



Análisis Técnico del Sistema de Arrastre

Buque Pesquero B/P “Verge Loreto Segona”



Informe Técnico

Frank Chalkling

Creador del software Trawl Vision
Socio fundador de AcruxSort SRL

Mediterráneo, Marzo 2026

1) Análisis Técnico del Sistema de Arrastre

Buque Pesquero B/P "Verge Loreto Segona"

AcruxSoft – Tecnología para Pesquerías Sustentables

AcruxSoft es una empresa especializada en el desarrollo de soluciones **tecnológicas avanzadas** para el sector pesquero. Su enfoque se fundamenta en una metodología integral que combina conocimiento práctico de la actividad pesquera con herramientas científicas y tecnológicas de última generación.

Fundada en el año 2008, la empresa se encuentra comprometida con la protección del medio ambiente y con el desarrollo de prácticas pesqueras responsables que permitan garantizar la sostenibilidad de los recursos marinos.

A través de la investigación aplicada, el desarrollo de software especializado y la capacitación técnica de tripulaciones y empresas pesqueras, AcruxSoft busca optimizar la eficiencia operativa de los sistemas de captura.

La misión de la empresa es contribuir a la construcción de un equilibrio sostenible entre productividad pesquera, preservación ecológica y bienestar humano, posicionándose como un aliado estratégico para la modernización tecnológica de la industria pesquera global.

2) Datos del formulador del informe.

El análisis fue realizado por un Capitán de Pesca Frank Chalkling con más de 30 años de experiencia, socio fundador de AcruxSoft y creador del software TrawlVision, desarrollado inicialmente durante sus campañas de pesca y posteriormente perfeccionado junto a ingenieros e investigadores de la Universidad de la República (UDELAR), Uruguay.

A lo largo de su trayectoria ha participado en más de 600 proyectos de optimización pesquera en Latinoamérica y Europa, desarrollando tecnologías para mejorar la eficiencia técnica, energética y operativa de los sistemas de arrastre. Entre sus desarrollos destacan TVM – Trawl Vision Mobile, orientado a la gestión operativa de los pescadores, y Smart Trawl, un sistema con sensores que monitorea en tiempo real la simetría y carga de las redes de arrastre.

También contribuyó al desarrollo inicial de la interfaz, posteriormente adquirida por SIMRAD (Grupo Kongsberg), impulsando la incorporación de tecnología en la pesca.

Por sus innovaciones ha recibido reconocimientos internacionales, entre ellos la Medalla de Oro en la Exposición Internacional de Invenciones de Ginebra, y la selección de AcruxSoft entre las Top 50 empresas más innovadoras en Helsinki (INFODEV) por su aporte a una pesca más eficiente y sostenible.

3) Objetivo del Diagnóstico

A solicitud del responsable técnico del buque **B/P "Verge Loreto Segona"**, capitán **Salvador Juan Rodríguez Álvarez**, del Puerto de Javea, España se presenta el siguiente análisis técnico del sistema de arrastre utilizado a bordo de la embarcación.

El buque desarrolla su actividad pesquera en el **Mar Mediterráneo**, utilizando un sistema de arrastre demersal adaptado a las condiciones operativas características de esta pesquería.

El objetivo principal del estudio es analizar el comportamiento estructural, hidrodinámico y operativo de la red de arrastre actualmente utilizada por el buque, evaluando su desempeño bajo condiciones normales de operación.

Mediante este diagnóstico se busca:

- analizar la geometría y estructura del arte de pesca
- evaluar el comportamiento hidrodinámico del sistema durante el arrastre
- determinar parámetros operativos como apertura vertical, apertura horizontal y volumen filtrado
- estimar la resistencia total del sistema de arrastre
- identificar oportunidades de optimización para mejorar la eficiencia energética y operativa del sistema

Este análisis permite aportar información técnica objetiva para optimizar el rendimiento del aparejo y mejorar la eficiencia de la operación pesquera.

4) Resumen Ejecutivo

Las redes de arrastre constituyen uno de los sistemas de captura más utilizados en la pesca comercial. Su funcionamiento depende de múltiples factores interrelacionados, entre los que destacan el diseño estructural de la red, los materiales utilizados, la hidrodinámica del aparejo y las condiciones operativas de la embarcación.

Comprender la interacción entre estos elementos resulta fundamental para optimizar la eficiencia de captura, reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental de la actividad pesquera.

En el presente informe se analizan los aspectos estructurales y dinámicos del sistema de arrastre utilizado por el **B/P "Verge Loreto Segona"**, mediante el uso del software especializado **TrawlVision Simulator (TVS) versión 1.3.20 (actualización 2024)**, desarrollado por AcruxSoft.

La simulación hidrodinámica permite analizar el comportamiento del sistema de pesca en diferentes velocidades de arrastre y evaluar parámetros fundamentales como:

- apertura vertical de la red
- apertura horizontal entre alas

- distancia entre puertas
- volumen de agua filtrado por el arte
- área efectiva de barrido
- resistencia hidrodinámica del sistema

Los avances recientes en materiales y diseño han permitido una evolución significativa en los sistemas de arrastre, reduciendo el área sólida de los componentes del aparejo y disminuyendo la resistencia hidrodinámica durante la operación.

Esta optimización genera diversos beneficios operativos, entre los que destacan:

- reducción del esfuerzo de arrastre
- menor consumo de combustible
- mayor estabilidad del sistema de pesca
- incremento del área efectiva de pesca

Gracias a estas mejoras, los buques de arrastre pueden operar con mayor eficiencia energética, incrementando el volumen de agua filtrado por la red y mejorando el rendimiento global de captura.

5) Metodología de Análisis

El estudio se basa en el análisis de dos componentes principales del sistema de arrastre.

a) Análisis estructural del arte de pesca

El diseño de la red de arrastre influye directamente en su comportamiento durante la operación.

Elementos como la geometría de la boca, la configuración del cuerpo de la red, el peso de los paños y la distribución de flotación y lastre determinan el rendimiento final del sistema.

Para este análisis se evaluaron mediante el software **TrawlVision Simulator (TVS)** los siguientes parámetros:

- dimensiones geométricas del arte de pesca
- proporciones estructurales de la red
- ángulos de corte de los paneles
- peso de los paños y distribución de cargas
- diámetro del hilo y superficie sólida de la red
- tamaño de malla y capacidad de filtración
- distribución de flotación y lastre
- ángulo de ataque del sistema de arrastre
- tipo de puertas utilizadas y sus propiedades hidrodinámicas

b) Análisis dinámico del sistema de arrastre

Durante la operación de pesca, la red de arrastre está sometida a diversas fuerzas que influyen directamente en su comportamiento dinámico.

Estas fuerzas pueden clasificarse en:

Fuerzas hidrodinámicas

Corresponden a la resistencia ejercida por el agua sobre los distintos componentes del aparejo, afectando su estabilidad, apertura y eficiencia.

Fuerzas mecánicas

Se originan a partir de las tensiones transmitidas por cables, malletas, vientos y bridas durante la operación de arrastre.

Actualmente existen instrumentos electrónicos capaces de medir parámetros operativos del sistema de pesca, tales como:

- distancia entre puertas
- apertura vertical de la red
- profundidad de trabajo

Sin embargo, el desafío principal radica en interpretar correctamente estos datos para optimizar la eficiencia del sistema.

En este contexto, AcruxSoft ha desarrollado una metodología única de análisis que permite comprender el equilibrio dinámico del sistema de arrastre y optimizar su funcionamiento mediante herramientas de simulación digital.

Este enfoque permite:

- mejorar la eficiencia de captura
- reducir el consumo de combustible
- optimizar la estabilidad del sistema de pesca
- minimizar el impacto ambiental

6) Características del Buque y del Sistema de Pesca

El presente análisis corresponde a un buque pesquero equipado con un sistema de arrastre demersal, diseñado para operar en profundidades medias de aproximadamente 400 metros, con una velocidad de arrastre operativa cercana a 3 nudos.

El buque dispone de una potencia propulsora de 720 CV, lo que permite generar una fuerza de remolque aproximada de 3200 kgf, distribuida de forma equilibrada entre ambos cables de arrastre (1600 kgf por banda). Esta capacidad de tiro asegura la estabilidad hidrodinámica del sistema de pesca y el correcto funcionamiento del arte durante la operación.

El sistema de apertura horizontal se realiza mediante puertas de arrastre Sea Hawk (Mori Carlo), con una superficie hidrodinámica de 1,75 m² y un peso unitario de 350 kg, configuradas para proporcionar una adecuada separación lateral del sistema.

Los pies de gallo presentan una longitud de 4,5 metros, permitiendo una transmisión eficiente de las fuerzas entre las puertas y el sistema de red.

El sistema de remolque está compuesto por malletas de 200 metros de longitud y 41 mm de diámetro, que conectan con los vientos de 35 metros, construidos con un diámetro de 24 mm en su sección superior (Dynema) y 44 mm en la sección inferior (nylon). Esta combinación de materiales permite optimizar la resistencia mecánica y la absorción de cargas dinámicas durante el arrastre.

El buque opera con 1150 metros de cable de arrastre de 16 mm de diámetro, configurado para trabajar de forma eficiente en las profundidades habituales de la pesquería.

Desde el punto de vista energético, el sistema presenta un consumo diario aproximado de combustible de 850 litros por cada 12 horas de operación, valor que refleja la potencia requerida para mantener la velocidad de arrastre y la estabilidad del sistema.

7) Características de la Red de Arrastre

La red de arrastre presenta una relinga superior de 75 metros y una relinga inferior de 85 metros, configuradas para generar una boca de captura eficiente y estable durante la operación.

El sistema de flotación está compuesto por 34 flotadores, proporcionando una flotación total de 98 kgf, distribuida estratégicamente a lo largo de la relinga superior para garantizar la correcta apertura vertical de la red. La distribución de la flotación es la siguiente:

- 6 flotadores en la zona de la boca de la red (3 por cada banda)
- 6 flotadores en la zona de transición donde se ubican las mallas tipo T
- 5 flotadores adicionales distribuidos en el resto de la banda

Esta configuración permite mantener la estabilidad hidrodinámica de la boca de la red durante el remolque.

La red presenta una abertura entre alas de aproximadamente 30 metros, mientras que la separación entre puertas alcanza los 110 metros, generando un sistema de arrastre equilibrado y adecuado para la operación a las velocidades indicadas.

La apertura vertical operativa es de aproximadamente 3 metros, lo que define el volumen efectivo de agua filtrado por el arte durante el arrastre.

Para garantizar el contacto adecuado con el fondo, el sistema cuenta con un lastre total de 210 kg, distribuido en la relinga inferior.

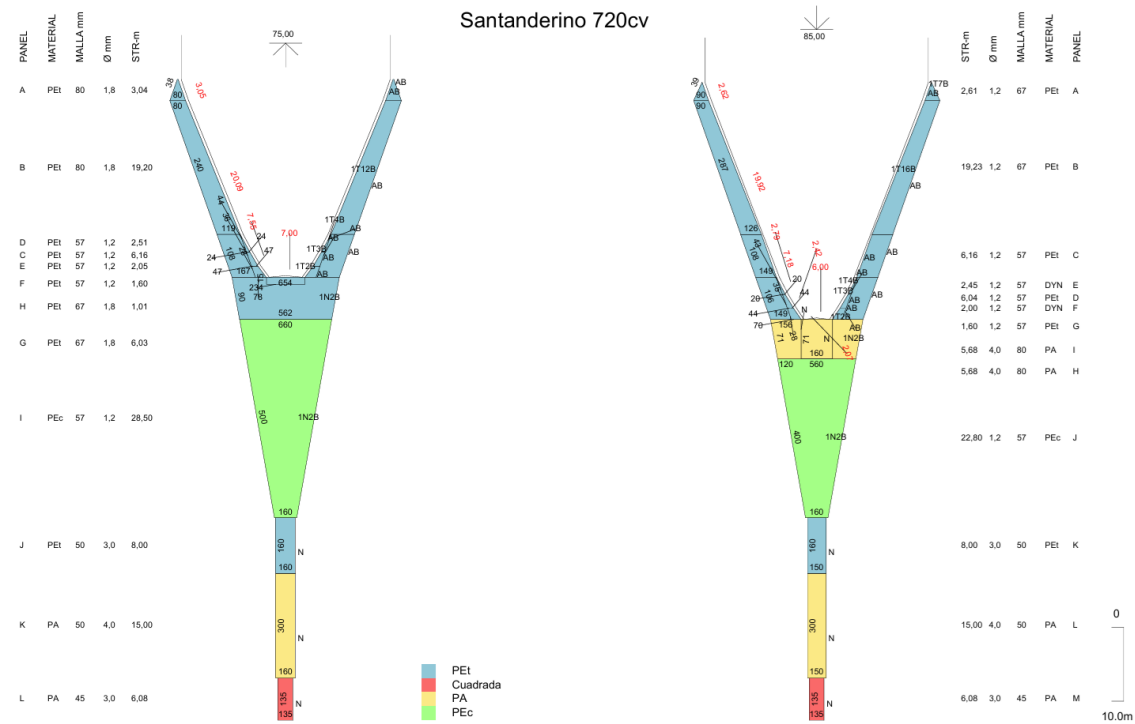
8) Parámetros Operativos del Sistema

Bajo estas condiciones operativas, el sistema de pesca se caracteriza por:

- Velocidad de arrastre: 3 nudos
- Profundidad media de operación: 400 m
- Separación entre puertas: 110 m
- Abertura vertical de la red: 3 m
- Abertura entre alas: 30 m

Estos parámetros definen el comportamiento hidrodinámico del arte de pesca y permiten evaluar su desempeño mediante herramientas de simulación digital aplicadas a la ingeniería pesquera, como las desarrolladas por AcruxSoft.

Grafico digital elaborado a través del software Trawl Vision a escala



9) Datos procesados por el software

Parámetro	Valor
Empresa	ARESTEUS S.L
Barco	B/P Verge Loreto Segona
Potencia (HP)	720 HP
Consumo	850lts/12h

Parámetro	Valor
Puertas Sea Hawk área 1,75m ² / Peso 350kg	
Tipo de red	Santanderino
Área del panel	934,3 m ²
Área del hilo	237,5 m ²
Longitud de la red	62,9 m
Círculo de pesca	75,4 m
Relinga superior	75,0 m
Relinga inferior	85,0 m
Ángulo de ataque de la red	13,0°
Flotación total	98 kgf
Lastre total	210 kg
Abertura horizontal de la red	28 m
Abertura vertical de la red	3 m

Síntesis Técnica de la Estructura y Geometría de la Red de Arrastre

PANEL	MATERIAL	RUNNAGE	MALLA [mm]	DIÁMETRO [mm]	LARGO DEL HILO [m]	ÍNDICE de FILTRACIÓN	PESO del sin NUDOS [Kg]	ÁREA HILO sin NUDOS [m²]	PESO del con NUDOS [Kg]	ÁREA HILO con NUDOS [m²]	ÁREA TRABAJO [m²]
Vista superior											
A	PEI	420	80	1,80	255	0,0225	1,22	0,92	1,79	1,25	6,34
B	PEI	420	80	1,80	3821	0,0225	18,19	13,75	26,72	18,71	94,82
C	PEI	900	57	1,20	2056	0,0211	4,57	4,93	6,60	6,60	36,35
D	PEI	900	57	1,20	60	0,0211	0,13	0,14	0,19	0,19	1,06
E	PEI	900	57	1,20	146	0,0211	0,32	0,35	0,47	0,47	2,58
F	PEI	900	57	1,20	200	0,0211	0,44	0,48	0,64	0,64	3,53
G	PEI	420	67	1,80	7332	0,0269	17,46	13,20	26,96	18,87	76,20
H	PEI	420	67	1,80	470	0,0269	1,12	0,85	1,73	1,21	4,89
I	PEC	500	57	1,20	23370	0,0211	46,74	28,04	67,48	37,49	206,61
J	PEI	150	50	3,00	2560	0,0600	17,07	7,68	36,13	15,05	19,85
K	PA	60	50	4,00	4800	0,0800	80,00	19,20	186,99	43,78	37,22
L	PA	60	45	3,00	1640	0,0667	27,34	4,92	61,02	10,17	11,45
Vista inferior											
A	PEI	900	67	1,20	235	0,0179	0,52	0,56	0,73	0,73	4,89
B	PEI	900	67	1,20	4153	0,0179	9,23	9,97	12,82	12,82	86,32
C	PEI	900	57	1,20	1834	0,0211	4,08	4,40	5,89	5,89	32,44
D	PEI	900	57	1,20	1801	0,0211	4,00	4,32	5,78	5,78	31,84
E	DYN	900	57	1,20	49	0,0211	0,11	0,12	0,16	0,16	0,87
F	DYN	900	57	1,20	128	0,0211	0,28	0,31	0,41	0,41	2,26
G	PEI	900	57	1,20	182	0,0211	0,40	0,44	0,58	0,58	3,22
H	PA	70	80	4,00	1568	0,0500	44,79	12,54	87,07	22,57	38,90
I	PA	70	80	4,00	1818	0,0500	25,97	7,27	50,48	13,09	22,55
J	PEC	500	57	1,20	16416	0,0211	32,83	19,70	47,40	26,33	145,13
K	PEI	150	50	3,00	2400	0,0600	16,00	7,20	33,87	14,11	18,61
L	PA	60	50	4,00	4500	0,0800	75,00	18,00	184,68	41,04	34,90
M	PA	60	45	3,00	1640	0,0667	27,34	4,92	61,02	10,17	11,45
			SUPERFICIE SÓLIDA sin NUDOS [m2]		PESO sin NUDOS [kg]				SUPERFICIE SÓLIDA con NUDOS [m2]		PESO del PANEL con NUDOS [kg]
PANELES SUPERIORES			94,47		214,60				154,43		426,72
PANELES INFERIORES			89,75		240,55				153,68		490,88
TOTAL			184,22		455,16				308,11		917,60

10) Características generales del arte de pesca

El sistema analizado corresponde a una red de arrastre tipo Santanderino, diseñada para operar en un buque de 720 CV, utilizada en pesquerías demersales del Mediterráneo.

El análisis estructural se realizó a partir de los datos constructivos de los paños y mediante herramientas de diseño digital utilizadas en ingeniería pesquera.

Los principales parámetros geométricos del arte son los siguientes:

Parámetro	Valor
Longitud total de la red	62,93 m
Longitud del cuerpo	27,15 m
Longitud del túnel	27,33 m
Altura estimada de la red	3,39 m
Apertura horizontal estimada	27,22 m
Área total de paneles	877,64 m ²
Área total de hilo	237,46 m ²
Círculo de pesca	75,38 m
Ángulo de ataque de la red	12,2°

Estos parámetros indican una red diseñada para mantener una apertura horizontal amplia con una altura moderada, característica de redes dirigidas a especies demersales.

11) Materiales utilizados en la red

El análisis de los paneles muestra que la red está construida principalmente con polietileno trenzado (PE) y poliamida (PA).

Polietileno trenzado (PE)

Es el material predominante en la estructura del arte y presenta las siguientes características:

- bajo peso específico
- alta flexibilidad
- baja absorción de agua
- menor resistencia hidrodinámica

Estas propiedades lo convierten en el material ideal para las zonas principales del cuerpo de la red, donde es necesario mantener una buena filtración del flujo de agua.

Poliamida (Nylon)

Se utiliza en zonas estructurales sometidas a mayores tensiones, debido a su mayor resistencia mecánica.

Las ventajas principales son:

- mayor resistencia a la tracción

- mayor durabilidad
- mejor comportamiento frente a cargas dinámicas.

La combinación de ambos materiales permite obtener un arte de pesca equilibrado entre resistencia estructural y eficiencia hidrodinámica.

12) Geometría de las mallas

El diseño presenta una reducción progresiva del tamaño de malla hacia la parte posterior de la red, lo cual es típico en redes de arrastre modernas.

Valores característicos:

Zona de la red Tamaño de malla

Alas y entrada 80 mm

Cuerpo principal 57 mm

Transición 50 mm

Zona posterior 45 mm

Este gradiente de malla permite:

- facilitar la entrada del flujo de agua en la boca de la red
- aumentar la eficiencia de filtración
- mejorar la retención de las especies objetivo.

13) Diámetro del hilo

Los diámetros utilizados en la red oscilan entre 1,2 mm y 4,0 mm.

Distribución aproximada:

Diámetro Zona de uso

1,2 mm cuerpo principal

1,8 mm alas

3,0 mm zonas reforzadas

4,0 mm paneles de alta carga

El aumento progresivo del diámetro del hilo hacia las zonas estructurales permite reforzar la red frente a las tensiones generadas por el arrastre.

14) Superficie sólida y peso estructural

La superficie sólida total del arte, considerando nudos, es aproximadamente:

308 m²

Este valor representa la cantidad de material que interactúa con el flujo de agua durante el arrastre.

El peso total estimado de los paños de la red es de aproximadamente:

917 kg

Este peso corresponde únicamente a los paños y no incluye:

- relingas
- flotadores
- lastre
- cables de arrastre.

15) Geometría del sistema de captura

El diseño presenta un círculo de pesca de 75,38 m, que representa la relación geométrica entre la boca de la red y su desarrollo longitudinal.

La relación entre el círculo de pesca y las dimensiones de la red es:

2,65

De acuerdo con estudios comparativos de redes de arrastre exitosas, los valores óptimos se encuentran entre:

2,4 y 3,22

Por lo tanto, el diseño se encuentra dentro de los rangos considerados hidrodinámicamente eficientes.

16) Comportamiento hidrodinámico estimado

El análisis del diseño indica las siguientes características de funcionamiento:

- apertura horizontal estimada: 27 m
- altura de red estimada: 3,4 m
- ángulo de ataque: 12,2°

Estos valores son típicos de redes diseñadas para capturar especies demersales como:

- merluza
- rape

- cigala
- calamar.

El coeficiente horizontal de apertura calculado se encuentra dentro de los rangos observados en redes utilizadas para estas pesquerías.

17) Diagnóstico técnico del diseño

A partir del análisis estructural y geométrico se pueden establecer las siguientes conclusiones.

Aspectos positivos del diseño

1. Proporciones geométricas adecuadas, dentro de los rangos de redes exitosas.
2. Buena relación entre círculo de pesca y longitud del arte.
3. Distribución progresiva de mallas, que favorece la filtración del flujo de agua.
4. Uso predominante de polietileno, lo que reduce peso y resistencia hidrodinámica.
5. Refuerzos estructurales en poliamida, que aumentan la durabilidad del arte.

18) Aspectos a considerar

1. La apertura vertical estimada es relativamente moderada ($\approx 3,4$ m), por lo que la captura dependerá fuertemente de la apertura horizontal.
2. El área total de hilo (237 m^2) indica una superficie sólida importante, lo que puede generar cierta resistencia hidrodinámica.
3. La eficiencia del sistema dependerá en gran medida de la correcta relación entre:
 - velocidad de arrastre
 - separación entre puertas
 - flotación de la red.

19) Conclusión estructurales de la red de arrastre

La red analizada presenta un diseño estructural equilibrado y coherente con redes modernas utilizadas en pesquerías demersales del Mediterráneo.

Sus principales características son:

- longitud total cercana a 63 m
- apertura horizontal estimada de 27 m
- altura aproximada de 3,4 m
- superficie sólida de aproximadamente 308 m^2

- peso estructural cercano a 900 kg

El diseño se encuentra dentro de los rangos geométricos observados en redes de arrastre exitosas, lo que sugiere un comportamiento hidrodinámico adecuado y una buena eficiencia operativa.

20) Evaluación de Resistencias del Sistema de Arrastre

El análisis hidrodinámico del sistema de pesca permite estimar la resistencia total al avance generada por cada componente del arte de arrastre. Estos valores representan la fuerza que el buque debe vencer para mantener la velocidad de arrastre durante la operación.

Los valores obtenidos del modelo de cálculo por simulación TVS son los siguientes:

Elemento del sistema Resistencia (Kgf)

Red	2634,0
Puertas	689,8
Remolque (cables)	1864,6
Lastre	88,2
Malletas	629,1
Flotadores	40,1
Brida superior	65,4
Brida inferior	118,2
Resistencia total	6129,2 Kgf

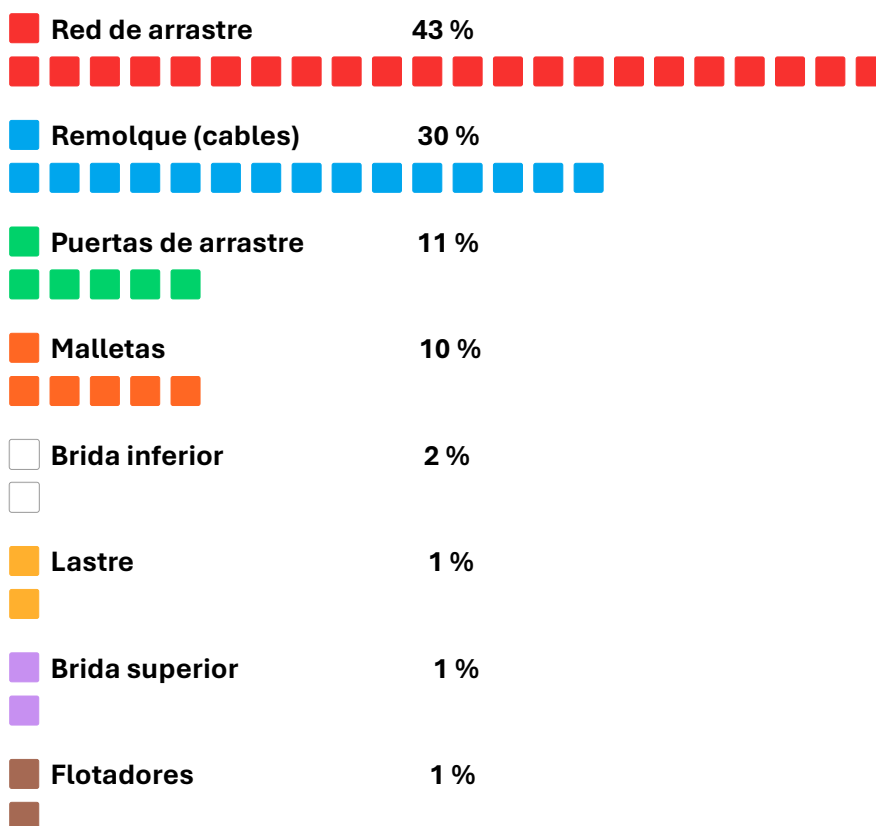
21) Distribución de resistencia en el sistema de arrastre

A partir de la resistencia total, se calculó la participación porcentual de cada elemento en el esfuerzo total del sistema.

Elemento	Resistencia	Participación
Red	2634 kgf	43,0 %
Remolque (cables)	1864,6 kgf	30,4 %
Puertas	689,8 kgf	11,3 %
Malletas	629,1 kgf	10,3 %
Brida inferior	118,2 kgf	1,9 %

Elemento	Resistencia	Participación
Lastre	88,2 kgf	1,4 %
Brida superior	65,4 kgf	1,1 %
Flotadores	40,1 kgf	0,7 %

Distribución de la resistencia del sistema de arrastre



22) Interpretación de los resultados

El análisis muestra que cuatro componentes concentran la mayor parte de la resistencia total del sistema:

1. Red de arrastre (43%)

Es el elemento que genera mayor resistencia hidrodinámica debido a la interacción de la superficie de hilo con el flujo de agua.

Este valor está directamente relacionado con:

- superficie sólida del arte
- tamaño de malla
- diámetro del hilo.

2. Cables de remolque (30%)

Constituyen el segundo componente más importante en la resistencia total. Este valor depende principalmente de:

- longitud de cable filado
- diámetro del cable
- profundidad de trabajo.

3. Puertas de arrastre (11%)

Las puertas generan resistencia asociada a la sustentación hidrodinámica necesaria para mantener la apertura horizontal del arte.

4. Malletas (10%)

Representan la resistencia generada por los cabos que conectan la red con el sistema de arrastre.

Los demás elementos (bridas, flotadores y lastre) tienen una contribución relativamente menor en la resistencia total del sistema.

23) Diagnóstico técnico del sistema de arrastre a partir de la grafica adjunta

A partir del análisis de resistencias se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Aspectos positivos

- La distribución de resistencias es coherente con sistemas de arrastre demersal modernos.
- La resistencia de las puertas es relativamente baja, lo que indica un buen diseño hidrodinámico.
- Las bridas y flotadores generan una resistencia mínima.

Aspectos relevantes para optimización

- La red representa el principal componente de consumo energético.
- La longitud de cables de remolque influye significativamente en la resistencia total.
- Una optimización del diseño de mallas o del diámetro de hilo podría reducir la resistencia hidrodinámica.

24) Conclusión de los elementos del sistema de arrastre

El sistema de arrastre presenta una resistencia total **estimada de 6129 kgf**, valor compatible con operaciones de pesca demersal para buques de potencia media de 720 HP.

La mayor parte del esfuerzo de arrastre está concentrado en:

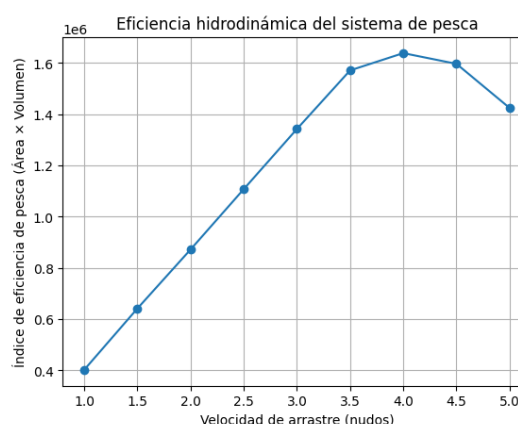
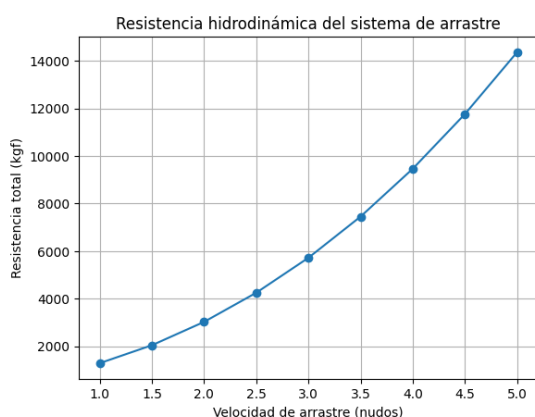
- la red de pesca
- los cables de remolque

lo que indica que cualquier estrategia de optimización energética debería enfocarse principalmente en estos dos componentes.

25) Tabla 1 - Evaluación hidrodinámica del sistema de arrastre de 1 a 5 nudos por simulación TVS

Velocidad (nudos)	Apertura vertical (m)	Apertura horizontal (m)	Entre puertas (m)	% apertura Relinga superior	Volumen filtrado (m³/s)	Área arrastrada (m²)	Ángulo red (°)	Resistencia total (Kgf)
1	4,1	18,3	90,4	24,5	26,9	14931,2	7,8	1284,1
1,5	3,6	18,8	92,6	25,1	41,9	15299,3	8,0	2039,2
2	3,4	19,7	97,3	26,3	54,3	16049,6	8,4	3022,1
2,5	3,2	20,9	102,9	27,8	65,3	16955,1	8,9	4247,9
3	2,9	22,2	109,2	29,6	74,7	17964,6	9,4	5718,6
3,5	2,6	23,4	115,3	31,2	82,9	18948,7	10,0	7452,4
4	2,2	24,6	121,1	32,8	82,5	19858,6	10,5	9463,9
4,5	1,7	25,6	126,3	25,6	77,2	20680,3	10,9	11765,8
5	1,3	26,6	130,9	35,4	66,5	21415,2	11,3	14368,8

Gráficos interpretativos de los resultados de la simulación



26) Análisis Hidrodinámico del Sistema de Arrastre en Función de la Velocidad

Evaluación de la eficiencia técnica del sistema de pesca

El comportamiento hidrodinámico del sistema de arrastre fue analizado mediante la simulación del conjunto **buque – puertas – red – cables de arrastre**, evaluando su desempeño en un rango de velocidades comprendido entre **1 y 5 nudos**.

Para determinar la **eficiencia técnica del sistema de pesca**, se consideraron principalmente dos indicadores fundamentales utilizados en estudios de ingeniería pesquera y campañas científicas (ICES / FAO):

- **Área arrastrada (m²)**, que representa la superficie efectiva barrida por el sistema de pesca sobre el fondo marino.

- **Volumen de agua filtrada (m^3/s)**, que indica la capacidad de encuentro del arte de pesca con el recurso objetivo.

Adicionalmente, se analizaron variables estructurales y energéticas del sistema, tales como:

- apertura vertical de la red
- apertura horizontal de la red
- separación entre puertas
- ángulo de trabajo del arte
- resistencia hidrodinámica total del sistema

Este enfoque permite evaluar simultáneamente **la eficiencia de captura y el costo energético del arrastre**, lo cual es fundamental para optimizar la operación pesquera.

27) Comportamiento hidrodinámico del sistema

Apertura vertical de la red

El análisis muestra una **disminución progresiva de la apertura vertical** a medida que aumenta la velocidad de arrastre.

La apertura vertical pasa de:

4,1 m a 1,3 m entre 1 y 5 nudos.

Este comportamiento es característico de las redes de arrastre demersal y se explica por el incremento de las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre el sistema. Al aumentar la velocidad, se incrementa la tensión en las relingas y cables del sistema de pesca, lo que provoca un aumento del ángulo de ataque del arte y una mayor carga hidrodinámica sobre la estructura de la red.

Como consecuencia, la red tiende a **aplanarse progresivamente contra el fondo**, reduciendo su altura operativa.

28) Apertura horizontal y separación entre puertas

En contraste con la apertura vertical, la **apertura horizontal del sistema aumenta con la velocidad**.

Los valores observados muestran un incremento desde:

18,3 m hasta 26,6 m

mientras que la separación entre puertas aumenta de:

90,4 m a 130,9 m.

Este fenómeno ocurre debido al aumento de la **fuerza hidrodinámica lateral generada por las puertas de arrastre**, que se incrementa con la velocidad del flujo de agua. A mayor

velocidad, las puertas generan una mayor fuerza de separación lateral, ampliando la boca horizontal del arte de pesca.

Esta expansión horizontal contribuye a aumentar la superficie barrida por la red.

29) Resistencia hidrodinámica del sistema de arrastre

La resistencia total del sistema presenta un crecimiento muy marcado con el aumento de la velocidad.

Los valores obtenidos muestran un incremento desde:

1284 kgf a 14368 kgf entre 1 y 5 nudos.

Este comportamiento sigue la relación hidrodinámica clásica:

Resistencia $\propto$ Velocidad²

lo que significa que pequeñas variaciones en la velocidad producen aumentos muy significativos en la resistencia total del sistema.

Desde el punto de vista operativo, este incremento de resistencia implica:

- mayor carga sobre el sistema de arrastre
- mayor consumo de combustible
- mayores esfuerzos sobre cables, puertas y guinches

Por lo tanto, la velocidad de operación debe seleccionarse cuidadosamente para mantener un equilibrio entre **rendimiento de pesca y eficiencia energética**.

30) Evaluación de la eficiencia de pesca

Área arrastrada

El área arrastrada aumenta progresivamente con la velocidad.

Los valores obtenidos muestran un incremento desde:

14931 m² a 21415 m²

lo que representa aproximadamente un **43 % de aumento en la superficie barrida**.

Este incremento está asociado al aumento de la apertura horizontal del sistema y a la mayor velocidad de desplazamiento del arte sobre el fondo.

Desde el punto de vista de la captura de especies demersales, una mayor superficie barrida implica una mayor probabilidad de encuentro con el recurso.

31) Volumen de agua filtrada

El volumen de agua filtrada también aumenta con la velocidad hasta alcanzar un máximo, después del cual comienza a disminuir.

Los resultados indican:

- 26,9 m³/s a 1 nudo
- 74,7 m³/s a 3 nudos
- **82,9 m³/s a 3,5 nudos (máximo)**

A partir de esta velocidad, el volumen filtrado comienza a reducirse, alcanzando **66,5 m³/s a 5 nudos**.

Esta disminución se explica por la pérdida de apertura vertical de la red a altas velocidades, lo que reduce el volumen efectivo de la boca del arte de pesca.

Por lo tanto, aunque el sistema continúa desplazándose más rápido, el volumen de agua que atraviesa la red comienza a disminuir.

32) Determinación de la velocidad óptima de arrastre

La evaluación conjunta de los parámetros analizados permite identificar una **zona óptima de operación del sistema de arrastre**.

Esta zona corresponde aproximadamente a velocidades comprendidas entre:

3 y 3,5 nudos

En este rango se observa una combinación favorable de factores:

- volumen máximo de agua filtrada
- apertura horizontal eficiente
- apertura vertical aún adecuada
- resistencia hidrodinámica todavía controlable

Este equilibrio permite maximizar la eficiencia de captura sin generar incrementos excesivos en el consumo energético del sistema.

33) Interpretación operativa del comportamiento del sistema

El comportamiento observado es consistente con el funcionamiento típico de redes de arrastre demersales utilizadas en el Mediterráneo.

Se pueden identificar tres zonas operativas principales:

Zona de baja velocidad (1–2 nudos)

- buena apertura vertical
- bajo volumen filtrado
- menor eficiencia de captura

Zona de eficiencia óptima (3–3,5 nudos)

- máximo volumen filtrado
- equilibrio entre aperturas vertical y horizontal
- rendimiento óptimo del sistema

Zona de alta velocidad (4–5 nudos)

- aumento del área barrida
- pérdida significativa de apertura vertical
- incremento muy elevado de la resistencia hidrodinámica

34) Conclusión técnica

El análisis hidrodinámico del sistema de arrastre indica que el arte de pesca presenta un comportamiento estable y coherente con las características de las redes demersales utilizadas en la pesca mediterránea.

Los resultados muestran que la velocidad de operación más eficiente del sistema se encuentra aproximadamente en el rango de:

3,0 a 3,4 nudos

En este intervalo se logra el mejor compromiso entre:

- eficiencia de captura
- estabilidad estructural del arte
- rendimiento hidrodinámico
- consumo energético del buque.

La utilización de velocidades superiores genera un aumento significativo en la resistencia total del sistema y una reducción progresiva de la apertura vertical de la red, lo cual puede afectar negativamente la eficiencia global del arrastre.

35) Fuerza disponible para el arrastre del B/P "Verge Loreto Segona" de 720 HP

El presente estudio analiza el comportamiento hidrodinámico del sistema de arrastre mediante la evaluación comparativa entre la **fuerza efectiva de tracción del buque** y la **resistencia total del conjunto de pesca**, en función de la velocidad de operación.

El análisis se basa en la interacción dinámica entre ambos parámetros, lo que permite caracterizar el equilibrio del sistema, identificar los límites operativos y comprender la respuesta del arte frente a variaciones de velocidad.

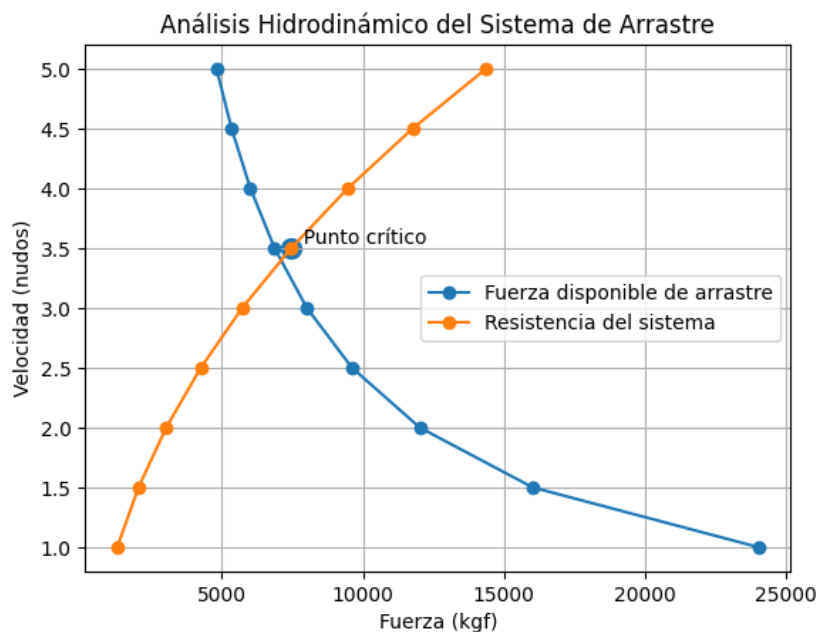
El objetivo principal es definir el **régimen de operación más adecuado**, optimizando el desempeño técnico del sistema de arrastre, garantizando su estabilidad hidrodinámica y asegurando condiciones de operación eficientes y seguras.

Tabla 2. Relación entre velocidad de arrastre, fuerza disponible y resistencia del sistema

<i>Velocidad (nudos)</i>	<i>Fuerza disponible de arrastre (kgf)</i>	<i>Resistencia del sistema de arrastre (kgf)</i>
1.0	24.030,00	1.284,1
1.5	16.020,00	2.039,2
2.0	12.015,00	3.022,1
2.5	9.612,00	4.247,9
3.0	8.010,00	5.718,6
3.5	6.865,70	7.452,4
4.0	6.007,50	9.463,9
4.5	5.340,00	11.765,8
5.0	4.806,00	14.368,8

Análisis de Curvas Hidrodinámicas del Sistema de Arrastre

Buque: B/P "Verge Loreto Segona" – Potencia: 720 HP


 Figura 1. Relación entre fuerza disponible y resistencia del sistema de arrastre. El punto crítico se identifica en $V \approx 3.40$ nudos y $F \approx 7,099$ kgf.

Análisis del comportamiento del sistema

El gráfico muestra dos tendencias claramente definidas:

- **Fuerza disponible de arrastre:** decreciente con la velocidad
- **Resistencia del sistema:** creciente con la velocidad

Esta relación define un punto clave de equilibrio del sistema.

Punto crítico identificado

Se identifica un punto relevante en:

3,5 nudos – Resistencia: 7452,4 kgf

En este punto:

- La resistencia del sistema se aproxima al límite de la capacidad de tiro
- El sistema comienza a operar en condiciones exigentes
- Se reduce la estabilidad hidrodinámica del conjunto

Evaluación operativa

Zona estable (1,0 – 2,5 nudos)

- Baja resistencia relativa
- Alta capacidad de tracción disponible
- Operación robusta y estable

Zona de eficiencia operativa ($\approx 3,0$ nudos)

- Equilibrio adecuado entre fuerza y resistencia
- Buen compromiso entre rendimiento y estabilidad
- Condición recomendada de trabajo continuo

Zona crítica ($\geq 3,5$ nudos)

- Incremento significativo de la resistencia
- Tendencia a pérdida de eficiencia del sistema
- Mayor exigencia estructural y mecánica

Conclusión técnica

El sistema de arrastre presenta un comportamiento hidrodinámico adecuado hasta aproximadamente **3,0 nudos**, donde se alcanza un equilibrio óptimo entre capacidad de tiro, geometría de la red y resistencia del arte.

A partir de **3,5 nudos**, el incremento de la resistencia (7452,4 kgf) marca el inicio de una zona de operación exigente, donde el sistema **pierde eficiencia y estabilidad progresivamente en la geometría en la red de pesca.**

En consecuencia, se recomienda establecer la velocidad de trabajo en torno a:

3,0 nudos

lo que garantiza:

- Estabilidad del sistema
- Operación eficiente
- Menor esfuerzo estructural

36) Conclusión general del informe

El análisis estructural e hidrodinámico del sistema de arrastre del B/P “**Verge Loreto Segona**”, realizado mediante simulación digital con **TrawlVision Simulator (TVS)**, indica que el arte de pesca presenta un diseño geométrico equilibrado y un comportamiento dinámico compatible con las condiciones operativas de las pesquerías demersales del Mediterráneo.

La red analizada mantiene proporciones estructurales dentro de los rangos observados en sistemas de arrastre eficientes, con una apertura horizontal aproximada de **27 m**, una apertura vertical cercana a **3 m** y una superficie sólida estimada de **308 m²**, lo que genera una resistencia hidrodinámica total del sistema cercana a **6129 kgf** en condiciones operativas.

La evaluación hidrodinámica en función de la velocidad muestra que el sistema alcanza su mejor equilibrio técnico entre **eficiencia de captura, estabilidad del arte y consumo energético** en torno a **3,0 nudos**. En este punto se observa un volumen filtrado elevado, una apertura horizontal adecuada y una resistencia hidrodinámica aún compatible con la capacidad de tiro del buque.

La comparación entre la **fuerza efectiva disponible del buque** y la **resistencia total del sistema de arrastre** indica que el conjunto presenta un comportamiento operativo aceptable hasta aproximadamente **3,0 nudos**.

En consecuencia, la velocidad de operación recomendada del sistema debería situarse en un rango cercano a **2,8–3,0 nudos**, donde se alcanza el mejor compromiso entre **rendimiento hidrodinámico, eficiencia de captura y geometría de la red**.

Desde el punto de vista de la ingeniería pesquera, el análisis también indica que los principales focos de consumo energético del sistema se concentran en **la red de arrastre y los cables de remolque**, que representan más del **70 % de la resistencia total**. Por lo tanto, eventuales mejoras en la reducción del área sólida del arte, optimización de diámetros de hilo o ajustes en la configuración del sistema de remolque podrían contribuir a **incrementar la eficiencia energética y ampliar el margen operativo del buque**.

En términos generales, el sistema de pesca evaluado presenta un **funcionamiento técnicamente adecuado**, siendo compatible con la potencia del buque y las condiciones de operación analizadas, siempre que la velocidad de arrastre se mantenga dentro del rango operativo recomendado.