico basado en un modelo sencillo de una boya fondeada con cadena ayuda a comprender qué carga se ejerce sobre la cadena. Se utiliza el mismo modelo para evaluar las fuerzas sobre el amarre una boya con fondeo elástico. Al contrastar los resultados se puede entender por qué los fondeos elásticos tienen un mejor rendimiento que los fondeos de cadena en las aguas someras.

En un principio, se tenían muchas dudas sobre la utilización de elastómero para amarrar a las boyas de ayudas a la navegación. La experiencia ha demostrado que los amarres de cadena se rompen a veces. El fondeo sobrevive si se sustituye con una cadena más fuerte (o más larga). Si se utiliza la experiencia como punto de partida, parece ilógico pensar que un fondeo elástico, que solo tiene una fracción de la carga máxima, puede manejar las cargas ejercidas sobre el amarre igual o incluso mejor. No obstante, ahora, después de 5 años de experiencia (de las Autoridades de los Países Bajos) empleando cables elásticos para amarrar las boyas, ha cambiado el escepticismo inicial confiando y aceptando este tipo de material apto para los fondeos. Esta ponencia trata algunas de las consideraciones importantes respecto a las cargas sobre los amarres de las boyas fondeadas tanto con cadena como con elastómero, y demuestra que un amarre de este tipo mantiene la carga del fondeo muy por debajo de la máxima fuerza con la que un cabo de elastómero puede operar.

2 EL CONFLICTO INICIAL

El amarre de una boya tiene dos funciones aparentemente contradictorias. Por una parte, mantiene la boya en su sitio, pero por la otra parte el amarre tiene que seguir la dinámica de las olas hasta cierto punto para poder reducir las cargas en el amarre. Este conflicto se pone de manifiesto con claridad cuando una ola levanta la boya en ese momento el tramo final del tren de fondeo también es alcanzado. Sobre todo en aguas someras, en los amarres de cadena llega final repentinamente, dando lugar a unos esfuerzos puntuales importantes. Un fondeo elástico es capaz de alargarse, hasta dos veces su longitud inicial, y por tanto la boya se para suavemente amortiguando así éstos esfuerzos puntuales. En los siguientes apartados de esta presentación, se muestran los resultados de una simulación numérica de una boya amarrada con cadena y otra amarrada con elastómero. En el último apartado, este tema se presenta sobre la base del concepto de conservación de la energía.

3 DESCRIPCIÓN DE LA BOYA DE NAVEGACIÓN AMARRADA EN EL MAR

Para que los resultados sean lo más transparentes posibles, el mar, la boya y el amarre se reducen a sus características esenciales. El modelo es de una boya que se encuentra amarrada en un solo punto y que siempre permanece en vertical. En el modelo, el tren de olas rompientes es un muro de agua de anchura y altura idénticas. Las olas rompientes están separadas por aguas en reposo de tres veces la anchura de las olas.

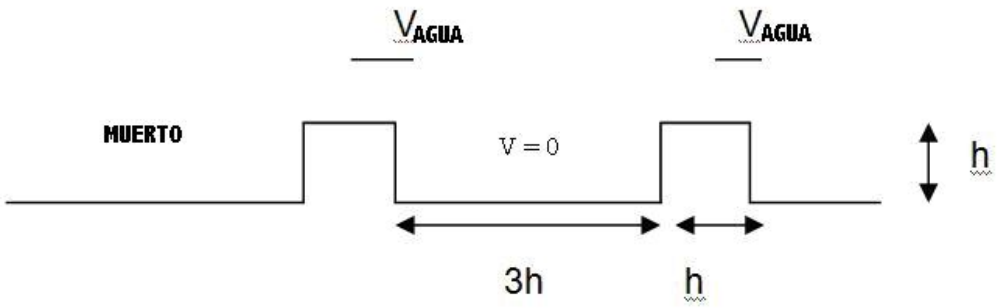


Figura 25 Un tren de olas rompientes

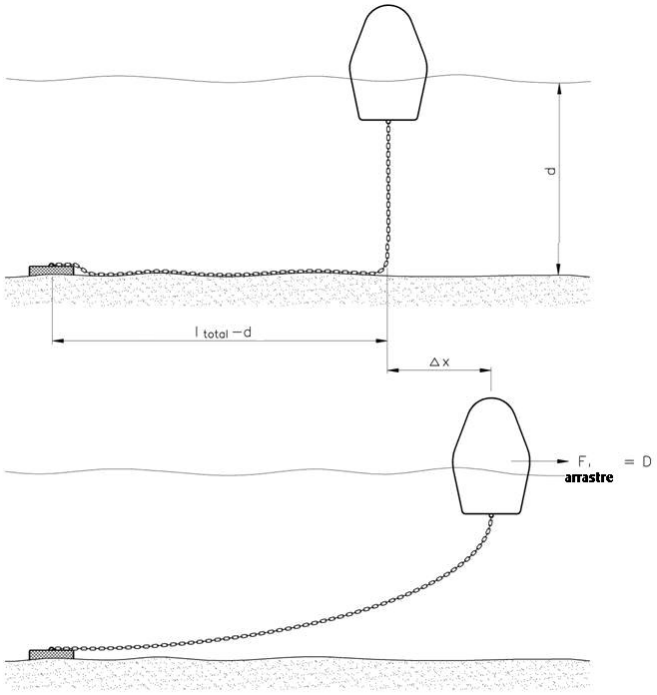


Figura 26 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya como función del desplazamiento ΔX.

Aunque el amarre de cadena es al menos un problema bidimensional, se utiliza como si fuera en un modelo unidimensional. Esto se realiza calculando la relación entre la fuerza horizontal y el desplazamiento de una boya amarrada con cadena. La fuerza horizontal de la cadena sobre la boya se calcula como función del desplazamiento (ΔX) desde la posición de velocidad cero posición (Véase la Figura 26).

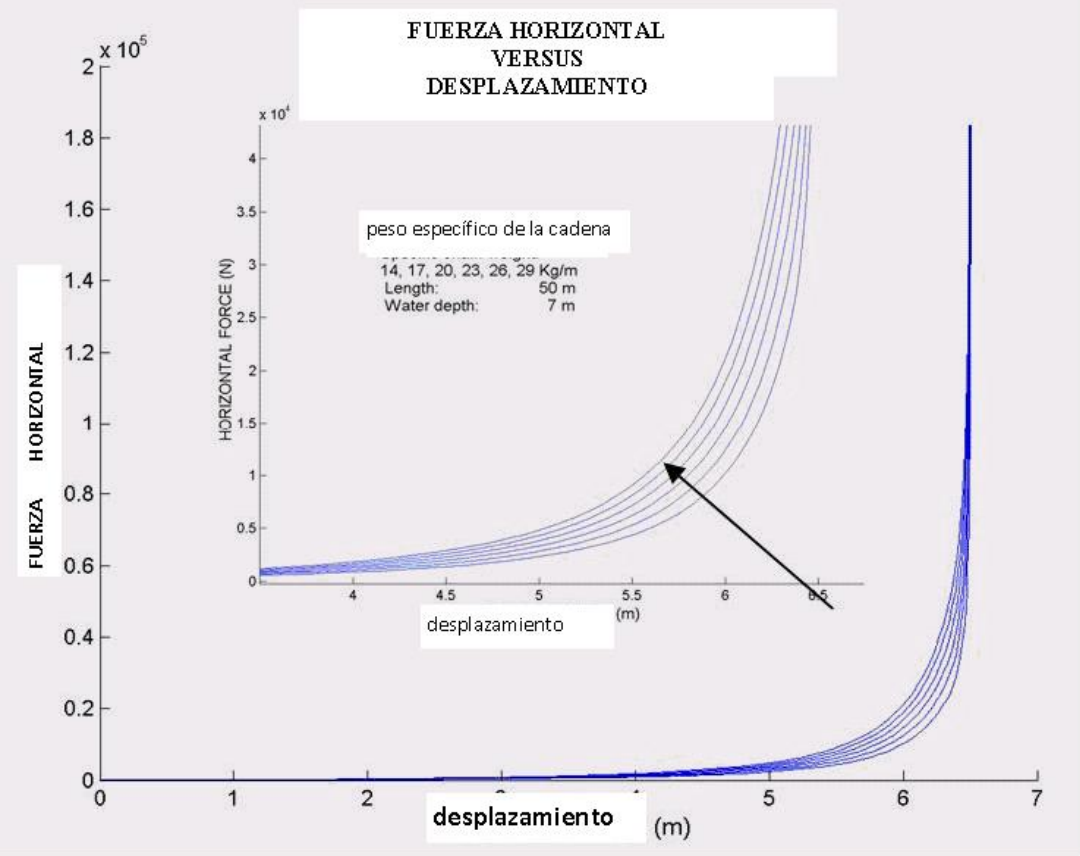


Figura 27 La fuerza horizontal de una boya vs. El desplazamiento de la boya desde su posición de corriente cero

En equilibrio, dicha fuerza es igual a la fuerza de arrastre sobre la boya. En una situación dinámica, dicha fuerza también acelera (desacelera) la boya. Esta relación fuerza de cadena / desplazamiento depende del peso específico (peso por metro), la longitud de la cadena y por último, pero no por eso menos importante, la profundidad mínima del agua. Como era de esperar, cuanto más ligera la cadena, más agudo será el perfil de la relación fuerza-desplazamiento.

Se puede ver el impacto producido por la variación del peso específico de la cadena en la cadena en un amarre. La boya, el mar y el amarre se definan de la siguiente manera:

Las especificaciones de la boya son:

Superficie sumergida:	1 m^2
Superficie total:	2 m^2
Masa, incl. masa añadida:	300 Kg
Masa incl. masa añadida cuando rebasada:	400 Kg
Coeficiente de arrastre:	1

Las especificaciones del mar son:

Profundidad del agua:	7 m
Velocidad del agua de la ola rompiente:	8.3 m/s
Velocidad del agua entre la ola rompiente:	0 m/s
Altura de la ola rompiente:	7 m
Distancia entre dos olas rompientes:	21 m

Las especificaciones del amarre de cadena son:

Longitud	50 m
Peso específico (en agua)	14, 17, 20, 23, 26 y 29 Kg/m

Cuando la ola rompiente alcanza a la boya, la boya acaba completamente rebasada. No se tiene en cuenta la inclinación. No se tiene en cuenta la inercia de la cadena y el arrastre de la cadena. La velocidad del agua en una ola (en condiciones de rotura) se determina por las leyes de la física y depende, en aguas someras, de la profundidad del agua. La profundidad del agua en este estudio numérico es 7 m. Por cuestiones de compatibilidad, la velocidad del agua en la ola rompiente se considera constante en todo este estudio independientemente de la profundidad del agua.

Se presenta en la Figura 29, la fuerza de amarre como función del tiempo cuando las olas rompientes pasan por la boya. En la Figura 28 se puede observar un detalle de las fuerzas puntuales observadas. Para todas las cadenas, la fuerza de amarre alcanza un nivel estacionario, igual a la fuerza de arrastre de una boya estacionaria. La manera de alcanzar esta fuerza en estado estacionario depende en gran medida del peso específico de la cadena. Como se puede ver en la Figura 28, en el caso de la cadena que más pesa la fuerza aumenta suavemente hasta que se alcance la fuerza de equilibrio. Por otra parte, las cadenas ligeras no ralentizan a la boya lo suficientemente antes de que alcance el final del tramo de cadena, y el pico de la fuerza de amarre es aproximadamente 10 veces superior al valor en estado estacionario. Se puede apreciar aquí la naturaleza del problema con la cadena de poco peso: la cadena de ligero no pesa lo suficiente como para mantener los esfuerzos del amarre a un nivel bajo. En dichos casos, los esfuerzos en el amarre pueden llegar a tener valores de pico muy altos, con todas las consecuencias negativas que ello conlleva.

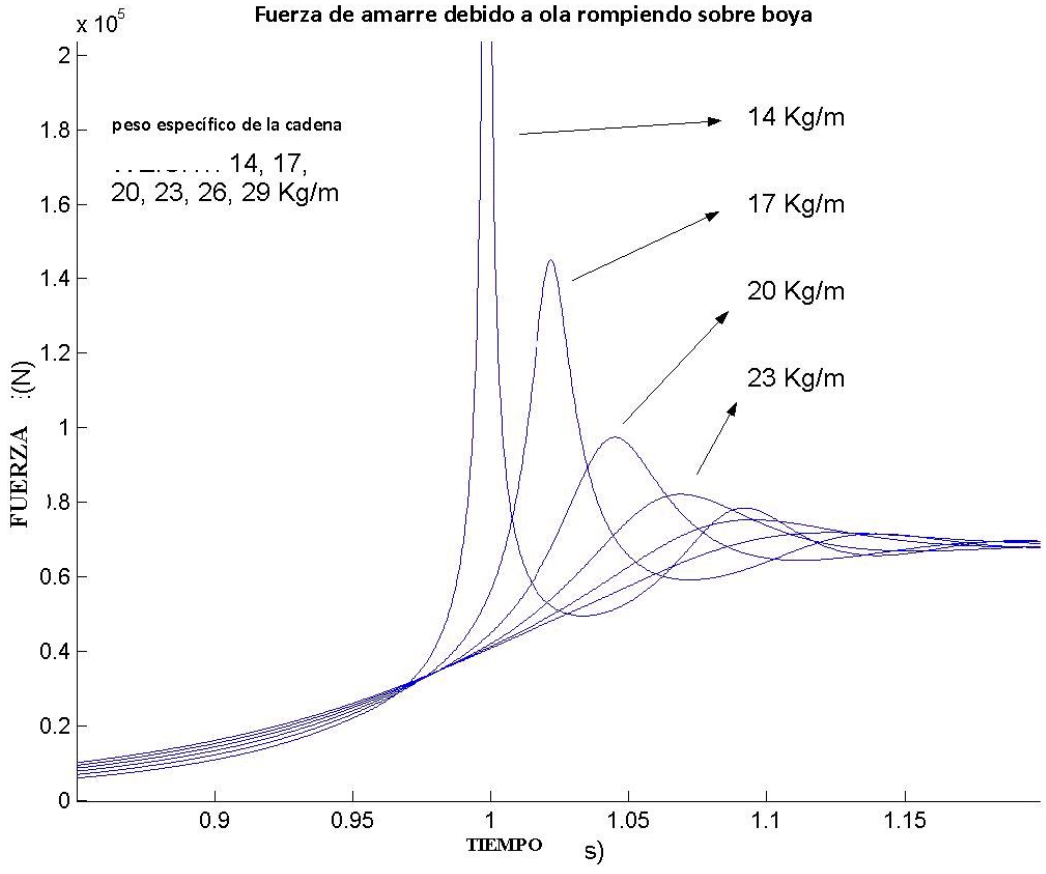


Figura 28 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya cuando llega una ola rompiente

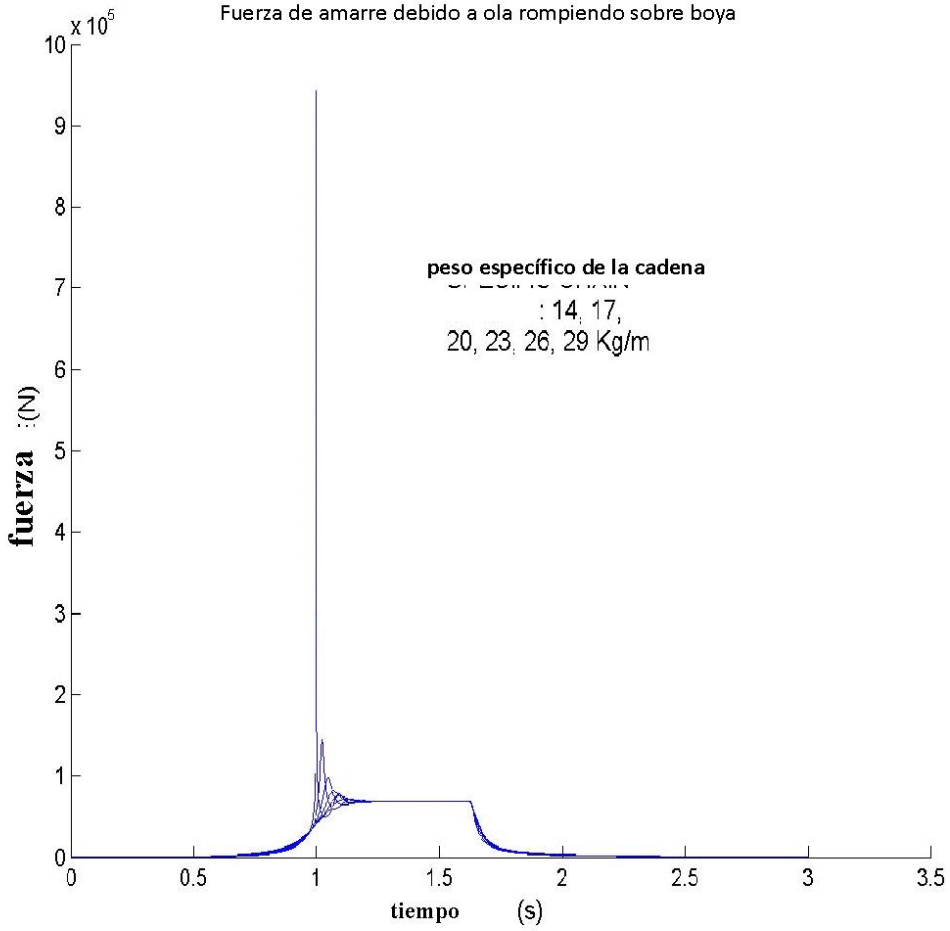


Figura 29 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya cuando una ola rompiente pasa

4 AGUAS SOMERAS

En el apartado anterior, nosotros controlamos por completo el diseño de los amarres. Al seleccionar una cadena adecuada, tanto en su peso específico como en su longitud, se pudo mantener los esfuerzos del fondeo en un nivel bajo. No obstante, en el caso de aguas someras el parámetro clave es la profundidad del agua, y esto no es controlable por nosotros. De las configuraciones citadas en el apartado anterior, se selecciona una cadena con un peso específico de 20 Kg/m, y se toman niveles de agua de 3, 4, 5, 6 y 7 m., respectivamente. Las fuerzas ejercidas sobre el amarre debido a la ola que pasa en condiciones de rotura se presentan en la Figura 30. Cuando t = 0, el frente de la ola rompiente se encuentra en la posición de equilibrio de la boya en el caso de velocidad del agua cero. Al bajar el nivel del agua de 7 a 4 m, la fuerza máxima aumenta de manera espectacular. A los 3 m, la fuerza puntual se aumenta hasta más de 10 veces la fuerza estática de la ola rompiente. Esto quiere decir que en los casos en los que el nivel de agua sea más bajo que lo esperado, el diseño ya no vale y el amarre podría fallar.

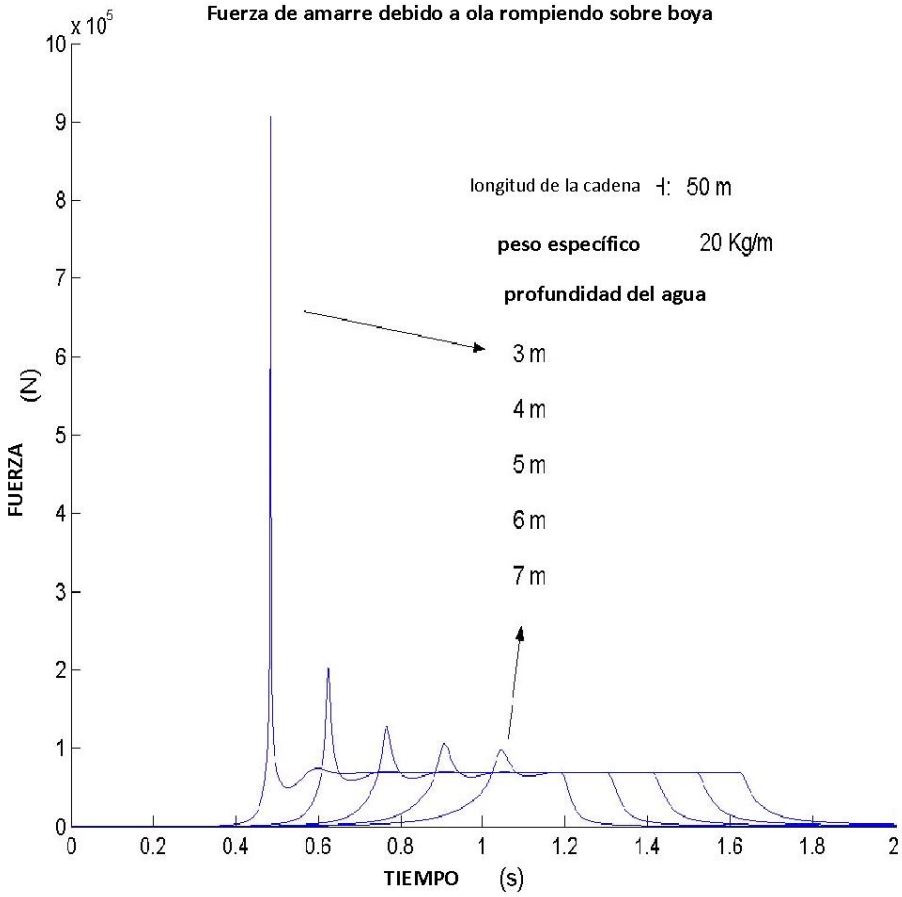


Figura 30 La fuerza horizontal ejercida sobre una boya cuando una ola rompiente pasa.

5 BOYA AMARRADA CON ELASTÓMERO

Las variaciones bruscas en la fuerza de amarre en aguas someras bajo olas rompientes pueden evitarse empleando un fondeo elástico . Cuando la ola levanta la boya, y el tren de fondeo se tensa hasta el final, teniendo que ralentizar a la boya. Un fondeo elástico ralentizará la boya paulatinamente, evitando así las variaciones bruscas de las fuerzas que actúan sobre el amarre. Con el fin de demostrarlo, se ha llevado a cabo la simulación numérica presentada en el apartado anterior, pero con un cabo de elastómero en lugar de una cadena. El cabo empleado tiene un diámetro de 50 mm y una dureza de 60 Shore A.

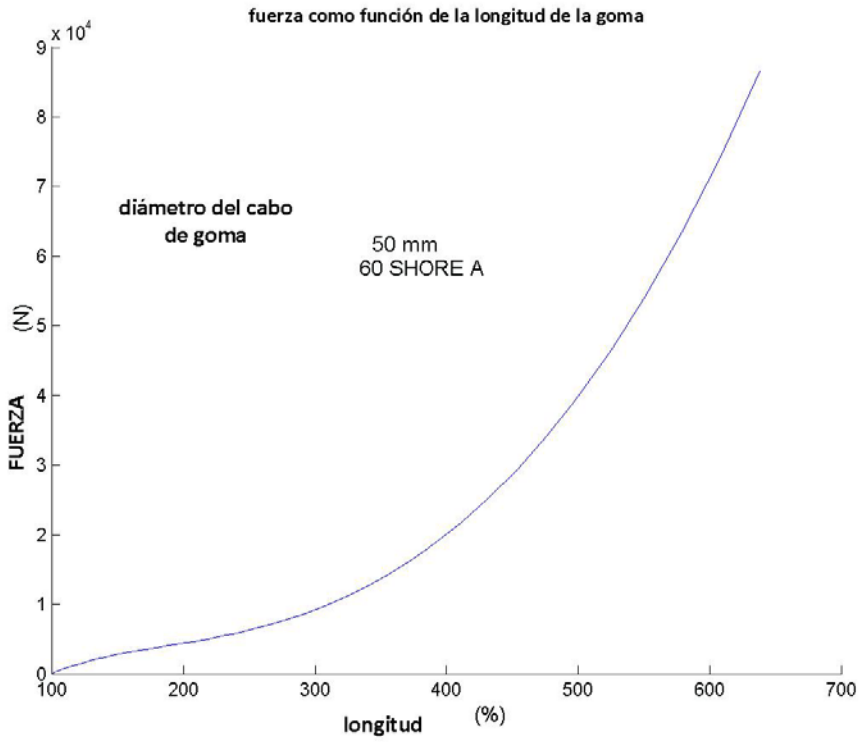


Figura 31 La fuerza ejercida sobre un fondeo elástico como función de la longitud relativa.

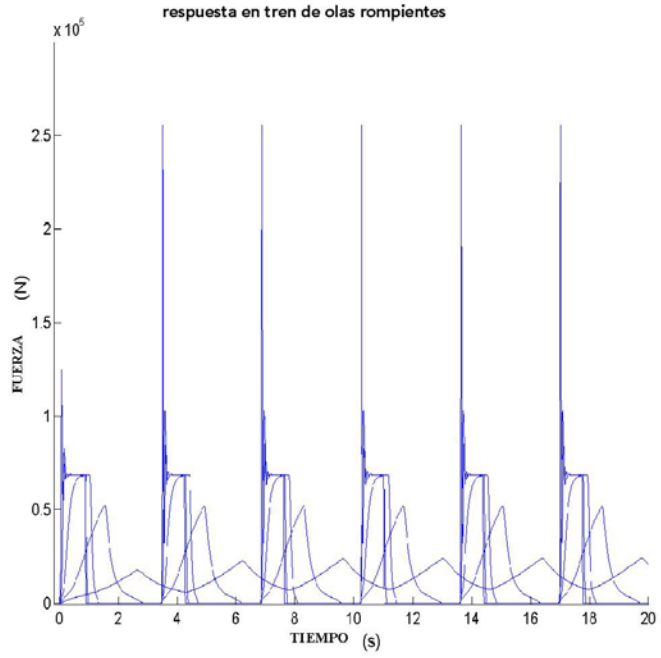


Figura 32 La fuerza ejercida sobre el amarre de una boya con un fondeo elástico cuando pasan olas rompientes. Longitud del cabo de elastómero : 2 cm, 8 cm, 32 cm, 1.3 m y 5.1 m.

La relación fuerza / alargamiento del elastómero utilizado se presenta en la Figura 31. El alargamiento se presenta como porcentaje, siendo 100 % el sin estirar, y a un 200 % cuando el cabo del elastómero tiene el doble de longitud. Se ha efectuado la simulación para distintas longitudes de elastómero, ver la Figura 32. En la Figura 33 se puede ver ampliado el paso de la segunda ola rompiente. Las fuerzas de pico en el amarre son consecuencia de realizar la

simulación con un cabo de elastómero cuya longitud nos es nada realista, solo 2 cm. El pico desaparece enseguida al aumentar la longitud del cabo. Al alargar el cabo aun más, la fuerza máxima disminuye hasta un nivel por debajo del nivel en reposo. En dichos casos, la boya puede moverse con la ola durante todo el recorrido y se tira hacia atrás durante el intervalo entre dos olas rompientes.

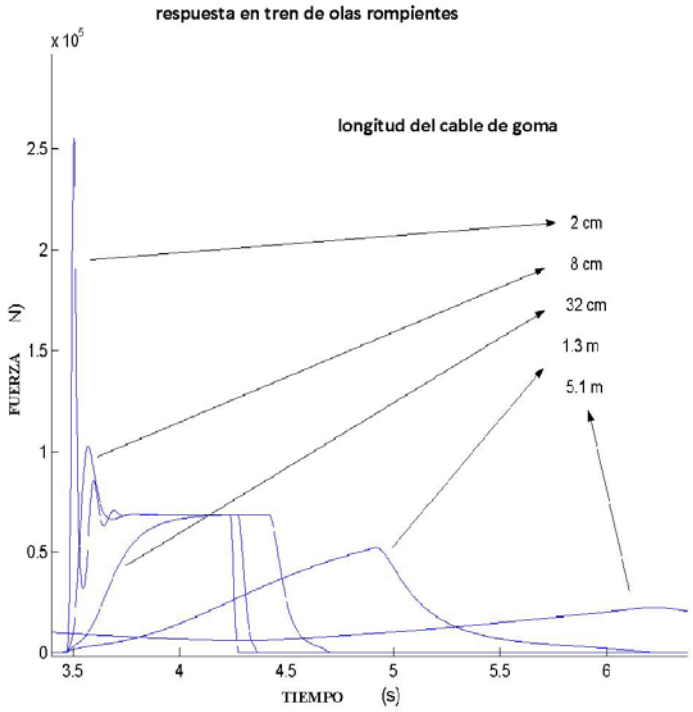


Figura 33 La fuerza de amarre ejercida sobre una boya amarrada con un fondeo elástico cuando pasan olas rompientes. Longitud del cabo de elastómero: 2 cm, 8 cm, 32 cm, 1.3 m y 5.1 m.

Cuando la primera ola rompiente pasa por la boya, las fuerzas máximas no son tan altas como cuando las olas pasan secuencialmente. Cuando t = 0, el fondeo elástico no se encuentra estirado, y el frente de la ola rompiente solo inclina la boya. Cuando la ola rompiente pasa por la boya, se ve desplazada en el sentido positivo. Después, el amarre tira a la boya hacia atrás. Cuando el frente de la segunda ola alcanza a la boya, podría encontrarse a la izquierda o a la derecha del punto original. Con esta nueva posición de partida, la segunda pasada será ligeramente distinta.

6 CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS

La aplicabilidad del fondeo de cadena y el elástico puede considerarse desde un punto de vista energético. Cuando una ola (en condición de rotura) levanta la boya su energía cinética aumenta. El amarre tiene que absorber esta energía. Un amarre de cadena absorbe dicha energía levantando la cadena. La energía cinética se transforma en energía potencial. El amarre de elastómero transforma la energía cinética en energía interna (elástica). Aquí se puede apreciar la diferencia, la energía que un amarre de cadena puede absorber depende, entre otros factores, de la profundidad del agua. La energía que un fondeo elástico puede absorber, depende exclusivamente del elastómero. Por tanto, en aguas someras, un amarre elástico es más ventajoso.

7 CONCLUSIÓN

Se demuestra por análisis numérico que una boya amarrada incorrectamente puede sufrir esfuerzos puntuales en el tren de fondeo. La calidad del fondeo con cadena depende de la longitud y el peso específico de la cadena, más la profundidad del agua. Si el peso de la cadena no es suficiente, o es demasiado corta, las fuerzas puntuales pueden incrementarse de manera espectacular. La calidad del fondeo elástico de una boya solo depende de la calidad del elastómero. Las fuerzas puntuales pueden evitarse independientemente de la profundidad del agua, por eso es mejor utilizar un fondeo elástico en aguas someras.

ANNEX 3 EJEMPLO DEL DISEÑO DE UN AMARRE

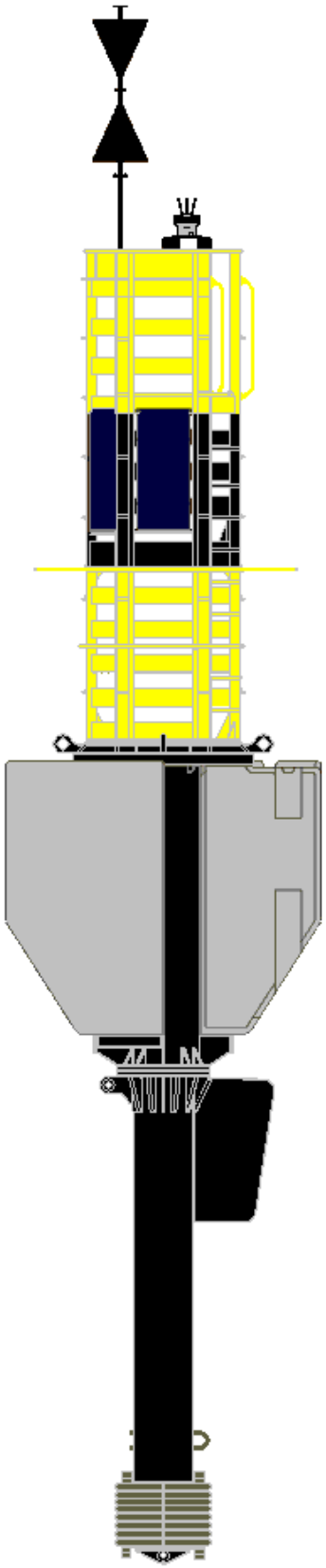


Figura 34 Boya A8L de la nueva generación

1 SITUACIÓN ELEGIDA

Se ha efectuado esta aplicación numérica para una Boya A8L de la Nueva Generación. Se han calculado los arrastres aerodinámicos e hidrodinámicos de la manera indicada en el Apartado 3.3.1.1. 'Fondeos intermedios. Cargas'.

Condiciones ambientales para el ejemplo:

Boya:	Boya A8L de la Nueva Generación (BNG)
Profundidad:	20 m
Marea:	6,9 m
Altura máxima de ola:	5 m
Velocidad máxima del viento	180 km/h
Velocidad máxima de la corriente:	2 nudos
Diámetro de la cadena:	35 mm
Tipo de cadena:	3D
Densidad del muerto:	2,100 Kg/m³
Densidad del acero:	7,850 Kg/m³
Resistencia a la tracción del acero:	500 N/mm²
Densidad del aire:	1,29 Kg/m³
Densidad del agua:	1,024 Kg/m³
Ángulo de rozamiento interno del fondo del mar	45°
Tipo de Boya	A8L

Superficie de la superestructura 5,06 m²

Coeficiente de arrastre de la superestructura 1.2

Superficie del flotador superior 2,73 m²

Coeficiente de arrastre del flotador superior 1

Superficie del flotador inferior 2,7 m²

Coeficiente de arrastre del flotador inferior 1

Superficie de la cola 2,22 m²

Coeficiente de arrastre de la cola 1

Flotabilidad del cuerpo completo de la boya 9,5 m³

Masa con el equipo 4,2 T

Masa sumergida por unidad de longitud de la cadena: 23 kg/m

Tensión sobre el muerto--- Véase 3.3.1.4.1. 'cargas de Amarres Tensos'

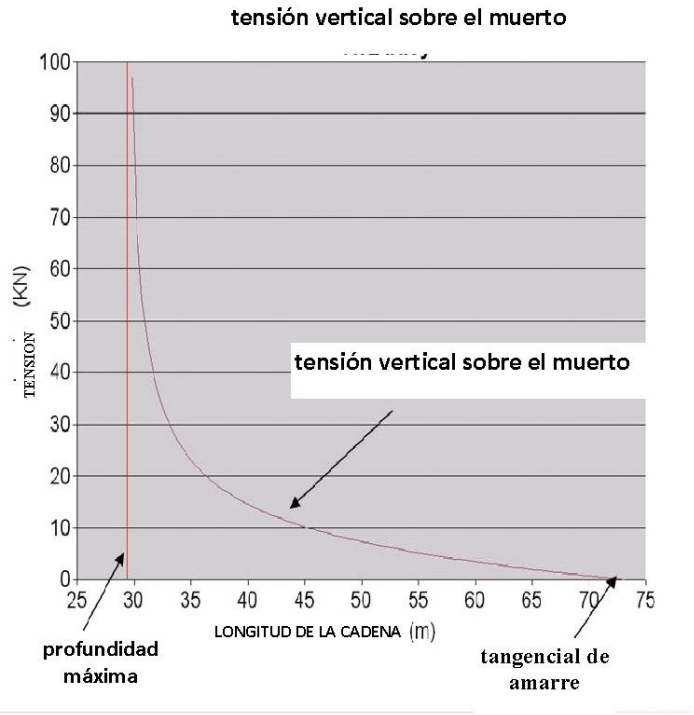


Figura 35 Tensión vertical ejercida sobre el muerto en función de la longitud de la cadena

La tensión vertical es igual a cero para los amarres flojos y los fondeos intermedios.

Si el fondeo es más corto, la tensión vertical ejercida sobre el muerto se incrementará.

Si la longitud del amarre es igual a la profundidad, la tensión ejercida sobre el muerto será muy alta, aunque en realidad la boya estará sumergida antes de que esto pueda pasar.

Tensión ejercida sobre la boya, Véase 3.3.1.4.3. Formulas para la reserva de flotabilidad.

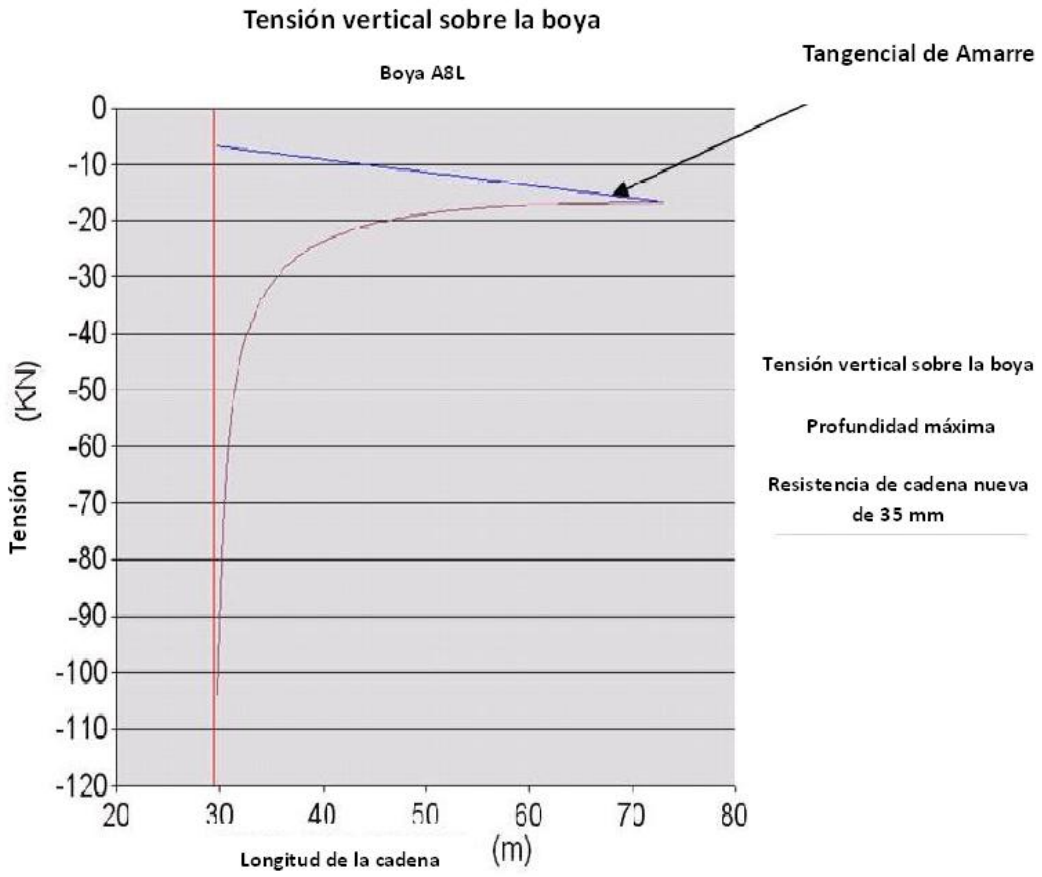


Figura 36 Carga vertical ejercida sobre la boya

En el caso de un amarre tangencial (flojo o intermedio) la tensión ejercida sobre la boya se debe exclusivamente al peso de cadena soportada. No obstante, si la longitud del tramo de cadena es menos que la recomendada para el fondeo intermedio, el aumento en el peso de la cadena no es suficiente para compensar por el esfuerzo adicional debido a la tensión sobre el muerto.

Para la tensión sobre el tren de fondeo, Véase 3.3.1.4.2. Tamaño de Cadena

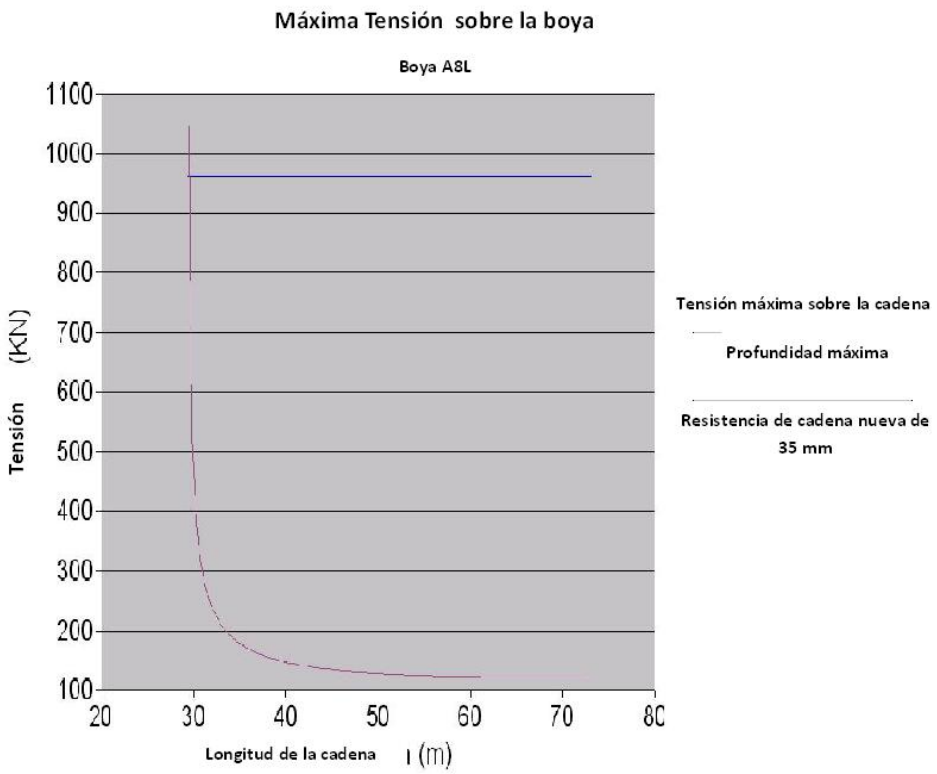


Figura 37 Tensión ejercida sobre la cadena

El gráfico pone de manifiesto que la “nueva” resistencia de la cadena puede no ser un problema para el fondeo siempre y cuando la longitud de la cadena no esté demasiado cerca del valor de la "profundidad". De lo que se deduce, que si se tiene un amarre tenso, puede que no haya que elegir una cadena de más resistencia. No obstante, un amarre tenso puede tener mayor incidencia en el desgaste de la cadena. Puesto que la cadena se encuentra bajo tensión constantemente, el índice de desgaste será más rápido con este tipo de amarre.

Figura 38 Masa del muerto

Masa recomendada sobre el muerto Véase 3.3.2 ‘Peso muerto’

0 demuestra que los amarres tensos necesitan muertos más pesados.

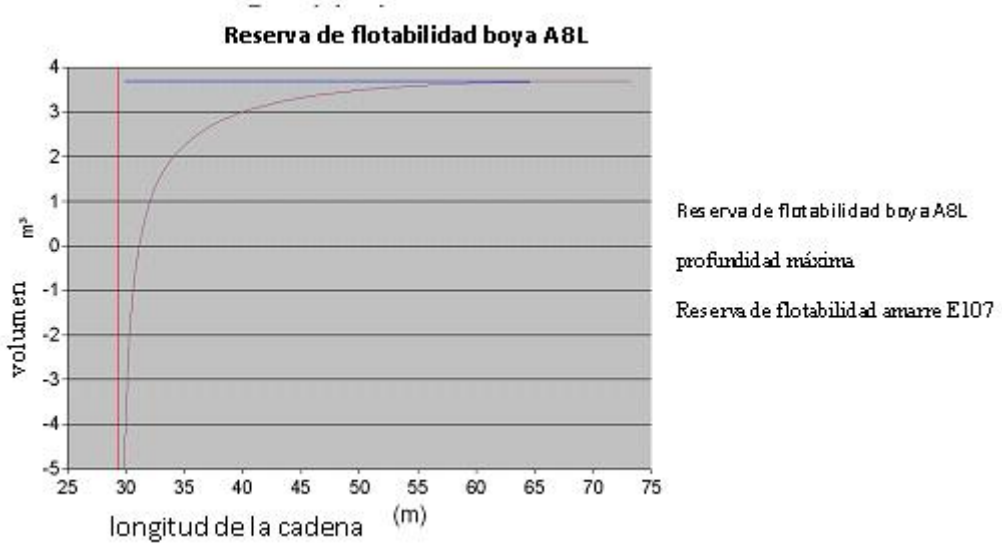


Figura 39 Reserva de flotabilidad

De forma análoga, reducir la longitud de la cadena da lugar a una reducción en la reserva de flotabilidad, por lo que se debe tener en la fase de diseño. En algunos casos, podría ser necesario elegir una boya más grande.

ANNEX 4 DETALLES DE LOS MUERTOS

Muerto con una base cuadrada (es más fácil fabricarlos, pero no se recomiendan en zonas de corrientes rápidas).

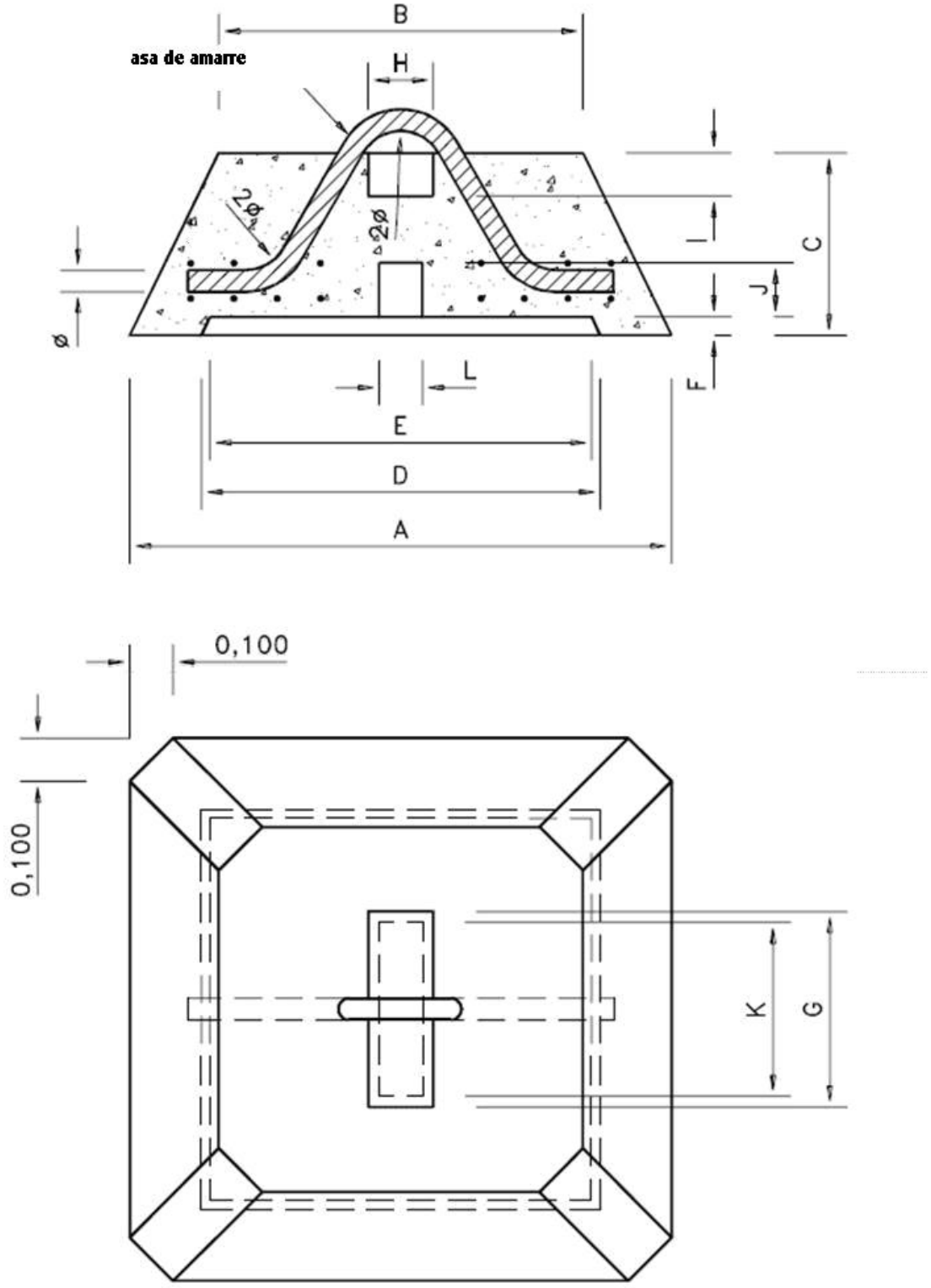
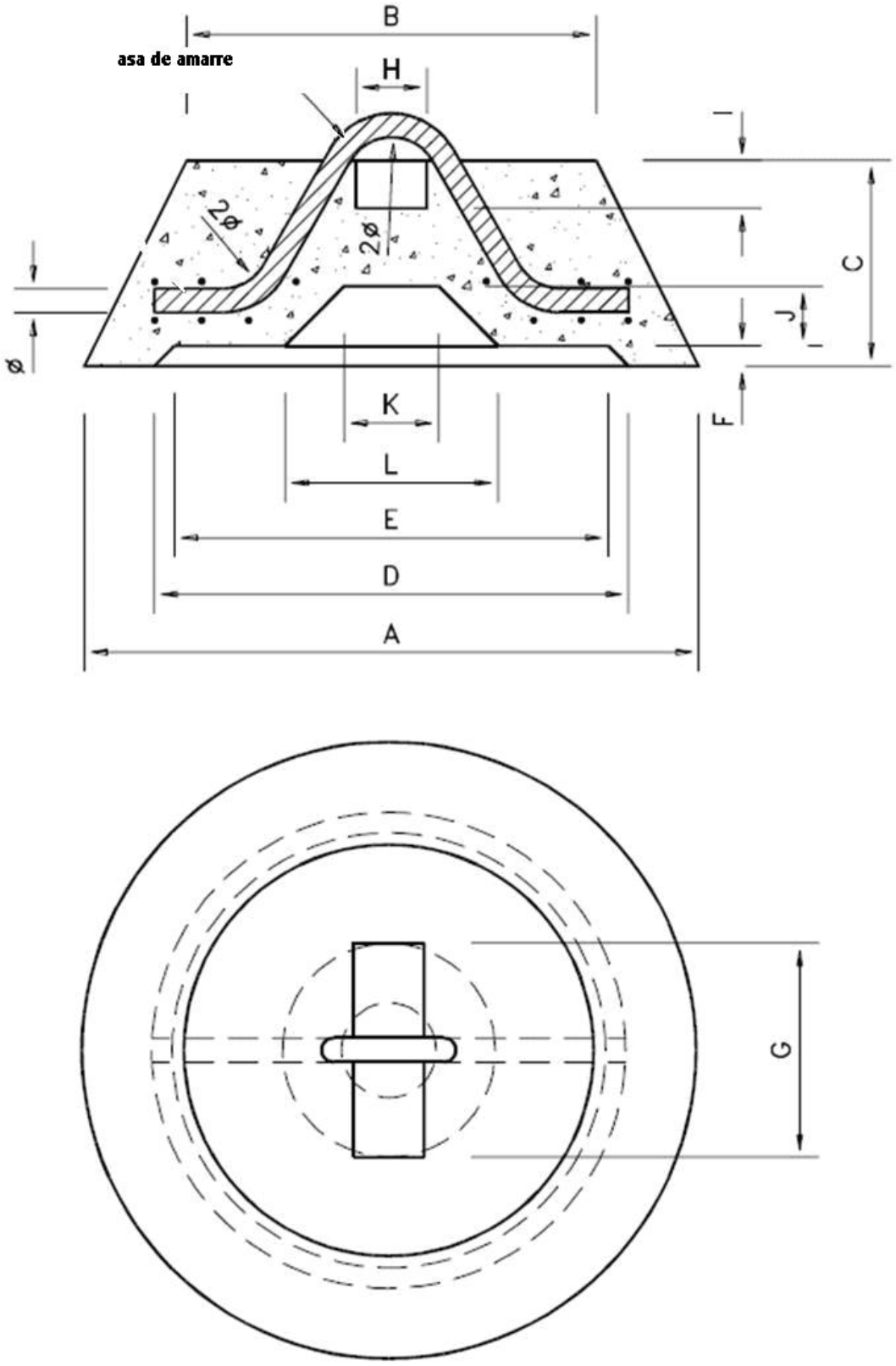


Figura 40 Muerto cuadrado de hormigón

Tabla 4 *Dimensiones del muerto de hormigón*

M	**Masa del muerto**	**500 kg**	**1000 kg**	**2000 kg**	**3000kg**	**4000kg**	**6000kg**
A	Lado de la base grande	100 cm	125 cm	155 cm	175 cm	190 cm	215 cm
B	Lado de la base estrecha (=2A/3)	66.7 cm	73.3 cm	86.7 cm	106.7 cm	133.3 cm	153.3 cm
C	Altura del muerto (=A/3)	33.3 cm	41.7 cm	51.7 cm	58.3 cm	63.3 cm	71.7 cm
D	Base de la cavidad de succión (=22A/30)	73.3 cm	91.7 cm	113.7 cm	128.3 cm	139.3 cm	157.7 cm
E	Techo de la cavidad de succión (=21A/30)	70 cm	87.5 cm	108.5 cm	122.5 cm	133 cm	150.5 cm
F	Altura de la cavidad de succión (=A/30)	3.3 cm	4.2 cm	5.2 cm	5.8 cm	6.3 cm	7.2 cm
G	Longitud of reentrante para grillete (=9ϕ)	36 cm	45 cm	54 cm	54 cm	54 cm	54 cm
H	Anchura de reentrante para grillete (=3 ϕ)	12 cm	15 cm	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
I	Profundidad de reentrante para grillete (=2 ϕ)	8 cm	10 cm	12 cm	12 cm	12 cm	12 cm
J	Altura del encaje para almacenamiento (=2.5 ϕ)	10 cm	12.5 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
K	Longitud del encaje para almacenamiento (=8 ϕ)	32 cm	40 cm	48 cm	48 cm	48 cm	48 cm
L	Anchura del encaje para almacenamiento (=2 ϕ)	8 cm	10 cm	12 cm	12 cm	12 cm	12 cm
ϕ	Diámetro de asa de amarre	40 mm	50 mm	60 mm	60 mm	60 mm	60 mm
	Masa de acero incorporado (incl. cadena de chatarra y asa de amarre)	50 kg	100 kg	300 kg	500 kg	800 kg	1400 kg
P	Peso muerto en el agua	2500 N	4000 N	6500 N	13000 N	26500 N	39000 N

Muerto con base circular (más difícil de fabricar, pero apto para zonas de corrientes rápidas)



=

Figura 41 Muerto circular de hormigón

Tabla 5 *Dimensiones del muerto de hormigón*

M	**Masa del muerto**	**400 kg**	**600 kg**	**1000 kg**	**2000kg**	**4000kg**	**6000kg**
A	Diámetro de la base	100 cm	110 cm	130 cm	160 cm	200 cm	230 cm
B	Diámetro superior (=2A/3)	66.7 cm	73.3 cm	86.7 cm	106.7 cm	133.3 cm	153.3 cm
C	Altura del muerto (=A/3)	33.3 cm	36.7 cm	43.3 cm	53.3 cm	66.7 cm	76.7 cm
D	Diámetro grande de la cavidad de succión (=22A/30)	73.3 cm	80.7 cm	100.3 cm	122.3 cm	151.7 cm	173.7 cm
E	Diámetro estrecho de la cavidad de succión (=21A/30)	70 cm	77 cm	91.7 cm	111.7 cm	138.3 cm	158.3 cm
F	Altura de la cavidad de succión (=A/30)	3.3 cm	3.7 cm	4.3 cm	5.3 cm	6.7 cm	7.7 cm
G	Longitud de reentrante para grillete (=9ϕ)	36 cm	36 cm	45 cm	54 cm	54 cm	54 cm
H	Anchura de reentrante para grillete (=3 ϕ)	12 cm	12 cm	15 cm	18 cm	18 cm	18 cm
I	Profundidad de reentrante para grillete (=2 ϕ)	8 cm	8 cm	10 cm	12 cm	12 cm	12 cm
J	Altura del encaje para almacenamiento (=2.5 ϕ)	10 cm	10 cm	12.5 cm	15 cm	15 cm	15 cm
K	Diámetro superior del encaje para almacenamiento	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
L	Diám. inferior del encaje para almacenamiento (=K+2J)	40 cm	40 cm	45 cm	50 cm	50 cm	50 cm
	Diámetro del asa de amarre	40 mm	40 mm	50 mm	60 mm	60 mm	60 mm
	Masa de acero incorporado (incl. cadena de chatarra y asa de amarre)	50 Kg	150 Kg	250 Kg	600 Kg	1200 Kg	1600 Kg
P	Peso muerto en el agua	2500 N	4000 N	6500 N	13000 N	26500 N	39000 N

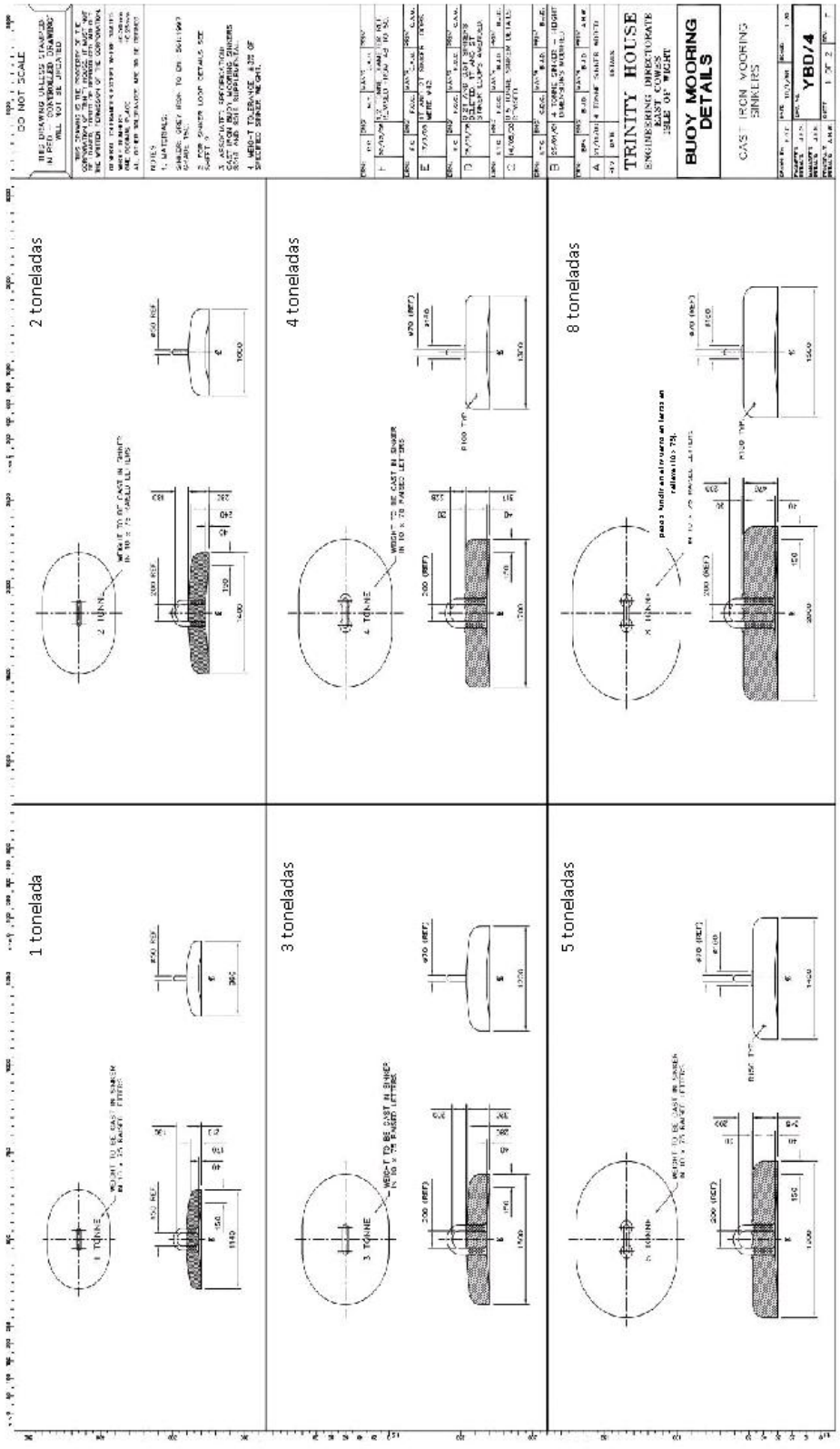


Figura 42 Muertos de hierro fundido

ANNEX 5 DETALLES DEL SISTEMA DE AMARRE CON CABO UTILIZADO POR LOS GUARDACOSTAS CANADIENSES

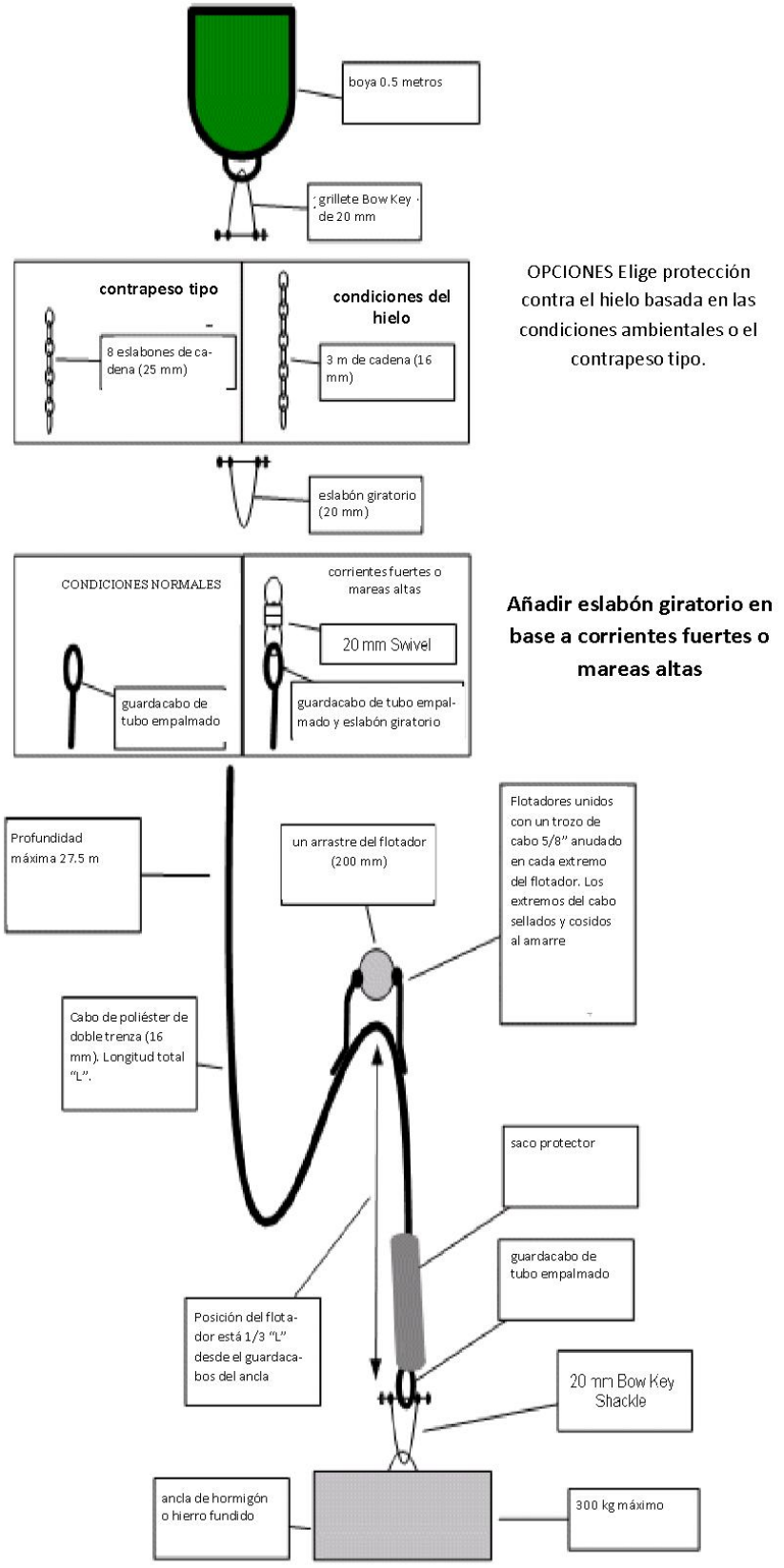


Figura 43 Amarres con cabo de los Guardacostas Canadienses para boyas de 0.5 m