

The translation is only for reference

Ensayo comparativo en el mar sobre los efectos de diferentes objetos remolcados en el desempeño aéreo de las líneas tori en pesquerías de palangre atunero

Tang Wei¹, Yang Hailang¹, Pan Boyi², Gu Qibo³, Wu Feng¹, Lin Qinqin¹,
Geng Zhe¹, Tang Hao¹, Zhu Jiangfeng¹, Wang Xuefang¹

¹ Colegio de Ciencias y Gestión de Recursos Vivos Marinos, Universidad Oceánica de Shanghai, Shanghai 201306, China

² Pingtairong Ocean Fishery Group, Zhoushan 316100, China

³ Jessn Marine Engineering Equipment CO., LTD, Zhoushan 316200, China

wtang98@163.com, xfwang@shou.edu.cn

Resumen: La captura incidental de aves marinas en las pesquerías de palangre pelágico sigue siendo una preocupación importante para la conservación, y las líneas tori se utilizan ampliamente como una medida práctica de mitigación. La extensión aérea de la línea tori determina directamente el alcance efectivo de la zona aérea de disuasión situada a popa de la embarcación, donde las aves marinas pueden entrar en contacto con los anzuelos cebados en proceso de hundimiento. Este estudio realizó pruebas comparativas en el mar a bordo del buque palangrero atunero Rongheng 513 bajo tres velocidades operativas habituales: 4.5, 6.0 y 8.2 kt, con el fin de evaluar los efectos de diferentes objetos remolcados sobre el desempeño aéreo de las líneas tori en las pesquerías de palangre atunero. Se probaron tres configuraciones: la configuración básica con cintas como control, la configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de deriva. Los resultados mostraron que diferentes objetos remolcados pueden afectar marcadamente el estado de despliegue aéreo de la línea tori. La configuración con ancla de deriva obtuvo el mejor desempeño a todas las velocidades evaluadas, con una extensión aérea de 103.8–116.2 m, superando de manera consistente la referencia ampliamente reconocida de 100 m de extensión aérea. La configuración básica con cintas ocupó el segundo lugar, con una extensión aérea de 98.9–109.7 m, mientras que la configuración equipada con una serie de conos plásticos presentó consistentemente el peor desempeño, con una extensión aérea de 70.8–82.5 m. Estos resultados indican que las características de resistencia hidrodinámica del objeto remolcado son fundamentales para determinar el desempeño aéreo de una línea tori, y que los dispositivos con resistencia insuficiente pueden producir un efecto contrario al esperado. Por lo tanto, se recomienda aclarar más el requisito técnico de que los objetos remolcados proporcionen una resistencia suficiente y estable, a fin de mejorar la eficacia práctica del cumplimiento de las medidas de mitigación de aves marinas. Además, se alienta a las flotas pesqueras a evaluar el desempeño de las medidas de

mitigación en función de sus propias condiciones operativas, proporcionando así una base para futuras revisiones de la resolución sobre aves marinas.

Palabras clave: pesquería de palangre atunero; mitigación de la captura incidental de aves marinas; línea tori; extensión aérea; objeto remolcado

1 Introducción

La captura incidental en las pesquerías es una de las principales amenazas para las poblaciones mundiales de aves marinas y sigue siendo un tema importante en la conservación de la biodiversidad marina y la gestión ecosistémica de las pesquerías (Phillips et al., 2016; Dias et al., 2019). A escala mundial, distintos tipos de pesquerías causan cada año la muerte de cientos de miles de aves marinas, y métodos de pesca como las redes de enmalle, el arrastre, el palangre y el cerco ejercen distintos niveles de impacto sobre las poblaciones de aves marinas (Anderson et al., 2011; Carle et al., 2019; Zydalis et al., 2013; Da Rocha et al., 2021; Votier et al., 2023). Entre ellas, las pesquerías de palangre pelágico dirigidas al atún y al pez espada se consideran ampliamente una fuente importante de captura incidental de aves marinas como los albatros y petreles. Durante la fase de calado del palangre, las aves marinas pueden entrar en contacto con los anzuelos cebados que se hundan mientras se alimentan, generando así un riesgo de captura incidental (Anderson et al., 2011; Votier et al., 2023). En el Océano Pacífico oriental, la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) ha adoptado la Resolución C-11-02, dedicada específicamente a la captura incidental de aves marinas, y ha seguido incorporando medidas de mitigación para aves marinas en sus marcos pertinentes de gestión ecosistémica y de captura incidental (IATTC, 2011).

Entre las medidas de mitigación existentes, las líneas tori se utilizan ampliamente en las operaciones de palangre atunero porque son relativamente sencillas de desplegar y tienen alta adaptabilidad. Su función básica es crear una zona continua de perturbación visual y disuasión física sobre el área de calado del arte a popa del buque, reduciendo así las oportunidades de que las aves marinas se acerquen y ataquen los anzuelos cebados en hundimiento (Melvin et al., 2014; Sato et al., 2013; Jiménez et al., 2020; Gilman et al., 2021). Las recomendaciones de buenas prácticas del Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles (ACAP) señalan claramente que las líneas tori adecuadamente diseñadas y desplegadas pueden reducir sustancialmente los ataques de aves marinas a los cebos en hundimiento y el riesgo de mortalidad asociado (ACAP, 2019; 2023). No obstante, su eficacia real está influida por parámetros estructurales, como la altura de fijación, la longitud del cabo principal y la configuración de las cintas, así como por la calidad del despliegue y las condiciones operativas (Melvin et al., 2014; Gilman et al., 2021; Jiménez et al., 2020).

Para una línea tori, su capacidad protectora depende principalmente de si puede formar una zona de cobertura aérea suficientemente larga y relativamente estable sobre el área crítica a popa del buque.

El indicador cuantitativo central utilizado para medir esta zona es la extensión aérea, que se refiere a la distancia horizontal de cobertura aérea desde el punto en que la línea tori sale del sistema de fijación hasta el punto en que la línea entra en contacto con la superficie del mar (ACAP, 2019; Melvin et al., 2014). Melvin et al. (2014) señalaron que la cobertura aérea proporcionada por una línea tori debería, en la medida de lo posible, cubrir la distancia a popa durante la cual el cebo se hunde hasta profundidades accesibles para las aves marinas. De lo contrario, incluso cuando se despliega una línea tori, esta puede no proteger eficazmente las aguas cercanas a la popa donde es más probable que se produzcan ataques de aves marinas. ACAP ha proporcionado recomendaciones claras sobre la extensión aérea mínima requerida para las líneas tori en diferentes categorías de tamaño de buque, y ha especificado requisitos técnicos para parámetros clave como la altura de fijación, la longitud de las cintas y el espaciamiento entre cintas (ACAP, 2019; 2023). Por lo tanto, la extensión aérea no solo es un indicador geométrico que describe el estado físico de despliegue de una línea tori, sino también un indicador técnico clave para evaluar su capacidad protectora potencial y su idoneidad operativa.

Desde la perspectiva de la mecánica de los artes de pesca, el desempeño aéreo de una línea tori no depende únicamente de la longitud física desplegada del cabo principal. En cambio, está determinado conjuntamente por múltiples factores, incluidos la velocidad del buque, la altura de fijación, los materiales de la línea y de las cintas, y la resistencia generada por el objeto remolcado terminal. En sus orientaciones de buenas prácticas sobre mitigación de la captura incidental de aves marinas en pesquerías de palangre pelágico, ACAP establece claramente que la cobertura aérea proporcionada por una línea tori depende de factores como la velocidad del buque, la altura de fijación, la resistencia al arrastre y el peso del material de la línea (ACAP, 2019; 2023). Entre estos factores, el objeto remolcado puede afectar directamente el estado de despliegue aéreo de la línea tori al modificar la resistencia en el agua y la tensión de la línea, lo que lo convierte en un factor estructural importante que influye en la extensión aérea.

Estudios existentes también han demostrado, desde distintas perspectivas, que la eficacia de mitigación de las líneas tori está estrechamente relacionada con su método de despliegue y sus especificaciones técnicas. Sato et al. (2013) compararon la eficacia de líneas tori simples y dobles, demostrando que el modo de despliegue puede influir en su desempeño como dispositivo disuasorio de aves. Domingo et al. (2017) confirmaron en buques palangreros atuneros que el uso adecuado de las líneas tori puede reducir significativamente la captura incidental de aves marinas. Melvin et al. (2014), Jiménez et al. (2020) y Gilman et al. (2021) mostraron además que las líneas tori, cuando se utilizan en combinación con otras medidas de mitigación y se despliegan conforme a especificaciones adecuadas, pueden proporcionar beneficios de mitigación consistentes a diferentes escalas operativas. Al mismo tiempo, algunos estudios de diseño y experimentación en buques palangreros pequeños han comenzado a prestar atención a la influencia del componente de arrastre de la sección terminal

de las líneas tori sobre el desempeño de la extensión aérea. Goad (2017) dividió explícitamente la línea tori en una sección aérea y una sección de arrastre, y, mediante ensayos en el mar con distintas configuraciones de la sección de arrastre y diferentes opciones de objetos remolcados, señaló que la forma de la sección de arrastre, la magnitud de la resistencia de arrastre y su correspondencia con la velocidad de operación pueden afectar directamente la extensión aérea y la estabilidad operativa del dispositivo. La revisión más reciente de ACAP también identifica la generación de una resistencia de arrastre suficiente para maximizar la extensión aérea como un requisito clave para el diseño y despliegue de las líneas tori (Goad, 2017; ACAP, 2024). Actualmente, los trabajos relacionados se han centrado principalmente en la eficacia general de mitigación de las líneas tori, la comparación de modos de despliegue y su uso combinado con otras medidas de mitigación. En cambio, siguen siendo relativamente escasas las comparaciones cuantitativas en el mar sobre cómo distintos tipos de objetos remolcados afectan la extensión aérea bajo una plataforma experimental unificada y a velocidades operativas representativas.

Sobre esta base, el presente estudio utilizó un buque palangrero atunero como plataforma de prueba para realizar ensayos comparativos en el mar bajo diferentes velocidades operativas representativas. Se seleccionó como configuración de control la configuración base con cintas, que era utilizada efectivamente por los pescadores y no estaba equipada con un accesorio terminal adicional. A continuación, se evaluaron como configuraciones experimentales dos configuraciones con accesorio terminal, a saber, la configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de capa. Mediante la medición sistemática de la extensión aérea de las tres configuraciones de línea tori bajo diferentes condiciones de velocidad del buque, este estudio comparó sus diferencias en desempeño aéreo y analizó los efectos de los cambios en la configuración terminal sobre el estado de despliegue aéreo de la línea tori. Desde las perspectivas de la mecánica de los artes de pesca y la mejora práctica, este estudio tiene como objetivo aportar evidencia empírica basada en mediciones de campo para optimizar la estructura de las líneas tori, seleccionar dispositivos terminales adecuados y perfeccionar futuras especificaciones técnicas.

2 Materiales y métodos

2.1 Buque de prueba y área de estudio

Este estudio realizó ensayos en el mar el 3 de noviembre de 2025 en aguas cercanas a Zhoushan, provincia de Zhejiang, China. La plataforma de prueba fue el buque palangrero atunero Rongheng 513, que tiene una eslora total de 44.19 m, una manga de trazado de 7.6 m, un arqueado bruto de 471 t y una potencia del motor principal de 960 kW (Figura 1). Todas las mediciones se realizaron consecutivamente en aguas costeras dentro de 30°05'N-30°07'N y 122°25'E-122°28'E (Figura 1), con

el fin de minimizar la influencia de la variación espacial de las condiciones del área marina sobre las mediciones obtenidas para diferentes configuraciones de línea tori.

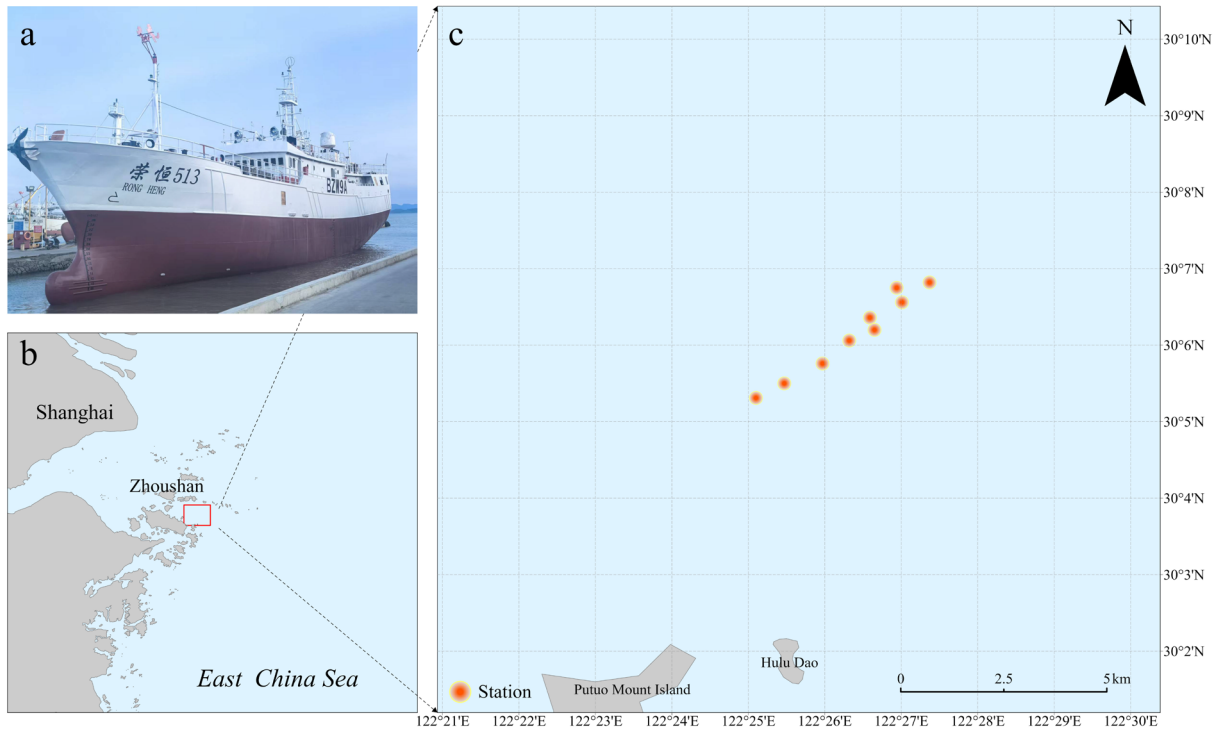


Figura 1 Diagrama esquemático del buque de prueba, el área de estudio y las estaciones de prueba (a: buque de prueba Rongheng 513; b: ubicación del área de estudio, con el recuadro rojo indicando el área ampliada mostrada en el panel c; c: estaciones iniciales de cada prueba)

Figure 1 Schematic diagram of the test vessel, study area, and test stations (a: The test vessel Rongheng 513; b: location of the study area, with the red box indicating the enlarged area shown in panel c; c: starting stations of each test)

2.2 Configuraciones de línea tori y montaje experimental

La lógica de diseño de las diferentes configuraciones terminales consistió en modificar las características de fuerza en el extremo de cola de la línea tori, afectando así su estado de despliegue aéreo sobre el área crítica a popa del buque y evaluando los efectos resultantes sobre la extensión aérea. Este estudio comparó tres configuraciones de línea tori: la configuración base con cintas, la configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de capa. La configuración base con cintas sirvió como configuración de control, representando la condición de despliegue convencional sin un accesorio terminal adicional. La configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de capa sirvieron como configuraciones experimentales, en las cuales se añadieron diferentes tipos de accesorios terminales para modificar la resistencia en el agua y la distribución de fuerzas de la sección de cola de la línea tori. Los esquemas estructurales de cada configuración se muestran en la Figura 1A, las condiciones de despliegue en campo y de prueba en el agua se muestran en la Figura 2, y los principales parámetros estructurales se detallan en la Tabla 1.

Las tres configuraciones se evaluaron mediante ensayos de remolque en el mar en la misma plataforma de prueba, Rongheng 513, para comparar sus diferencias en desempeño de extensión aérea bajo condiciones operativas reales. Cabe señalar que este ensayo fue diseñado para evaluar el potencial de aplicación práctica de diferentes diseños de línea tori. Por lo tanto, con base en escenarios reales de operación en el mar, este estudio trató la configuración base con cintas y las dos configuraciones experimentales equipadas con diferentes objetos remolcados como tres opciones de configuración práctica independientes, y comparó su desempeño físico general. Este diseño permite reflejar de forma más objetiva los efectos reales de diferentes medidas de modificación terminal en las operaciones pesqueras reales.

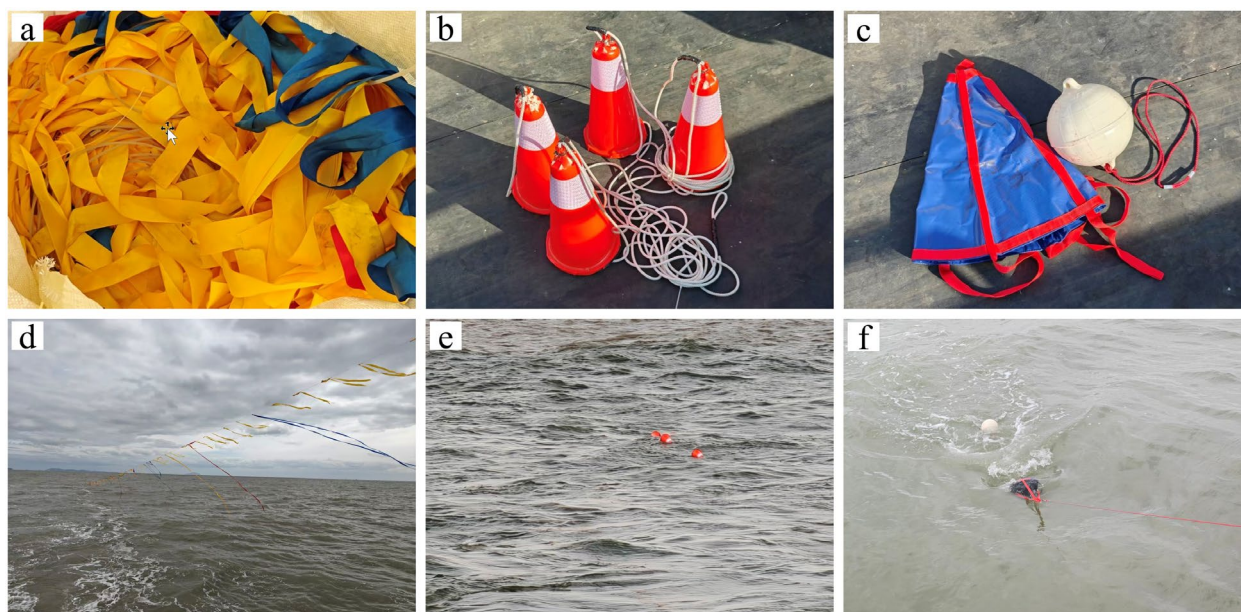


Figura 2 Fotografías físicas y condiciones operativas en el mar de las tres configuraciones de línea tori (a-c: fotografías físicas de la configuración base con cintas, la configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de capa, respectivamente; d-f: condiciones operativas en el mar de la configuración base con cintas, la configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de capa, respectivamente)

Figure 2 Physical photographs and at-sea operating conditions of the three tori line configurations (a-c: physical photographs of the baseline streamer configuration, plastic-cone configuration, and drogue configuration, respectively; d-f: at-sea operating conditions of the baseline streamer configuration, plastic-cone configuration, and drogue configuration, respectively)

Tabla 1 Parámetros estructurales principales de las tres configuraciones de línea tori

Tipo de configuración	Longitud total	Configuración de la sección principal	Estructura de la sección de cola y del objeto remolcado terminal	Otros parámetros
Configuración base con cintas (configuración de control)	210 m	Sección principal: 120 m; fabricada con polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) con un diámetro de 4.8 mm	Sección de cola: aproximadamente 90 m; extremo terminal conectado a un flotador de $\varnothing 200$ mm; no se instaló ningún objeto remolcado adicional	Véase el Apéndice 1

Configuración con conos plásticos (configuración experimental)	140 m	120 m; consistente con la estructura de la sección principal de la configuración base con cintas	Sección de cola: aproximadamente 20 m; equipada con cuatro conos plásticos de 45 cm de altura a intervalos de 2 m; la distancia desde el último cono plástico hasta el extremo terminal fue de aproximadamente 5 m	Véase el Apéndice 1
Configuración con ancla de capa (configuración experimental)	140 m	120 m; consistente con la estructura de la sección principal de la configuración base con cintas	Sección de cola: aproximadamente 20 m; extremo terminal conectado a un ancla de capa de $\phi 50$ cm, seguida de aproximadamente 10 m de cabo de resina ($\phi 7.2$ mm) conectado a un flotador de $\phi 200$ mm	Véase el Apéndice 1

Nota: ϕ indica diámetro.

2.3 Definición y método de medición de la extensión aérea

Este estudio utilizó la extensión aérea de la línea tori como indicador central de evaluación para caracterizar su capacidad de proporcionar cobertura aérea disuasoria sobre el área crítica a popa del buque. En este estudio, la extensión aérea se refiere a la distancia de cobertura aérea desde el punto donde la línea tori sale del sistema de fijación hasta el punto donde la línea contacta con la superficie del mar; en otras palabras, es la distancia de extensión horizontal durante la cual la línea tori permanece suspendida por encima de la superficie del mar (Goad, 2017). La definición se ilustra en la Figura 3. Para asegurar la comparabilidad entre configuraciones, las tres configuraciones de línea tori se probaron bajo la misma altura de despliegue y los mismos procedimientos operativos experimentales.

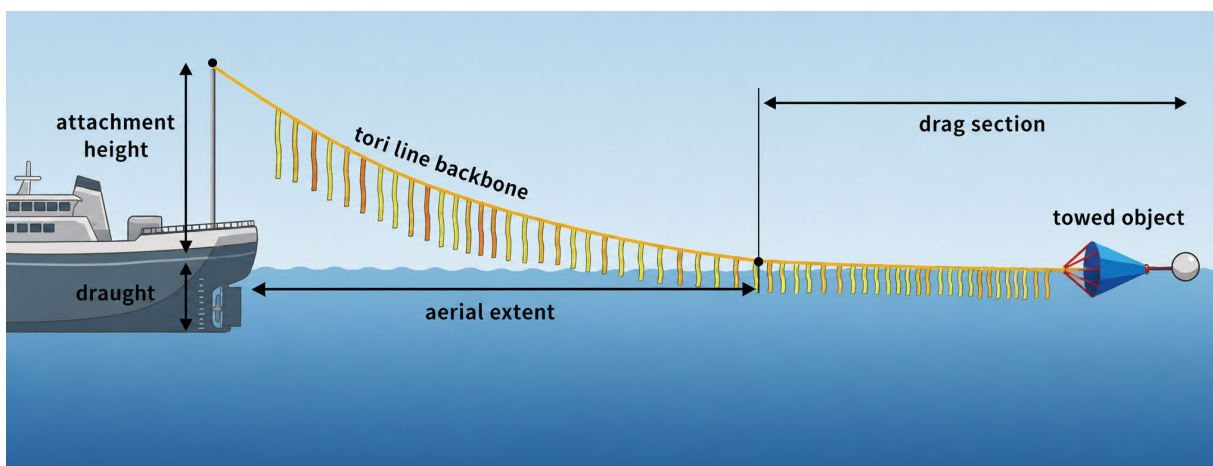


Figura 3 Diagrama esquemático de la estructura de la línea tori con un objeto remolcado fijado a la sección de cola y definición de la extensión aérea (la definición mostrada en este esquema fue adaptada de Goad (2017))

Figure 3 Schematic diagram of the tori line structure with a towed object attached to the tail section and the definition of aerial extent (The definition shown in this schematic was adapted from Goad (2017))

La medición en campo de la extensión aérea se realizó con un telémetro láser visual (INKERSI KE500; Figura 4), con un rango nominal de medición de 3-500 m y una precisión nominal de medición de distancia de $\pm(1 + D \times 0.3\%)$ m, donde D denota la distancia medida. El poste de soporte en la plataforma de prueba tenía 6 m de longitud, la altura desde la punta del poste hasta la superficie del mar era de 8.3 m, y el calado del buque era de 4.2 m. Durante los ensayos en el mar, cada configuración se midió después de que la velocidad del buque se estabilizara y el remolque continuara durante 5 min. Una vez que la postura de la línea tori fue generalmente estable, su extensión aérea se midió utilizando el modo de medición de distancia horizontal del instrumento, y se registró un valor medido representativo. Al mismo tiempo, los parámetros ambientales y operativos, incluidos velocidad del buque, rumbo, velocidad de la corriente y dirección de la corriente, se registraron a partir de los instrumentos del buque y se utilizaron como información de contexto para interpretar los resultados.



Figura 4 Diagrama esquemático del equipo de medición de la extensión aérea y del procedimiento de medición en campo para la línea tori (a: telémetro láser visual INKERSI KE500; b: investigadores midiendo la extensión aérea en campo)

Figure 4 Schematic diagram of the aerial extent measurement equipment and field measurement procedure for the tori line (a: the INKERSI KE500 visual laser rangefinder; b: researchers measuring the aerial extent in the field)

2.4 Diseño experimental y análisis de datos

Este ensayo en el mar adoptó un diseño factorial completo de dos factores, con tres niveles de velocidad del buque: 4.5, 6.0 y 8.2 kt. Bajo cada condición de velocidad del buque, se realizaron pruebas de remolque para las tres configuraciones de línea tori, a saber, la configuración base con cintas, la configuración con conos plásticos y la configuración con ancla de capa. Durante el ensayo, se registró simultáneamente información ambiental y operativa, incluida la hora de la prueba, latitud

y longitud, rumbo del buque, velocidad del viento, velocidad de la corriente y dirección de la corriente, y se utilizó como información de contexto para interpretar los resultados posteriores.

Dado que solo se obtuvo un valor representativo estable de extensión aérea para cada combinación cruzada de velocidad del buque y configuración, y que no se dispuso de observaciones repetidas dentro de los grupos, los datos se analizaron mediante un enfoque comparativo descriptivo. El análisis se realizó en dos dimensiones. En primer lugar, se introdujo como umbral de cumplimiento la extensión aérea mínima de 100 m requerida en las medidas de conservación de aves marinas, y se compararon horizontalmente las diferencias absolutas de extensión aérea y el estado de cumplimiento entre las distintas configuraciones de línea tori bajo la misma condición de velocidad del buque. En segundo lugar, se analizó verticalmente la respuesta dinámica del desempeño aéreo a los cambios de velocidad del buque dentro de cada configuración, y se calculó el cambio porcentual relativo de la extensión aérea para cada configuración a fin de cuantificar los efectos positivos o negativos de diferentes objetos remolcados terminales sobre el desempeño aéreo.

3 Resultados

3.1 Panorama general de las condiciones ambientales de prueba

Las pruebas en el mar de todas las combinaciones de configuración se realizaron consecutivamente el mismo día y en la misma área marina, con condiciones meteorológicas y de corriente relativamente estables durante la ventana general de prueba. Durante el ensayo, las condiciones de la corriente superficial no cambiaron de forma marcada; la velocidad de la corriente se mantuvo entre 1.4 y 1.6 km/h, y la dirección de la corriente fue estable en 65°. La velocidad del viento en superficie mostró cierta variación natural, con valores medidos que oscilaron aproximadamente entre 12.7 y 28.6 km/h. En particular, la configuración base con cintas se probó bajo velocidades de viento relativamente más bajas en todos los niveles de velocidad del buque, con un rango de 12.7 a 15.8 km/h. En contraste, las velocidades de viento durante las pruebas de la configuración con conos plásticos y de la configuración con ancla de capa fueron relativamente más altas, con rangos de 26.3 a 28.6 km/h y de 22.7 a 26.2 km/h, respectivamente.

3.2 Desempeño general de la extensión aérea y margen de cumplimiento

En los ensayos comparativos en el mar, las tres configuraciones de línea tori mostraron diferencias claras entre configuraciones en la extensión aérea a las tres velocidades operativas del buque de 4.5, 6.0 y 8.2 kt (Tabla 2). Bajo todas las condiciones de prueba, la configuración con ancla de capa logró consistentemente el mejor desempeño aéreo, con una extensión aérea de 103.8-116.2 m. La configuración base con cintas ocupó el segundo lugar, con una extensión aérea de 98.9-109.7 m, mientras que la configuración con conos plásticos tuvo la extensión aérea más corta, con un rango de 70.8 a 82.5 m.

Utilizando la extensión aérea mínima de 100 m como referencia, la configuración con ancla de capa superó este umbral en los tres niveles de velocidad del buque y mostró un margen de cumplimiento suficiente (+3.8 a +16.2 m). Esto indica que, incluso si se producen fluctuaciones de la velocidad del buque o una caída repentina de la velocidad del viento durante las operaciones pesqueras, esta configuración todavía tiene una alta probabilidad de mantener el cumplimiento. La configuración base con cintas superó la referencia a velocidades medias y altas del buque, es decir, 6.0 y 8.2 kt, pero su margen de cumplimiento fue relativamente limitado (+4.2 a +9.7 m); a la velocidad baja de 4.5 kt, sin embargo, quedó ligeramente por debajo del umbral, con una extensión aérea de 98.9 m. En contraste, la configuración con conos plásticos permaneció por debajo de la referencia de 100 m a todas las velocidades evaluadas, alcanzando un máximo de solo 82.5 m, y por lo tanto no logró formar una zona ideal de disuasión aérea (Figura 5).

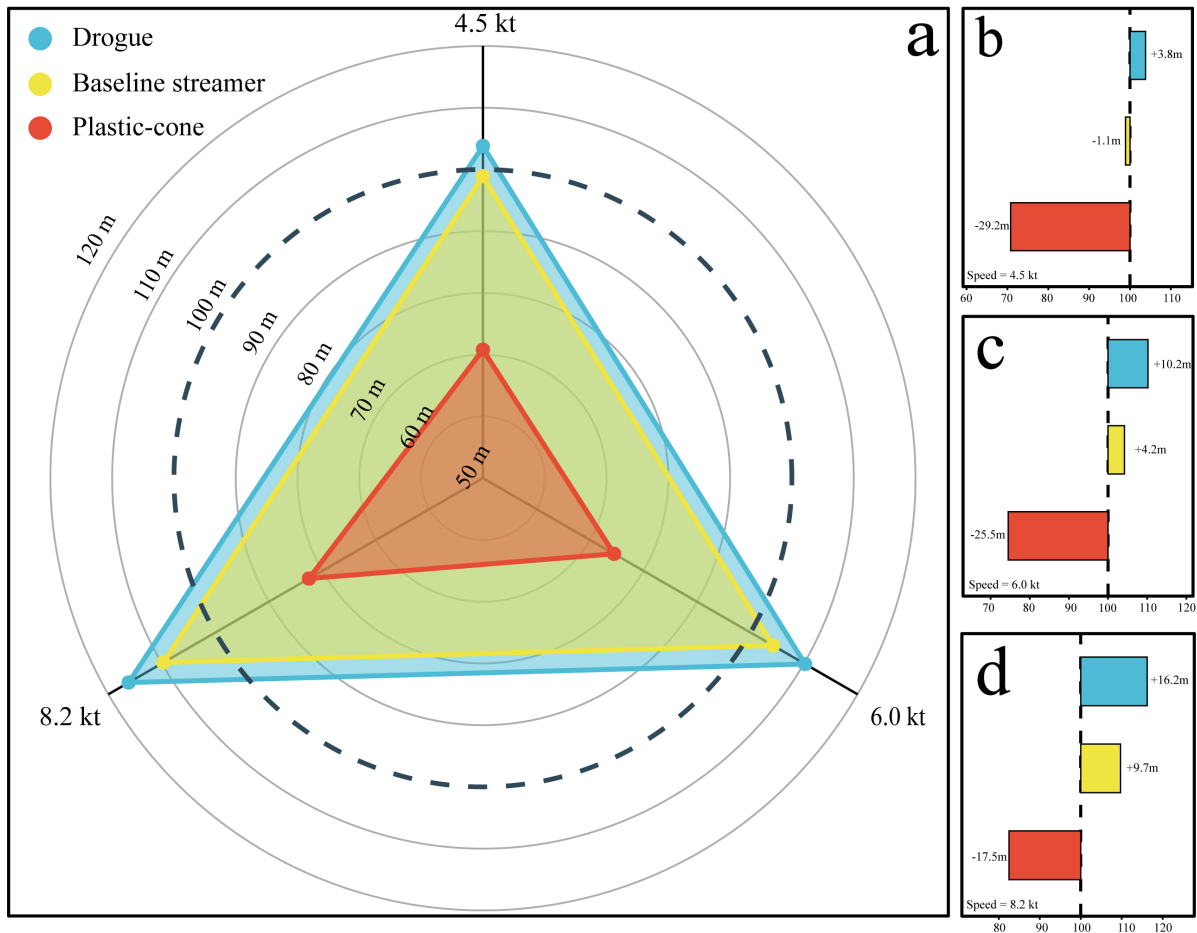


Figura 5 Comparación integral del desempeño de la extensión aérea entre diferentes configuraciones de línea tori a distintas velocidades del buque (a: desempeño general de las tres configuraciones; b-d: margen de cumplimiento a velocidades del buque de 4.5, 6.0 y 8.2 kt, respectivamente)

Figure 5 Comprehensive comparison of aerial extent performance among different tori line configurations at different vessel speeds (a: overall performance of the three configurations; b-d: compliance buffer at vessel speeds of 4.5, 6.0, and 8.2 kt, respectively)

Tabla 2 Comparación de la extensión aérea entre diferentes configuraciones de línea tori bajo distintas condiciones de velocidad del buque

Configuración de línea tori	Velocidad del buque (kt)	Duración del remolque tras la estabilización de la velocidad (min)	Extensión aérea (m)	Rango
Ancla de capa	4.5	5	103.8	1
Base con cintas	4.5	5	98.9	2
Conos plásticos	4.5	5	70.8	3
Ancla de capa	6.0	5	110.2	1
Base con cintas	6.0	5	104.2	2
Conos plásticos	6.0	5	74.5	3
Ancla de capa	8.2	5	116.2	1
Base con cintas	8.2	5	109.7	2
Conos plásticos	8.2	5	82.5	3

3.3 Respuesta del desempeño aéreo a los cambios en la velocidad del buque

La extensión aérea de las tres configuraciones mostró una tendencia positiva con el aumento de la velocidad del buque, lo que indica que el incremento de la fuerza de remolque hidrodinámica asociado con una mayor velocidad del buque aumentó la tensión aérea de todas las configuraciones de línea tori. No obstante, la magnitud de la respuesta a los cambios de velocidad del buque difirió entre configuraciones (Figura 5). Específicamente, cuando la velocidad del buque aumentó de 4.5 kt a la velocidad operativa habitual más alta de 8.2 kt, la configuración con ancla de capa mostró el mayor incremento absoluto de extensión aérea, pasando de 103.8 m a 116.2 m, un aumento de 12.4 m (+11.9%). La configuración con conos plásticos aumentó de 70.8 m a 82.5 m, un incremento de 11.7 m (+16.5%), mientras que la configuración base con cintas aumentó de 98.9 m a 109.7 m, un incremento de 10.8 m (+10.9%). Con base en la tasa media de cambio entre la condición de baja velocidad y la de alta velocidad, los incrementos de extensión aérea por unidad de velocidad del buque fueron de 3.35 m/kt, 3.16 m/kt y 2.92 m/kt para la configuración con ancla de capa, la configuración con conos plásticos y la configuración base con cintas, respectivamente.

Utilizando la configuración base con cintas como referencia de control, los diferentes objetos remolcados de la sección de cola mostraron efectos positivos o negativos pronunciados sobre el desempeño aéreo a nivel del sistema. La configuración con ancla de capa produjo una ganancia positiva estable: a velocidades del buque de 4.5, 6.0 y 8.2 kt, su extensión aérea aumentó en 5.0%, 5.8% y 5.9%, respectivamente, en comparación con la configuración base con cintas. En contraste, la serie de conos plásticos produjo un efecto negativo sustancial, con disminuciones de la extensión aérea de 28.4%, 28.5% y 24.8%, respectivamente, en relación con la configuración base con cintas a las tres velocidades del buque.

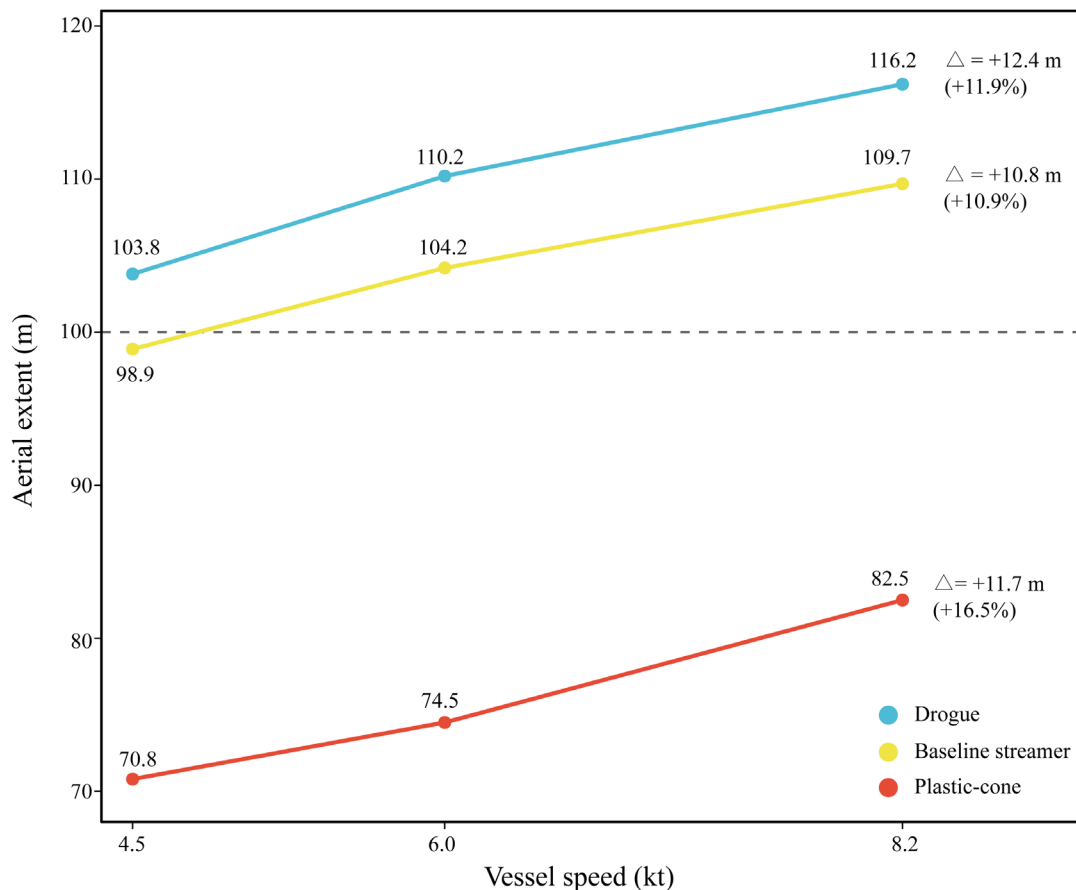


Figura 6 Cambios en el desempeño aéreo de las tres configuraciones de línea tori a diferentes velocidades del buque
Figure 6 Changes in aerial performance of the three tori line configurations at different vessel speeds

4 Discusión

Este estudio mostró que diferentes configuraciones de línea tori presentaron diferencias claras en la extensión aérea bajo la misma plataforma de prueba y condiciones operativas similares. Entre ellas, la configuración con ancla de capa alcanzó la mayor extensión aérea a las tres velocidades del buque, la configuración base con cintas mostró un desempeño intermedio y la configuración con conos plásticos registró sistemáticamente la menor extensión aérea. Estos resultados indican que los cambios en la configuración de la sección de cola pueden afectar marcadamente el estado de despliegue de una línea tori sobre el área crítica a popa del buque y su capacidad de mantener una cobertura aérea continua. La función principal de una línea tori es formar una zona continua de disuasión aérea a popa del buque, reduciendo así las oportunidades de que las aves marinas se acerquen y ataquen los anzuelos cebados en hundimiento. Por lo tanto, la extensión aérea se ha considerado durante mucho tiempo un indicador técnico importante para evaluar el desempeño físico de las líneas tori. Los estudios pertinentes y las orientaciones de buenas prácticas han enfatizado que la cobertura aérea proporcionada por una línea tori debería, en la medida de lo posible, cubrir el área crítica a popa hasta que los anzuelos cebados se hundan a profundidades accesibles para las aves

marinas, y que las líneas tori deberían utilizarse en combinación con otras medidas de mitigación (Melvin et al., 2014; Sato et al., 2013).

Sobre la base de los resultados del presente ensayo, la configuración con ancla de deriva alcanzó la mayor extensión aérea a todas las velocidades de la embarcación. Inferimos que esto se debió principalmente a la gran área proyectada sumergida del ancla de deriva, junto con el flotador antihundimiento, lo que permitió que el ancla de deriva “sujetara” de manera estable el flujo de agua a su profundidad óptima de trabajo y generara una considerable resistencia hidrodinámica para soportar el peso propio en el aire de la línea principal de la línea tori de clase 200 m. En contraste, el hallazgo más llamativo de este estudio fue que la serie de conos plásticos, diseñada originalmente de forma específica para reducir el riesgo de enredo entre el accesorio terminal y el arte de palangre, presentó un desempeño inferior en todas las condiciones evaluadas en comparación con la configuración básica con cintas, que no tenía ningún accesorio terminal. Este fenómeno contraintuitivo revela el mecanismo dinámico de equilibrio de fuerzas de las líneas tori en la interfaz aire-agua. Aunque la configuración básica con cintas no tenía un componente adicional específico generador de resistencia, varias decenas de metros de su línea principal terminal permanecían sumergidas, proporcionando una tensión de remolque relativamente estable y continua mediante la resistencia por fricción superficial generada por la propia línea. En cambio, la serie de conos plásticos tenía una capacidad global relativamente baja para generar resistencia y, a velocidades medias-altas de 4.5-8.2 kt, los conos ligeros eran propensos a producir fenómenos de deslizamiento sobre la superficie (surfing) o rebote (porpoising) sobre la superficie de las olas. Una vez que los conos saltaban sobre las crestas de las olas, la resistencia hidrodinámica podía perderse instantáneamente, provocando fuertes fluctuaciones en la tensión de la línea principal y un rápido colapso de la extensión aérea. La implicación de ingeniería de este fenómeno es que la presencia de un accesorio terminal no es necesariamente mejor que su ausencia. Si el componente generador de resistencia se selecciona de forma inadecuada o presenta una inestabilidad dinámica excesiva al intentar equilibrar la seguridad anti-enredo, puede alterar la configuración submarina original de la línea principal de la línea tori.

Debe señalarse que este estudio comparó diferencias de extensión aérea entre distintas configuraciones. Las diferencias entre la configuración con ancla de capa y la configuración con conos plásticos pueden haber estado influidas no solo por sus formas estructurales, sino también por el tamaño y número de los componentes anexos y las diferencias resultantes en la resistencia de remolque. Por lo tanto, los resultados actuales se interpretan más adecuadamente como indicativos de que, bajo los parámetros de configuración utilizados en este ensayo, la configuración con ancla de capa exhibió un mejor desempeño aéreo. No deberían atribuirse directamente a una ventaja inherente absoluta de una forma estructural particular de accesorio terminal. Además, este estudio evaluó la extensión aérea física, no las tasas reales de captura incidental. Los niveles de captura incidental de

aves marinas están influidos no solo por la configuración de la línea tori, sino también por múltiples factores, como el calado nocturno, el lastrado de brazoladas, la composición de la comunidad de aves marinas, el tipo de buque, el estado del mar y la consistencia operativa (Dias et al., 2019; Jiménez et al., 2020; Good et al., 2020). Por consiguiente, las conclusiones actuales no deben interpretarse como una verificación final de la eficacia de mitigación de la captura incidental.

Al mismo tiempo, en este ensayo solo se obtuvo un valor representativo de extensión aérea para cada combinación “configuración-velocidad del buque”, y las condiciones de viento difirieron en cierta medida entre las pruebas. Debido a las limitaciones del calendario operativo real del buque, ciertas características ambientales estuvieron objetivamente asociadas con configuraciones específicas. Esta estructura de datos implicó un alto grado de multicolinealidad, lo que dificultó aislar eficazmente el efecto principal de la velocidad del viento mediante un modelo estadístico multivariado simple. Sin embargo, desde la perspectiva de la mecánica de fluidos, el agua de mar es aproximadamente 800 veces más densa que el aire. Por lo tanto, la alta tensión de remolque de la línea tori se derivó predominantemente de la resistencia hidrodinámica generada por los componentes submarinos, mientras que el efecto de sustentación aerodinámica de las fluctuaciones del campo de viento sobre la configuración del cabo principal fue extremadamente limitado. La comparación cruzada de los datos también respalda firmemente esta interpretación: la configuración con conos plásticos siguió mostrando el peor desempeño aéreo bajo la mayor velocidad de viento registrada durante el ensayo, mientras que la configuración con ancla de capa continuó mostrando un aumento de la extensión aérea a medida que aumentó la velocidad del buque y disminuyó la velocidad del viento. Esto indica que la fuerza impulsora fundamental detrás de las diferencias significativas en extensión aérea fue la diferencia en resistencia hidrodinámica submarina, más que la perturbación aerodinámica. En conjunto, las condiciones experimentales de este estudio cumplieron los requisitos lógicos para una comparación horizontal.

A la luz de estas consideraciones, los estudios futuros deberían realizar ensayos repetidos bajo una gama más amplia de estados del mar, tipos de buque y condiciones operativas. En condiciones en las que se estandaricen, en la mayor medida posible, el nivel de resistencia del objeto remolcado y la estructura básica de la sección de cola, trabajos posteriores deberían distinguir entre los efectos estructurales y los efectos relacionados con el tamaño entre configuraciones. Además, deberían incorporarse observaciones del comportamiento de aves marinas o registros reales de captura incidental para verificar más a fondo la eficacia de mitigación de diferentes configuraciones.

Sobre la base de las mediciones de campo y los mecanismos físicos descritos anteriormente, este estudio sugiere que, aunque las medidas de conservación y ordenación de algunas OROPs exigen la instalación de un objeto remolcado cuando una línea tori es más corta que una longitud especificada, aún no definen claramente las características físicas que debe tener dicho objeto. Las pruebas en el

mar mostraron que, si se utiliza un dispositivo con resistencia de arrastre insuficiente, este puede generar fenómenos de deslizamiento sobre la superficie y rebote en la superficie del mar, impidiendo que la línea tori alcance la extensión aérea mínima requerida y, por tanto, comprometiendo la eficacia de la mitigación de la captura incidental.

En consecuencia, se recomienda que en futuras revisiones de las medidas de conservación y ordenación (CMMs) pertinentes se detallen más los requisitos técnicos aplicables a los objetos remolcados. Considerando las diferencias en las condiciones operativas entre las distintas flotas, se recomienda en primer lugar alentar a las CPCs a realizar estudios de factibilidad y desempeño de las medidas de mitigación en función de sus condiciones operativas específicas. Además, sin imponer un tipo específico de objeto remolcado, se recomienda establecer “la capacidad de proporcionar una resistencia de arrastre suficiente y estable” como requisito técnico de referencia para los objetos remolcados, a fin de garantizar que la extensión aérea pueda cubrir eficazmente la zona de hundimiento de los anzuelos cebados. Este enfoque combinado proporcionaría a las flotas una orientación más científica para la selección de equipos y contribuiría a mejorar la eficacia práctica del cumplimiento de las medidas de mitigación de la captura incidental de aves marinas.

Agradecimientos: Este estudio fue financiado por el Programa Nacional Clave de Investigación y Desarrollo de China, “Investigación y desarrollo de tecnologías para reducir la captura incidental en pesquerías oceánicas y evaluación de sus efectos de conservación de recursos” (2024YFD2400605); el proyecto especial del Ministerio de Agricultura y Asuntos Rurales “Monitoreo dinámico y evaluación de recursos de especies pesqueras importantes a nivel mundial”; el proyecto “Estudio científico integral de los recursos pesqueros de alta mar en el Pacífico occidental y central”; y el proyecto “Apoyo técnico para la pesca ecológica en pesquerías de aguas distantes”. Agradecemos a la tripulación del Rongheng 513, así como a Shen Ming, Song Wenhui y demás personal de prueba, por su apoyo durante el trabajo de campo.

Referencias

- ACAP. Review and Best Practice Advice for Reducing the Impact of Pelagic Longline Fisheries on Seabirds. 2019.
- ACAP. Review of mitigation measures and Best Practice Advice for Reducing the Impact of Pelagic Longline Fisheries on Seabirds. Reviewed at the Thirteenth Meeting of the Advisory Committee, Edinburgh, United Kingdom, 2023.
- ACAP. Review of mitigation measures and Best Practice Advice for Reducing the Impact of Pelagic Longline Fisheries on Seabirds. Reviewed at the Fourteenth Meeting of the Advisory Committee, Lima, Peru, 2024.
- Anderson O R J, Small C J, Croxall J P, et al. Global seabird bycatch in longline fisheries. *Endangered Species Research*, 2011, 14: 91-106.
- Carle R D, Felis J J, Vega R, et al. Overlap of Pink-footed Shearwaters and central Chilean purse-seine fisheries: Implications for bycatch risk. *The Condor*, 2019, 121(3): duz026.
- Da Rocha N, Oppel S, Prince S, et al. Reduction in seabird mortality in Namibian fisheries following the introduction of bycatch regulation. *Biological Conservation*, 2021, 253: 108915.
- Dias M P, Martin R, Pearmain E J, et al. Threats to seabirds: a global assessment. *Biological Conservation*, 2019, 237: 525-537.
- Domingo A, Jiménez S, Abreu M, et al. Effectiveness of tori line use to reduce seabird bycatch in pelagic longline fishing. *PLoS One*, 2017, 12(9): e0184465.
- Gilman E, Chaloupka M, Ishizaki A, et al. Tori lines mitigate seabird bycatch in pelagic longline fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2021, 31(3): 653-666.
- Goad D. Tori line designs for small longline vessels: final report. [S.l.]: Vita Maris for the Department of Conservation, 2017.
- Good S D, Baker G B, Gummery M, et al. National Plans of Action (NPOAs) for reducing seabird bycatch: Developing best practice for assessing and managing fisheries impacts. *Biological Conservation*, 2020, 247: 108592.
- IATTC. Resolution C-11-02: Resolution to mitigate the impact on seabirds of fishing for species covered by the IATTC. 2011.
- Jiménez S, Domingo A, Winker H, et al. Towards mitigation of seabird bycatch: Large-scale effectiveness of night setting and tori lines across multiple pelagic longline fleets. *Biological Conservation*, 2020, 247: 108642.

- Melvin E F, Guy T J, Read L B. Best practice seabird bycatch mitigation for pelagic longline fisheries targeting tuna and related species. *Fisheries Research*, 2014, 149: 5-18.
- Phillips R. A., Gales R., Baker G. B, et al. 2016. The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. *Biological Conservation*, 201: 169-183.
- Sato N, Minami H, Katsumata N, et al. Comparison of the effectiveness of paired and single tori lines for preventing bait attacks by seabirds and their bycatch in pelagic longline fisheries. *Fisheries Research*, 2013, 140: 14-19.
- Votier S C, Sherley R B, Scales K L, et al. An overview of the impacts of fishing on seabirds, including identifying future research directions. *ICES Journal of Marine Science*, 2023, 80(9): 2380-2392.
- Žydelis R, Small C, French G. The incidental catch of seabirds in gillnet fisheries: a global review. *Biological Conservation*, 2013, 162: 76-88.

Apéndice 1

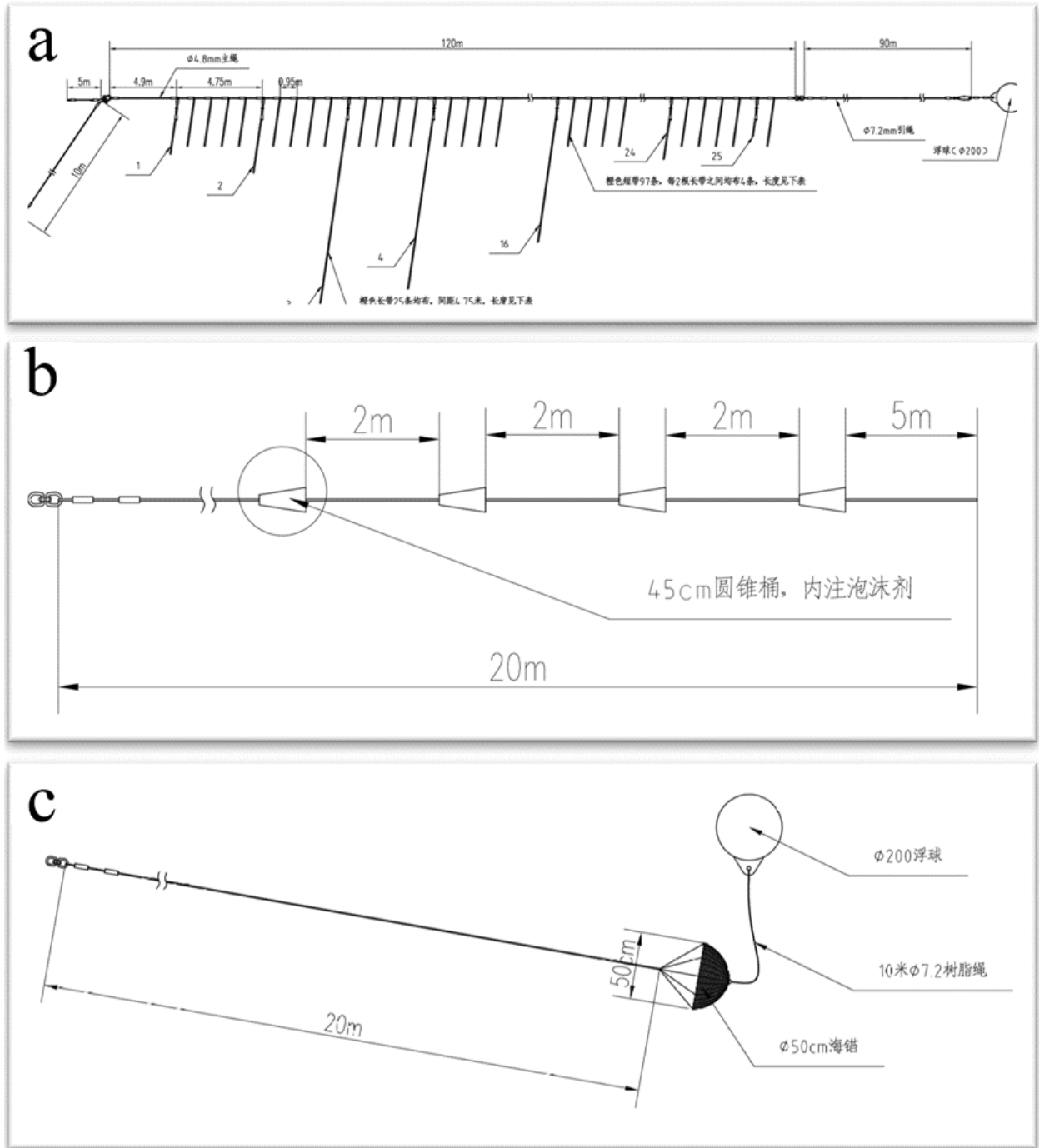


Figura 1A Diagrama esquemático de la estructura de la línea tori y de las estructuras y parámetros principales de los dos objetos remolcados modificados de la sección de cola (a-c: configuración base con cintas, configuración con conos plásticos y configuración con ancla de capa, respectivamente)

Figure 1A Schematic diagram of the tori line structure and the structures and main parameters of the two modified tail-section towed objects (a-c: the baseline streamer configuration, plastic-cone configuration, and drogue configuration, respectively)