



PROYECTO SILENCIO

Actividad 2

Informe pruebas y casos de uso

Versión:	Definitiva
Fecha:	31/12/2022
Responsable:	CETMAR

1. Contenido

1.	Contenido.....	1
1.	Objetivo del entregable.....	3
2.	Caracterización de las tareas realizadas por la flota de embarcaciones de pequeño porte	4
2.1.	Caracterización general de la flota de Galicia	4
	Estudio de las potencias de motor	6
2.2.	Caracterización de flotas de las cofradías que colaboran en SILENCIO	7
	Cofradía de Baiona	8
	Cofradía de Vigo	13
	Cofradía de Cangas.....	18
	Cofradía de Bueu.....	22
	Cofradía de Muros.....	27
	Cofradía de Lira	32
3.	Tipificación de las tareas realizadas por la flota de embarcaciones de pequeño porte	37
3.1.	Dispositivo GPS y recopilación de información.....	37
3.2.	Tipos de tareas y embarcaciones que las realiza.....	38
3.3.	Resumen de los datos recopilados.....	40
3.4.	Selección de casos de uso	43
4.	Adaptación del sistema de propulsión eléctrico a su uso en embarcaciones pesqueras de pequeña eslora o auxiliares de la pesca.....	45
4.1.	Contexto y estado del arte	45
	Características de los motores eléctricos.....	45
	Tipos de motores navales:	46
	Principales marcas de motores para barcos	47
	Almacenamiento de la energía: Baterías	48
	Mantenimiento	50
4.2.	Estudio Técnico.	51
4.3.	Motorización de SILENCIO.....	53
	Elección de motorización	53
	Elección del motor.....	54
	Elección de controladora.....	55
	Adaptación del motor	56

Elección baterías.....	57
Sistema de monitorización de la propulsión.....	58
Hélice propulsivas.....	59
Sistema de refrigeración.....	61
5. Pruebas del sistema de propulsión.....	62
5.1. Pruebas estáticas.....	62
Configuración de control de motor.....	62
5.2. Pruebas dinámicas en ambiente controlados.....	63
5.3. Pruebas límites.....	64
5.4. Pruebas en condiciones reales.....	65
6. Reproducción de casos de uso como prueba del sistema de propulsión eléctrico en los casos de uso seleccionados comparando el resultado con el generado por los motores de combustión habituales.....	67
6.1. Caracterización de motor de combustión.....	67
6.2. Caracterización de motor eléctrico.....	67
6.3. Viabilidad de electrificación de la flota.....	69
7. Anexos.....	71
7.1. Tablas de figuras.....	71
7.2. Tablas de fotos.....	71

El proyecto SILENCIO se desarrolla con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP

“Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto”.

1. Objetivo del entregable.

El objetivo de este documento es recopilar el trabajo realizado dentro de la actividad 2, tanto de selección de casos de uso como de adaptación del sistema de propulsión y pruebas realizadas. También se evaluarán los resultados y se darán unas pequeñas conclusiones.

La estructura del documento es la siguiente:

- Caracterización de las tareas realizadas por la flota de embarcaciones de pequeño porte
- Tipificación de las tareas realizadas por la flota de embarcaciones de pequeño porte
- Adaptación del sistema de propulsión eléctrico a su uso en embarcaciones pesqueras de pequeña eslora o auxiliares de la pesca
- Pruebas del sistema de propulsión

2. Caracterización de las tareas realizadas por la flota de embarcaciones de pequeño porte

2.1. Caracterización general de la flota de Galicia

Galicia tiene en su registro de Buques (<https://www.pescadegalicia.gal/rexbuque/>) una fuente muy importante de información donde se puede obtener los trabajos que realiza la flota pesquera de pequeños porte.

Los barcos pesqueros de pequeña eslora se dedican fundamentalmente a 2 actividades: la pesca en caladero nacional de artes menores (lista 3) y la actividad auxiliar de la pesca y la acuicultura (lista tercera). En una visión general de la flota en Galicia existen 3785 buques dedicados a la pesca de artes menores y 1274 auxiliares de la pesca y sobre todo, de la acuicultura.

Respecto a los buques de pesca de arte menor según la legislación vigente pueden tener inscritos hasta 5 artes de pesca menores distintos aunque la realidad es que tiene un promedio de 4.5 artes inscritas. La Figura 1 recoge el % de dedicación de estas embarcaciones a cada una de las artes menores. Se observa que los permisos más habituales (con más del 10% de las embarcaciones dedicadas a ello) son:

- Marisqueo a flote (66%)
- Nasa de nécora y camarón (62%)
- Línea y cordel (33%)
- Nasa pulpo (31%)
- Trasmallos (26%)
- Miños (24%)
- Palangrillo (21%)
- Betas (20%) (*en gallego es con V, puede aparecer en algún lugar con esta terminología)
- Percebe (13%)
- Xeito (11%)

Estas labores pueden clasificarse fácilmente como:

- Marisqueo (marisqueo a flote y percebe)
- Nasas (nécora-camarón y pulpo)
- Redes (trasmallos, miños, Betas, xeito)
- Pesca de anzuelo (línea y palangrillo)

Se decide poner el límite de lo que se considera embarcaciones de pequeños porte. Para ello se deciden hacer un estudio de las embarcaciones por debajo de los 10 m y de los 7 metros de eslora siendo el número de 3465 y 3004 respectivamente (una reducción del 8 y el 21% respectivamente) todas ellas dedicadas a artes menores.

Viendo los artes de pesca más abundantes siguen siendo las mismas variando algo el % de embarcaciones dedicadas. Destaca que disminuye el % de embarcaciones dedicadas a redes (betas, miños), nasa de pulpo y palangrillo, que indica que las embarcaciones más grandes se dedican a estos artes de pesca. Aumenta, sin embargo, el % dedicado a marisqueo a flote, línea o cordel. En la figura 1 se observa la distribución total y para cada uno de los tamaños máximos.

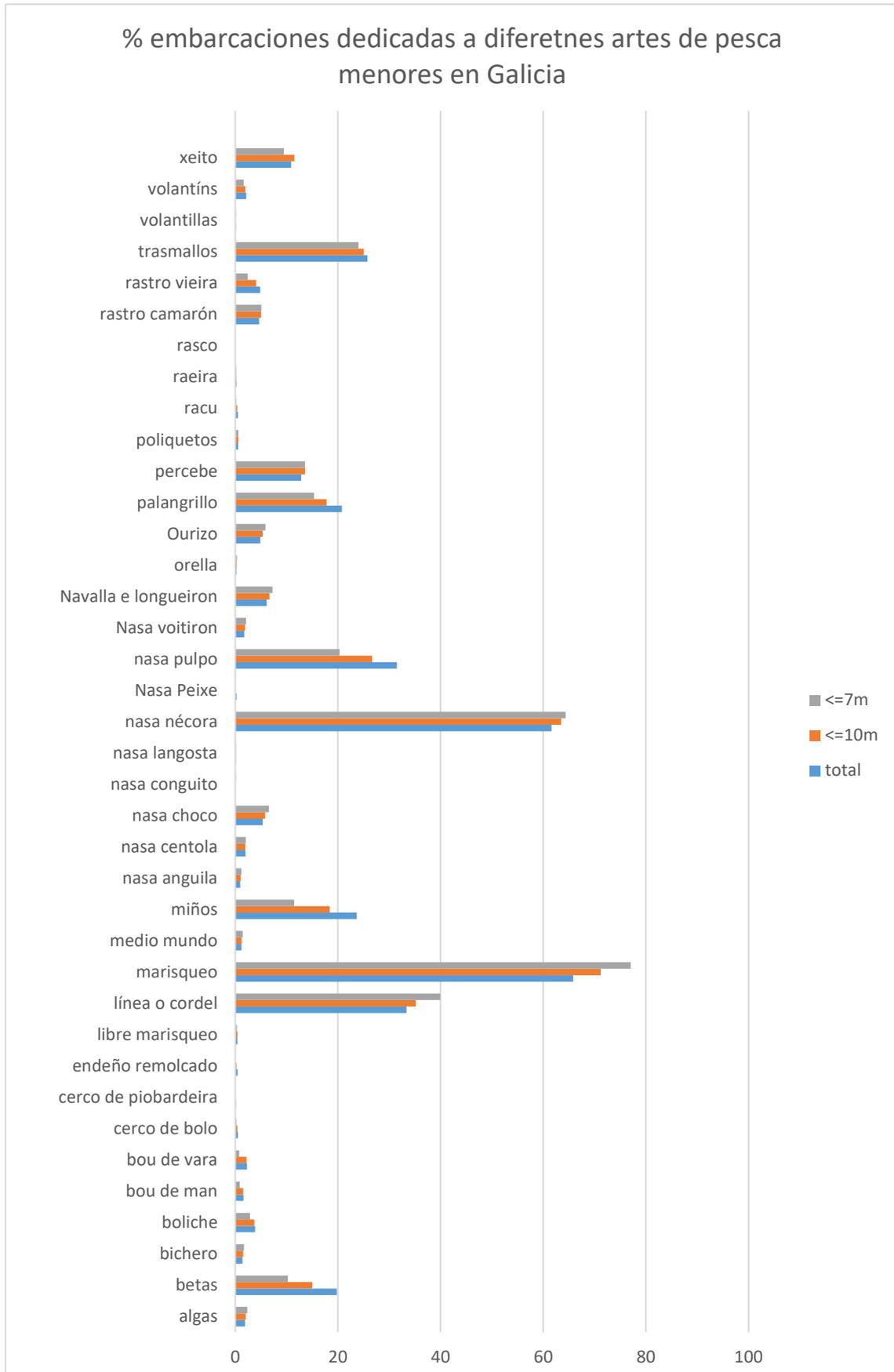


Figura 1: % de embarcaciones de Galicia dedicadas los diferentes artes de pesca menores: total, en embarcaciones de menos de 10m y de menos de 7m.

En las embarcaciones auxiliares de la pesca es sin embargo muy significativa la reducción de número de embarcaciones que hay si se hace un estudio de embarcaciones de hasta 10 y 7 metros de eslora, siendo un total de 428 y 397 respectivamente (de un total de 1274), lo que implica una reducción del 66 y 69% respectivamente.

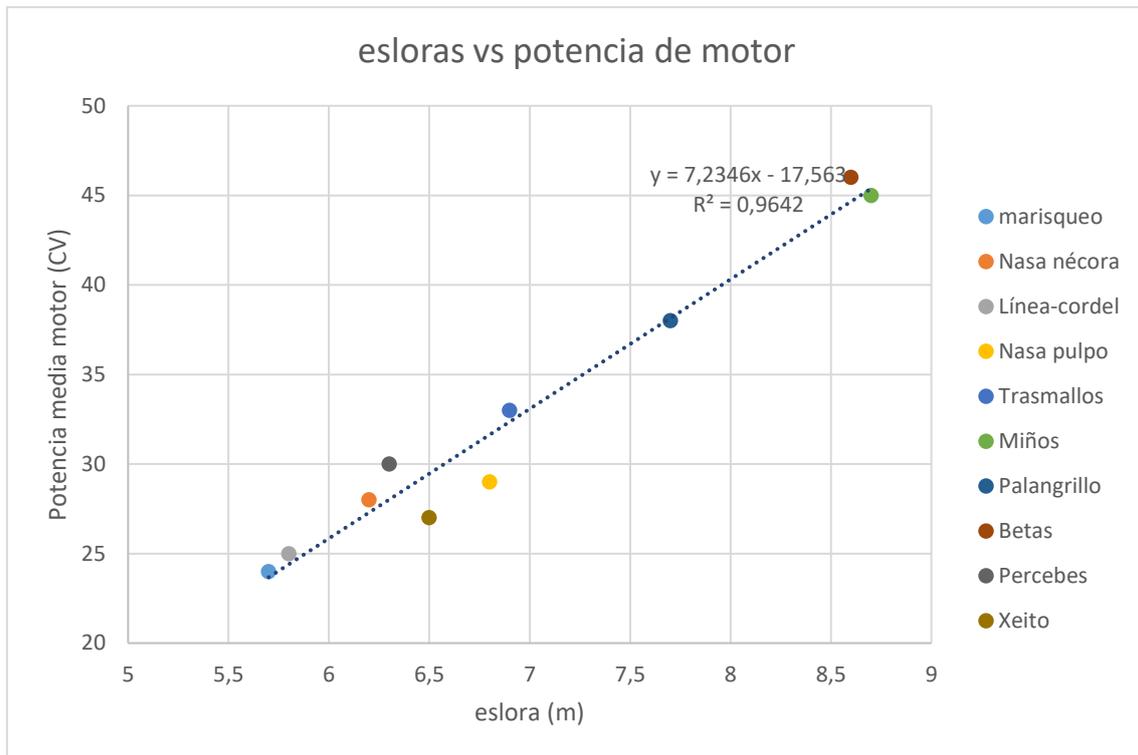
Estudio de las potencias de motor

Para la caracterización de la flota y sus actividades más relevante se decide hacer también un estudio de la potencia de los motores para las actividades más abundantes que se recoge en la siguiente tabla:

Arte de pesca	Número de embarcaciones según potencia de motores (CV)									
	>100	>75	>50	<=50	<=40	<=30	<=25	<=20	<=15	<=10
Marisqueo	0	3	20	2239	2109	1965	1568	945	644	317
Nasa nécora	25	68	135	2169	2039	1858	1423	826	561	267
Línea-cordel	16	29	42	1220	1154	1089	888	587	416	209
Nasa pulpo	1	21	68	1123	1033	891	636	357	235	87
Trasmallos	27	64	104	862	791	706	529	295	195	76
Miños	64	148	237	657	577	474	345	183	123	50
Palangrillo	45	84	138	646	581	506	387	230	171	66
Betas	54	131	202	541	472	394	319	177	112	42
Percebes	2	8	17	470	410	359	222	126	75	12
Xeito	0	3	16	394	364	319	257	128	84	38

Arte de pesca	% embarcaciones según potencia de motores (CV)									
	>100	>75	>50	<=50	<=40	<=30	<=25	<=20	<=15	<=10
marisqueo	0	0	1	99	93	87	69	42	29	14
Nasa nécora	1	3	6	94	88	81	62	36	24	12
Línea-cordel	1	2	3	97	91	86	70	47	33	17
Nasa pulpo	0	2	6	94	87	75	53	30	20	7
Trasmallos	3	7	11	89	82	73	55	31	20	8
Miños	7	17	27	73	65	53	39	20	14	6
Palangrillo	6	11	18	82	74	65	49	29	22	8
Betas	7	18	27	73	64	53	43	24	15	6
Percebes	0	2	3	97	84	74	46	26	15	2
Xeito	0	1	4	96	89	78	63	31	20	9

Arte de pesca	Potencia motores (CV)			Eslora media (m)	Nº total
	media	moda	mediana		
marisqueo	24±11	25	25	5.7	2259
Nasa nécora	28±19	25	25	6.2	2304
Línea-cordel	25±20	25	25	5.8	1262
Nasa pulpo	29±15	30	25	6.8	1191
Trasmallos	33±27	25	25	6.9	966
Miños	45±36	30	30	8.7	894
Palangrillo	38±33	25	27	7.7	784
Betas	46±37	25	30	8.6	743
Percebes	30±15	30	30	6.3	487
Xeito	27±13	25	25	6.5	410



Vemos que hay una clara correlación entre las esloras medias de las embarcaciones que se dedican a eso y la potencia media de los motores. Son las actividades de redes (miños, betas) las que mayores potencias y esloras necesitan mientras que las de menos potencia y eslora son el marisqueo a flote y la línea o cordel. Las potencias más abundantes son en todos los casos los 25-30CV.

Se eligen los valores de 20 y 40 Cv como potencias medias de las embarcaciones de pesca de pequeño porte para un estudio preliminar que se encuentra en el apartado de diseño de motores.

2.2. Caracterización de flotas de las cofradías que colaboran en SILENCIO

En el proyecto SILENCIO colaboran 7 cofradías de pescadores inicialmente, 6 de las cuales continúan su colaboración a lo largo de todo el proyecto (con la séptima hay un problema de salud de la persona de contacto y deciden desvincularse del proyecto).

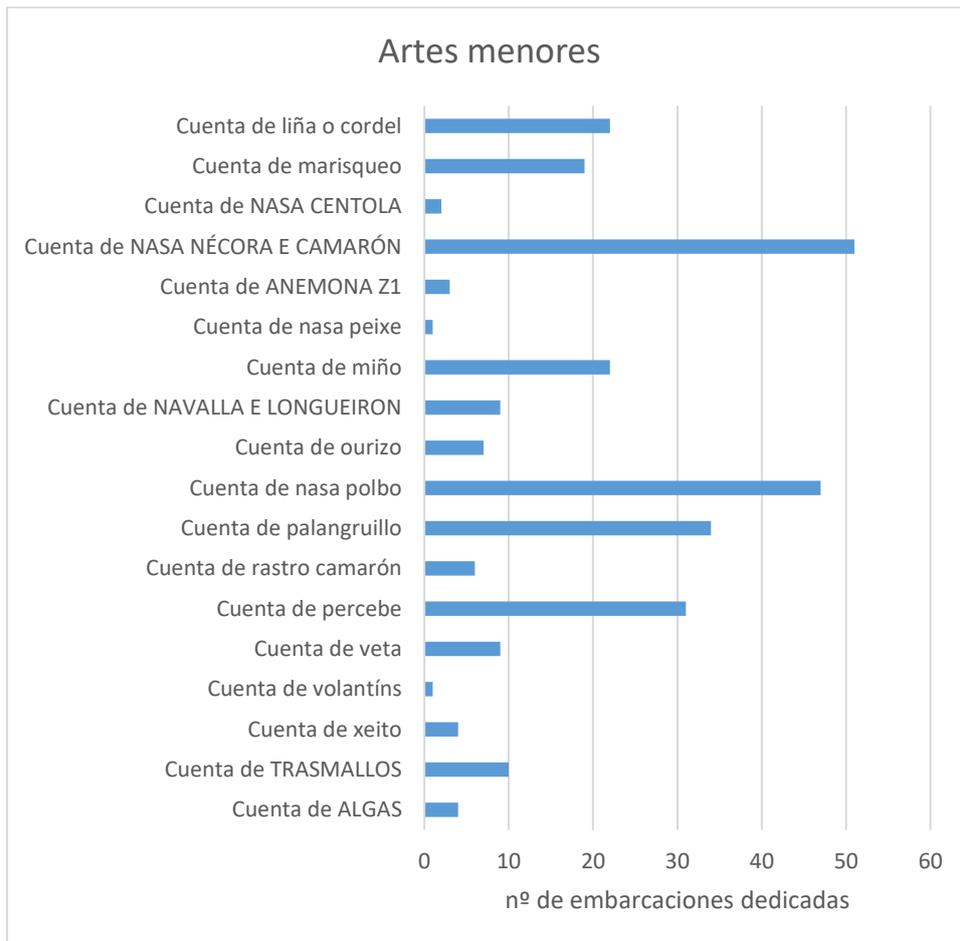
Con cada una de esas cofradías se mantienen contactos a lo largo de todo el proyecto teniendo al menos dos reuniones con cada una de ellas, además de diversas conversaciones presenciales y telefónicas, para la caracterización de los casos de uso y tipificación de labores de las embarcaciones de pequeño porte.

A continuación se recoge la información de cada una de las cofradías con las que se colabora. Para estas reuniones se prepara una caracterización de la flota a partir del registro de buques y se elabora un cuestionario sobre diversas preguntas de cada una de las misiones y consideraciones generales.

Cofradía de Baiona

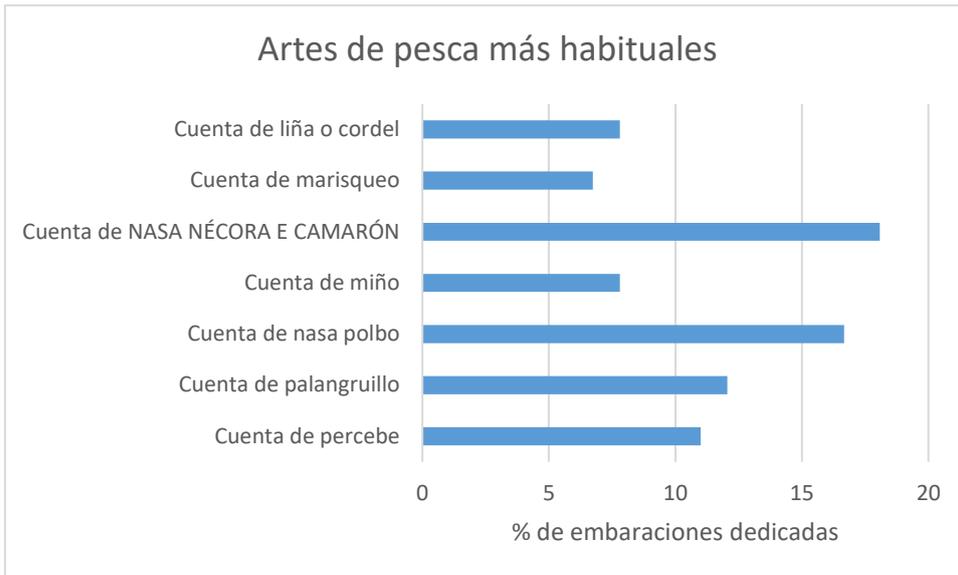
La flota con puerto en Baiona tiene registradas 71 embarcaciones y todas ellas menos una están dedicadas a las artes menores de pesca.

Estas embarcaciones realizan una promedio de 4 actividades diferentes por embarcación. Esta es la abundancia por tipo de captura:

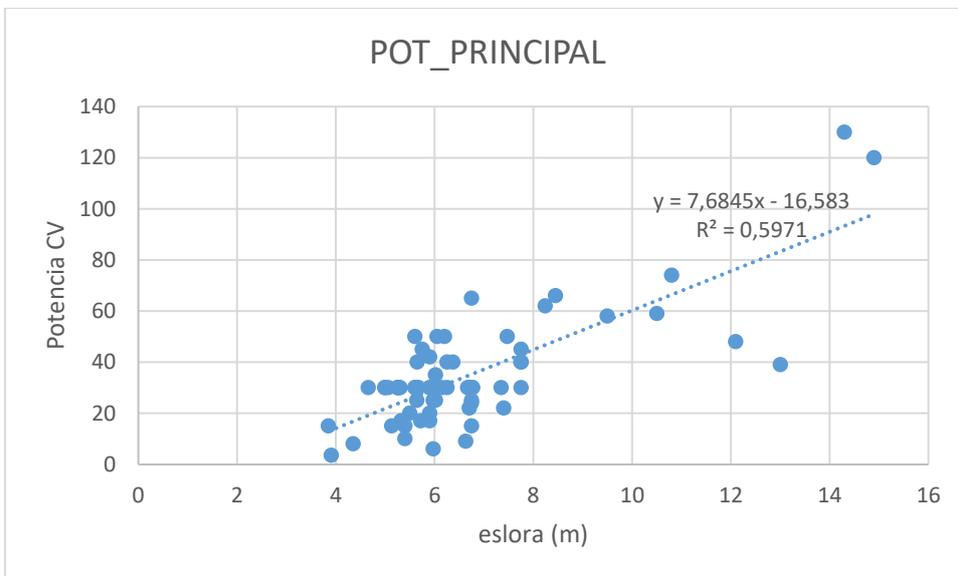


Más del 10% de las embarcaciones se dedican a 4 tipos de captura/artes de pesca principal:

- Percebe
- Palangrillo
- Nasa del polvo
- Nasa de nécora/camarón

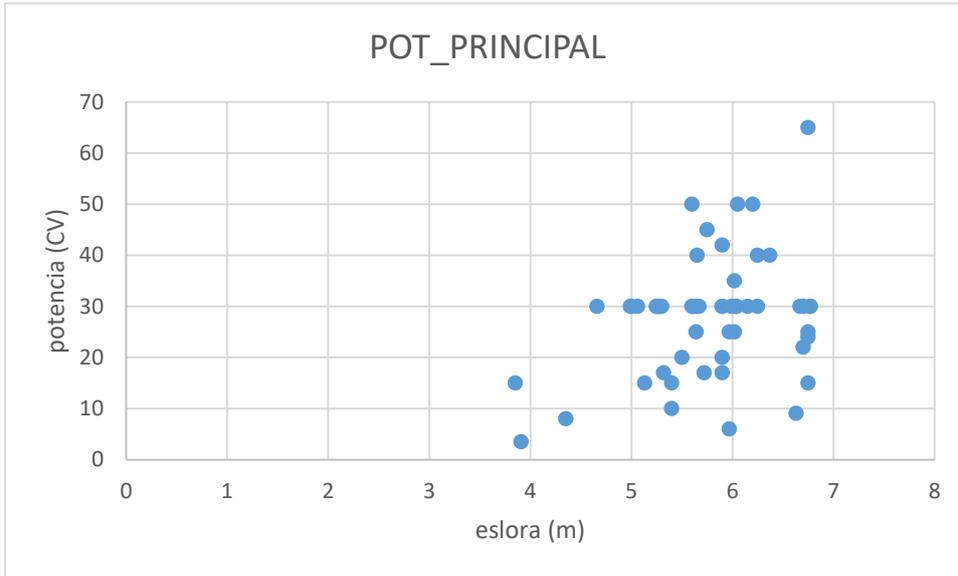


Atendiendo a la relación eslora potencia la flota de Baiona muestra la siguiente distribución.

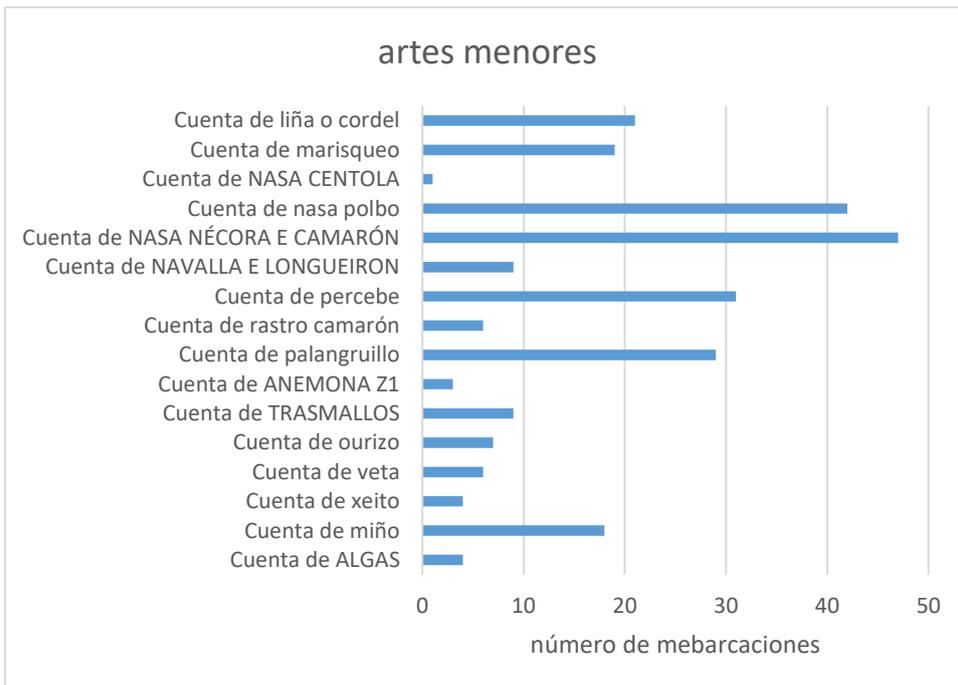


Si realizamos un estudio de las **embarcaciones con hasta 10m** de eslora encontramos 65 embarcaciones con la siguiente relación potencia/eslora:

- 61 embarcaciones con potencia de hasta 50CV
- 48 embarcaciones con potencia de hasta 30CV
- 21 embarcaciones de potencia hasta 25 CV

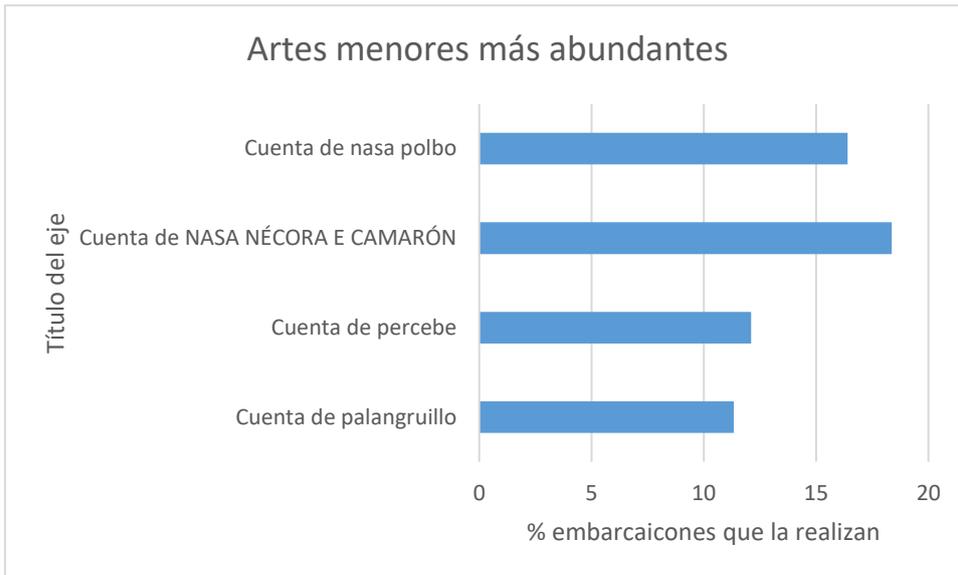


El tipo de trabajo que realizan estas embarcaciones de hasta 10 metros de eslora son (promedio de 4 tareas por embarcación):



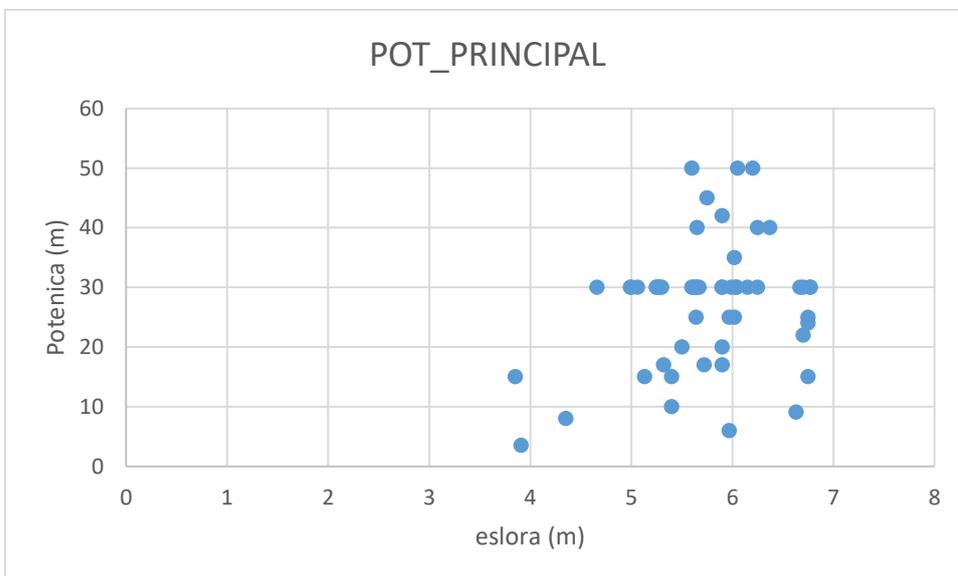
Siendo las más abundantes (más de 10% de embarcaciones) al igual que en la flota total

- Percebe
- Palangrillo
- Nasa del polvo
- Nasa de nécora/camarón

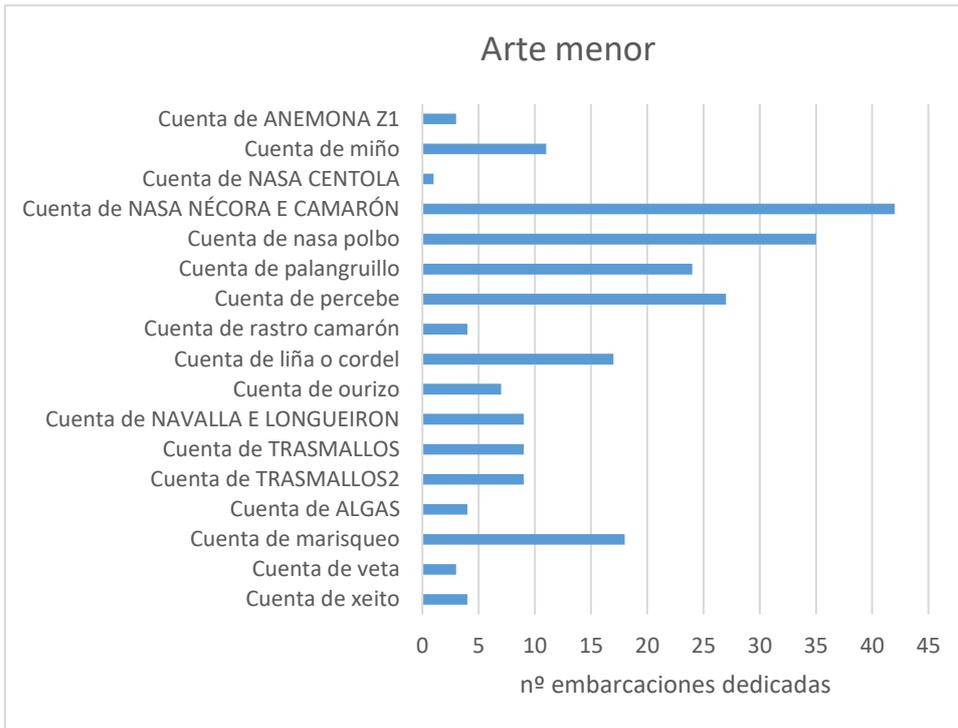


Si realizamos un estudio de las **embarcaciones con hasta 7m** de eslora encontramos 55 embarcaciones con la siguiente relación potencia/eslora:

- 54 embarcaciones con potencia de hasta 50CV (una sin dato)
- 45 embarcaciones con potencia de hasta 30CV
- 20 embarcaciones de potencia hasta 25 CV

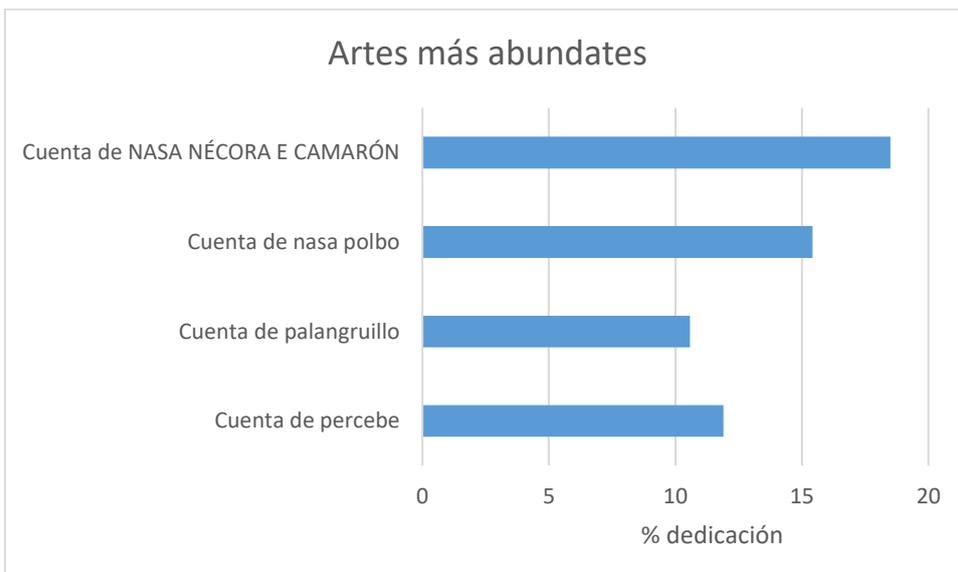


El tipo de trabajo que realizan estas embarcaciones de hasta 7 metros de eslora son (promedio de 4 tareas por embarcación):



Siendo las más abundantes (más de 10% de embarcaciones) al igual que en la flota total

- Percebe
- Palangrillo
- Nasa del polvo
- Nasa de nécora/camarón



Tras matizar con los patrones y asistencia técnica la información se concluye que los trabajos más abundantes e interesantes para monitorizar que se realizan en el Cofradía de Baiona son:

- Percebe
- Palangrillo

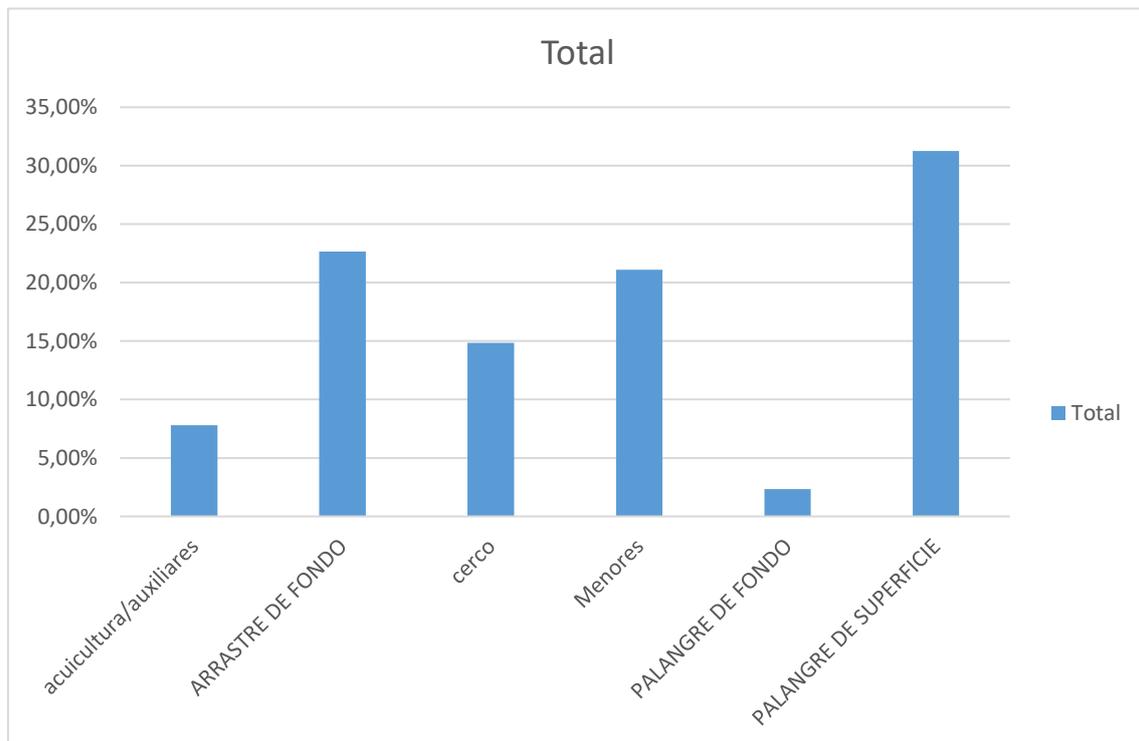
- Nasa de pulpo-nasa de nécora y camarón
- Trasmallos
- Marisqueo a Flote

Toda la información se recoge en el documento DS-SILENCIO_210218_Cofradía Baiona_Txetxu_Rubio.

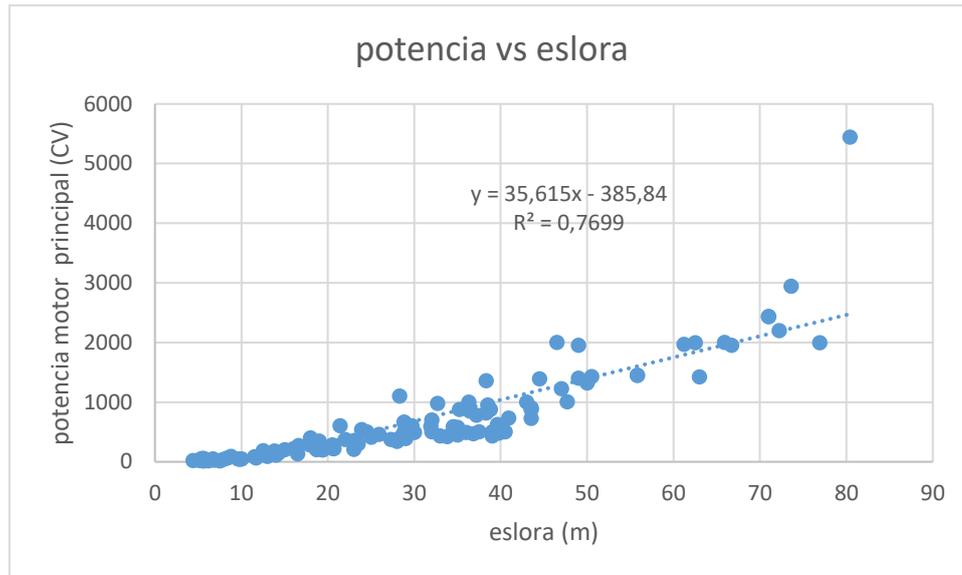
Cofradía de Vigo

La flota de la Cofradía de Vigo tiene 128 embarcaciones registradas (todas registradas en lista III y IV). La dedicación de estas embarcaciones a diferentes tipos de pesca es la siguiente:

Etiquetas de fila	Cuenta de arte de pesca (unidades)	Cuenta de arte de pesca (%)
acuicultura/auxiliares	10	7,81%
ARRASTRE DE FONDO	29	22,66%
cerco	19	14,84%
Menores	27	21,09%
PALANGRE DE FONDO	3	2,34%
PALANGRE DE SUPERFICIE	40	31,25%
Total general	128	100,00%



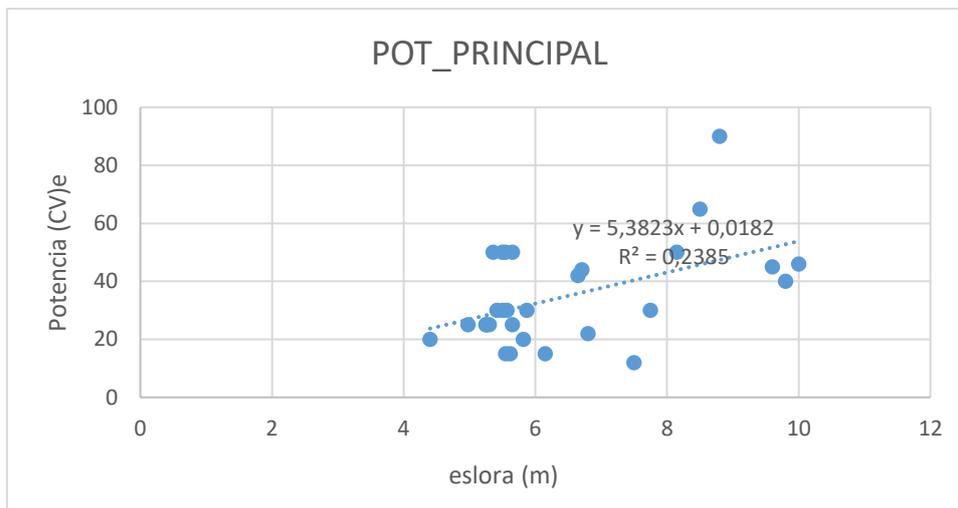
Según su eslora guardan la siguiente proporción con la potencia de motores principales (126 datos, hay 2 embarcaciones sin potencia)



Si atendemos a las embarcaciones de hasta 10 metros de eslora (31 embarcaciones) vemos que el tipo de pesca al que se dedican reduce su tipología:

Etiquetas de fila	Cuenta de arte de pesca
acuicultura/auxiliares	5
CERCO	1
Menores	25
Total general	31

Esta es la relación eslora-potencia de los motores (lineal pero no tan clara):



Hay 17 motores con una potencia igual o inferior a 30CV (12 de 25 o menos). Solo 2 motores están por encima de 50CV.

Se pueden así caracterizar 2 tipos de trabajos de embarcaciones de pequeños porte:

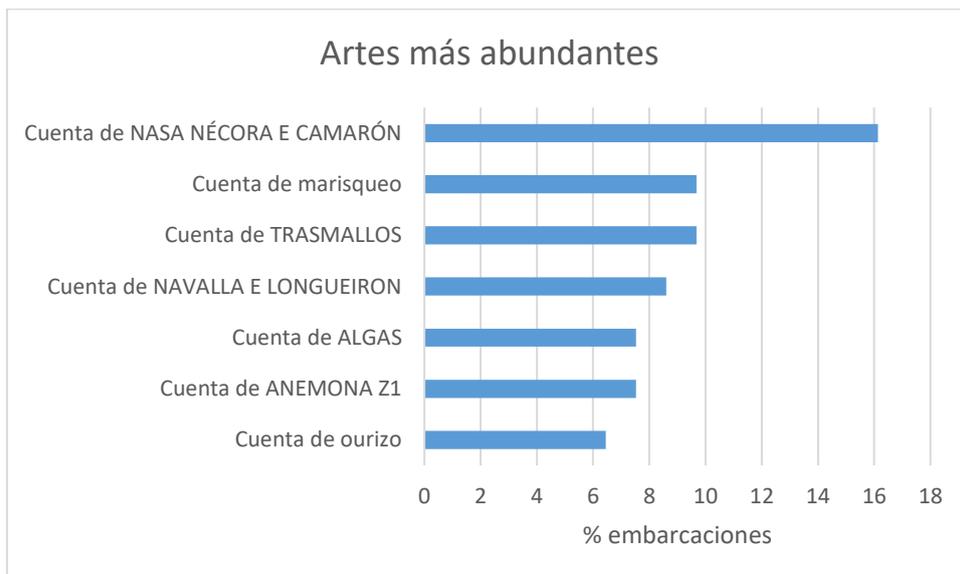
- artes menores de pesca (lista III)
- Auxiliares y de acuicultura (lista IV)

ARTES MENORES DE PESCA

Los 25 barcos que se dedican a artes menores simultanean un promedio de 4 artes diferentes.

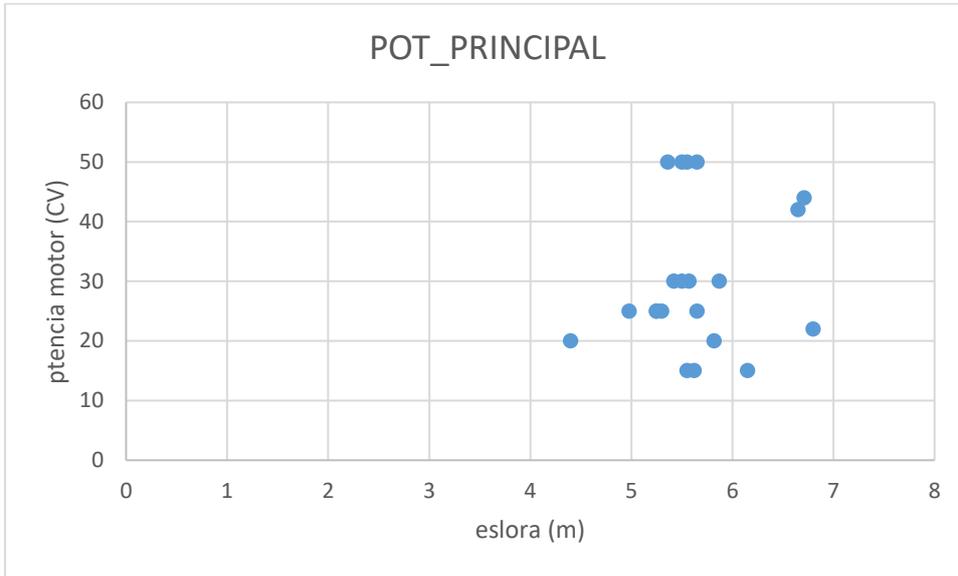


Siendo nécora, trasmallo e marisqueo las más importantes (10% de dedicación o más)

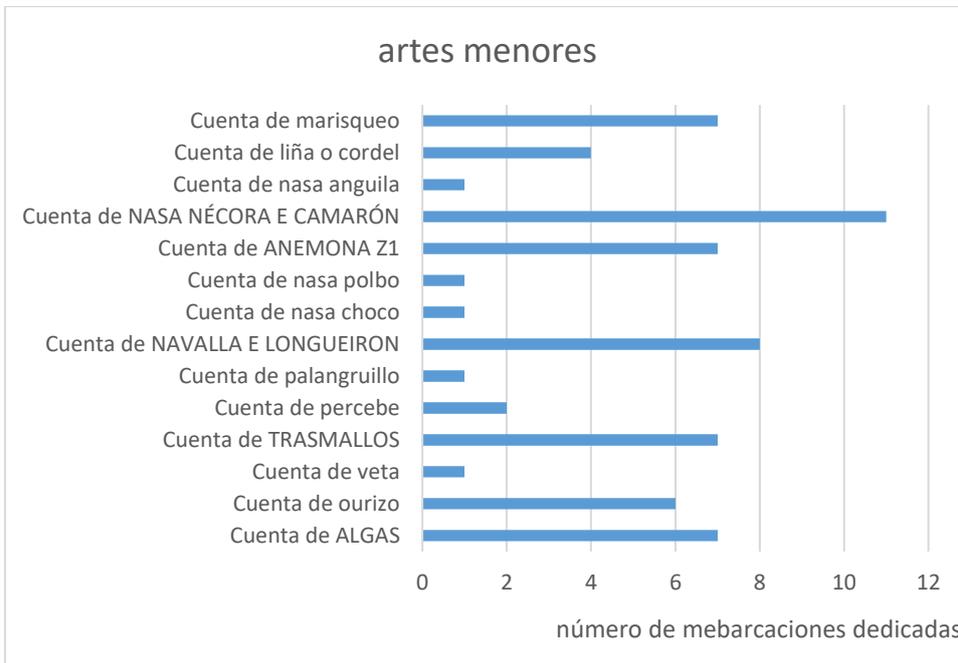


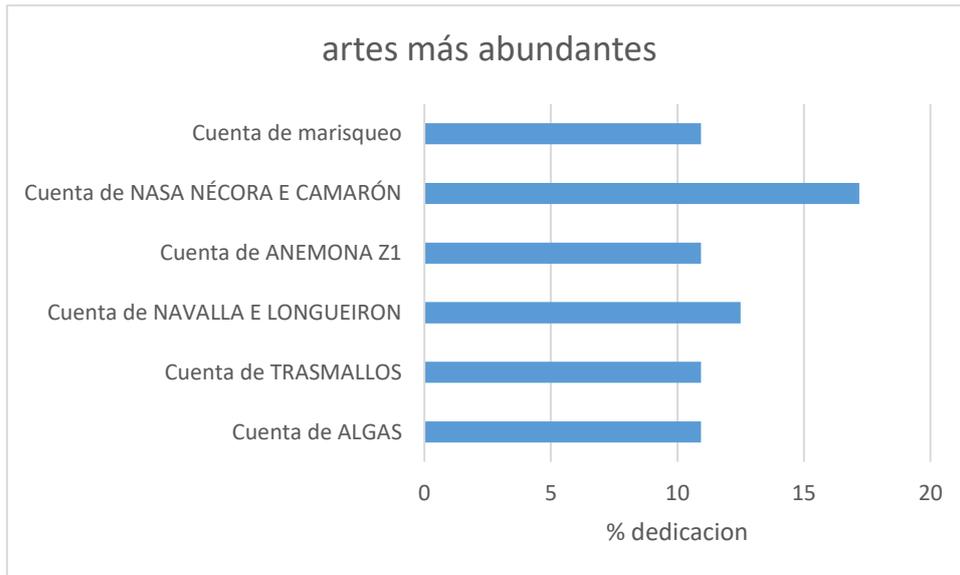
Si atendemos a las **embarcaciones de hasta 7 metros** de eslora nos encontramos con 23 embarcaciones que se dedican a las dos mismas actividades: auxiliar de acuicultura/pesca y artes menores.

En este caso todos los motores tiene una potencia de hasta 50CV siendo 14 de ellos de hasta 30Cv y 10 de ellos de 25Cv o menos.



Para las artes menores de nuevo se dedican a un promedio de 3-4 artes por embarcación con una dedicación de 10 o mayor al marisqueo, nasa de nécora y camarón, anémona, navalla e longueirón, trasmallo y alga.





Si el corte lo realizamos por motores de hasta 50 Cv de pontecia la proporción de embarcaciones y su dedicación es prácticamente la misma

Etiquetas de fila	Cuenta de arte de pesca
acuicultura/auxiliares	4
CERCO	1
Menores	22
Total general	27

Tras la conversación con la asistencia técnica de la cofradía se ve que no todos estos datos corresponden a los socios de la cofradía de pescadores de Vigo. Los barcos grandes no se registran en la cofradía. Para tener la fotografía completa de la cofradía:

- -Cercos: 20 metros de eslora y 100Cv de potencia
- -Menores: Nasas, trasmallo, Miños, Enmalle: 60-70 Cv y 10-12 m de eslora.
- -Menores: Marisqueo a flote/Menores recurso específico: 5-6 m de eslora y 30-43 CV. Tienen todos motores fueraborda.

Se describen como tareas más habituales de la cofradía:

- Redes
- Pesca cde anzulo
- Buceo (navalla)

La información detallada aparece en el documento DS-SILENCIO_210218_Cofradía Vigo_Jorge.

Cofradía de Cangas

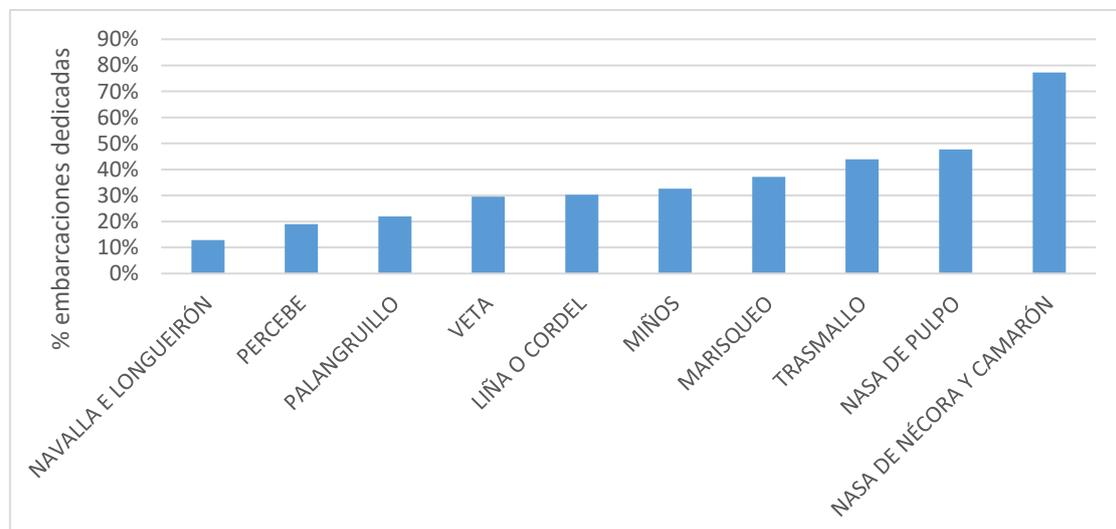
La flota con puerto en Cangas tiene 159 embarcaciones registradas, todas ellas registradas en lista III y IV). La dedicación de estas embarcaciones a diferentes tipos de pesca es la siguiente:

Etiquetas de fila	Cuenta de Caladero_TipoPesca
CALADERO NACIONAL ARTES MENORES	132
CALADERO NACIONAL CERCO	1
PESQUERIA INTERNACIONAL ARRASTRE CONGELADORES	1
PESQUERIA INTERNACIONAL ARRASTRE NAFO CONGELADORES	4
AUXILIARES DE PESCA Y ACUICULTIURA (lista IV)	21
Total general	159

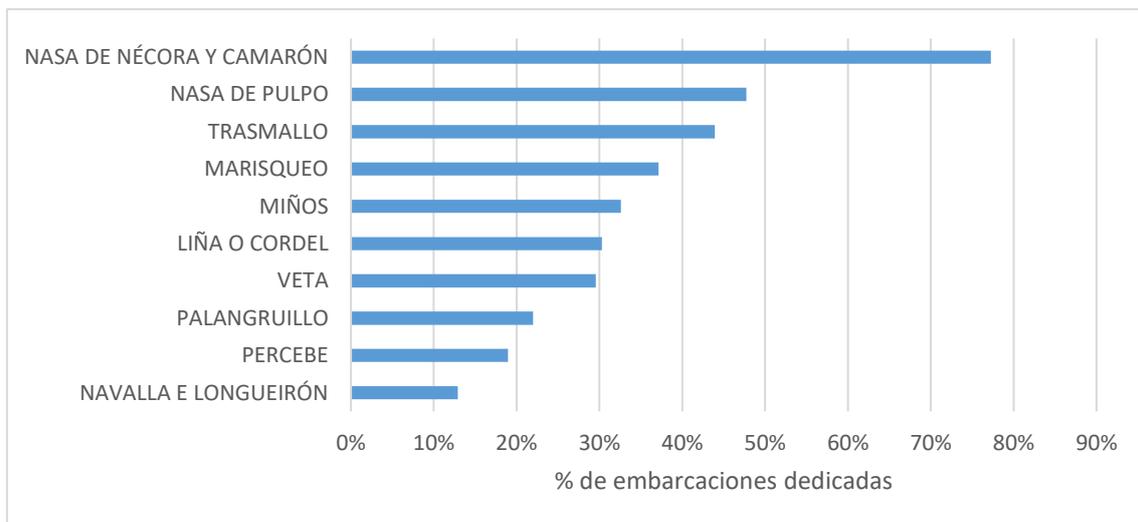
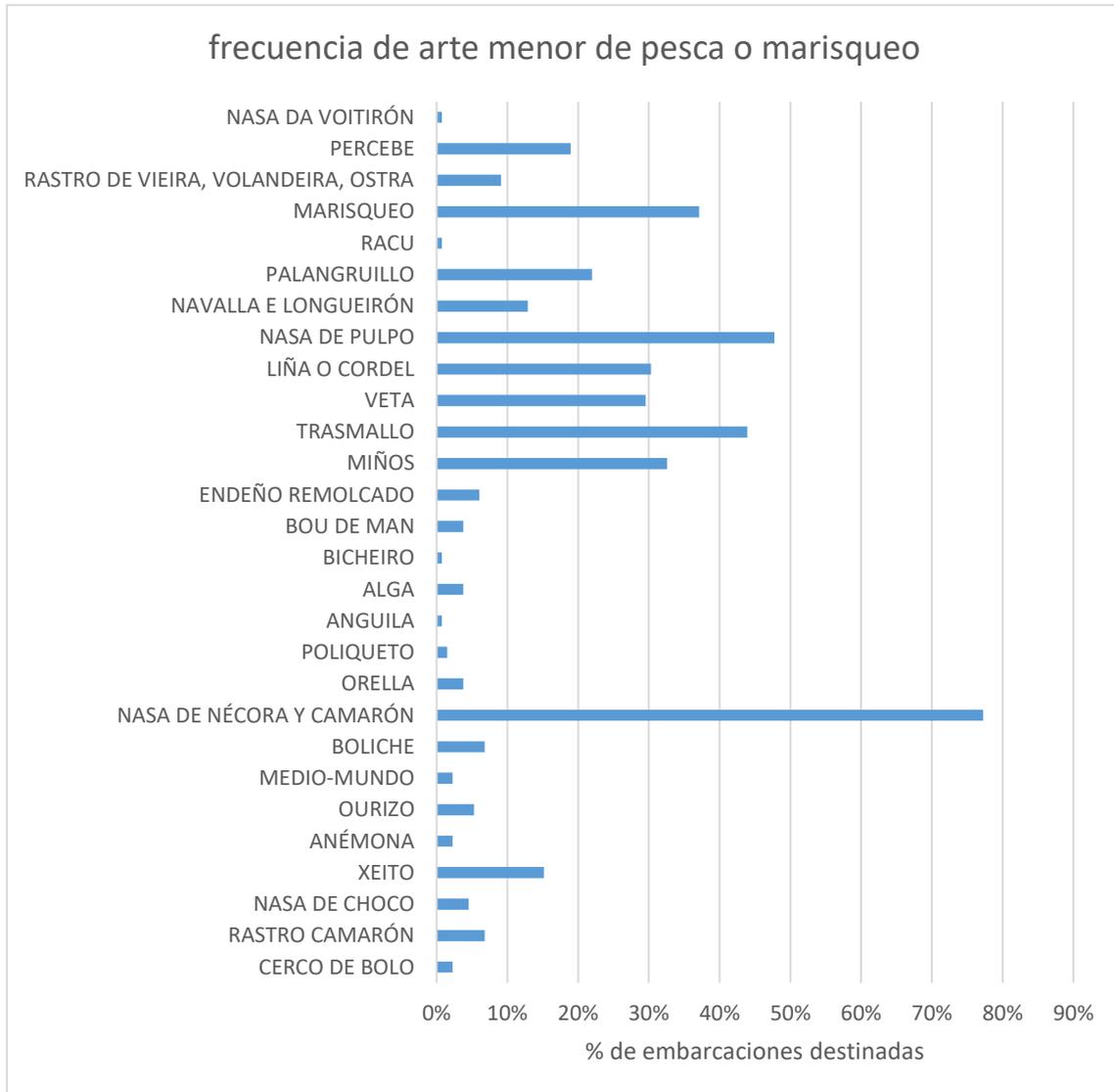


Más del 80% de estas embarcaciones se dedican a las artes menores de pesca y algo más del 10% son auxiliares de la pesca.

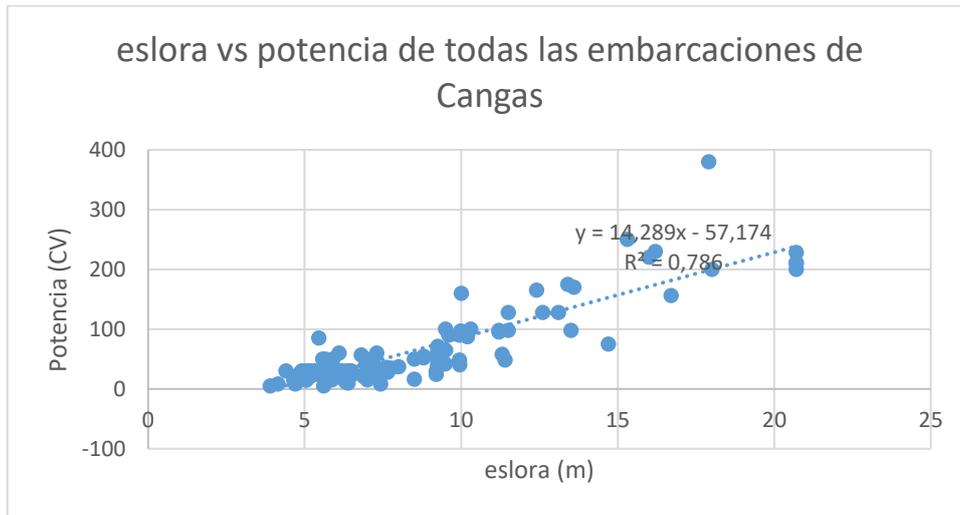
Si se analiza las artes menores a las que están destinados los 132 barcos que a ellas se dedica se ve que tiene permiso para 28 tipos de artes diferentes entre pesca y marisqueo a flote. Aquí se muestra en detalle el % de dedicación a las artes de pesca más abundantes.



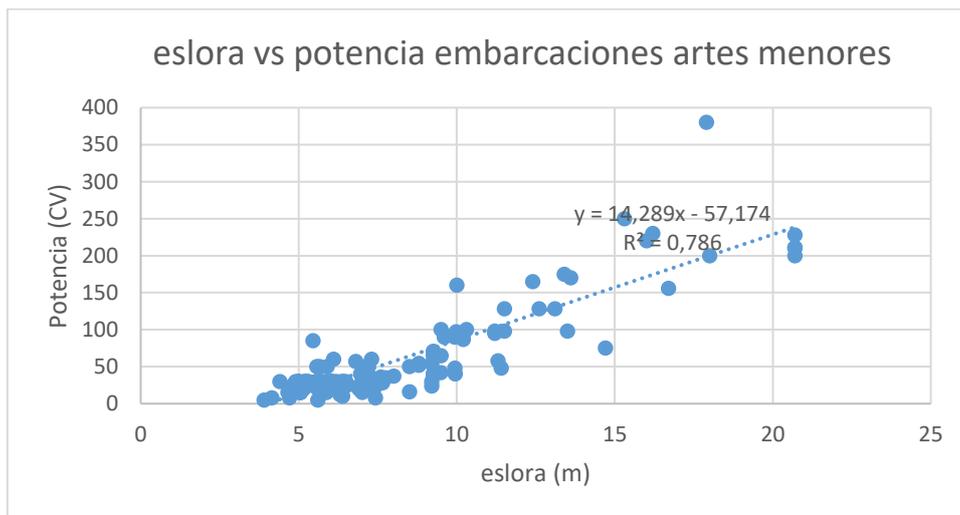
La distribución (en % de buques dedicados) según el arte de pesca es la siguiente:



Según su eslora guardan la siguiente proporción con la potencia de motores principales (159 datos)

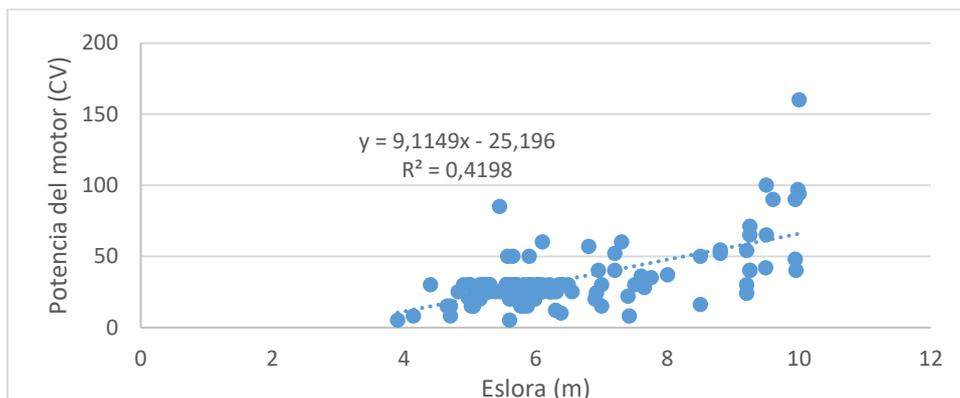


Si nos ceñimos a las embarcaciones que realizan pesca con artes menores la potencia vs eslora es la siguiente (132 datos):

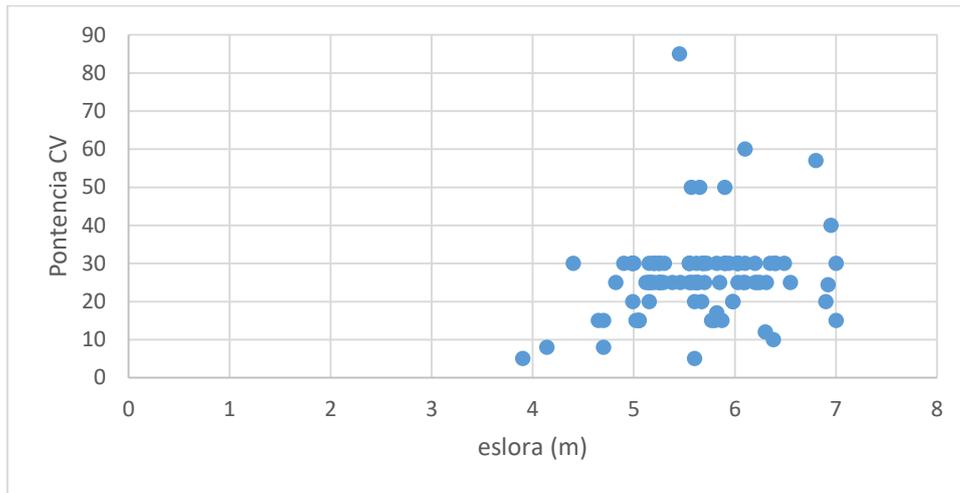


EMBARCACIONES DE MENOR ESLORA

Si atendemos a las embarcaciones de hasta 10 metros de eslora (126 embarcaciones, 122 de artes menores y 4 auxiliares) esta es la relación de su eslora frente a su potencia de motor.

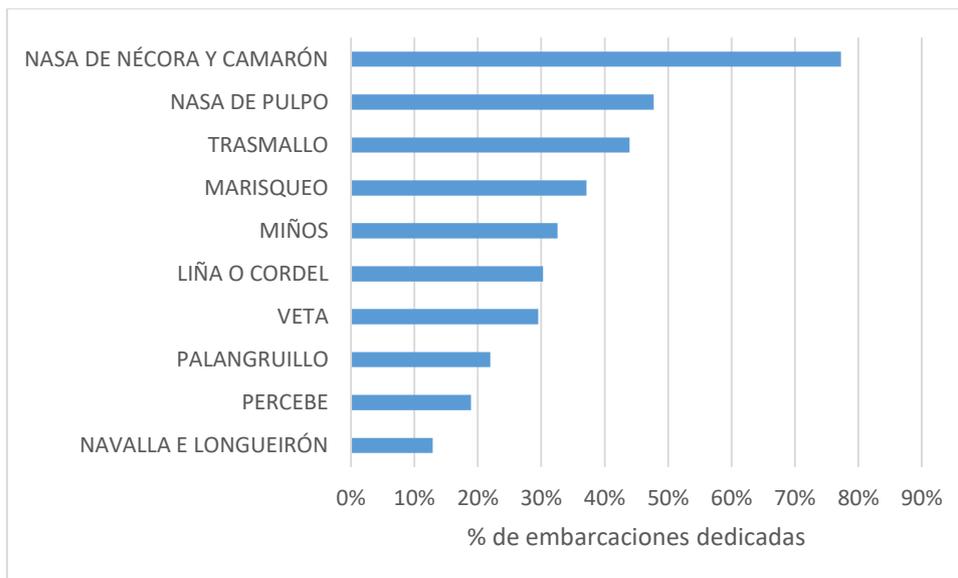


Las embarcaciones de hasta 7 metros de eslora son 95 (92 de arte de pesca menor y 3 auxiliares).
Presentan una relación eslora potencia:



Las potencias se corresponden con los siguientes % de las embarcaciones para cada uno de los tamaños.

potencia	Eslora <10m		Eslora <7m	
	Número embarcaciones	%	Número embarcaciones	%
>50CV	17	13%	3	2%
<50CV	109	87%	92	73%
<40CV	102	81%	89	71%
<30CV	95	75%	88	70%
<25CV	57	45%	53	42%
<20CV	26	21%	24	19%



Las actividades más abundantes según el registro de buques para estas embarcaciones agrupando tipos de artes de pesca parecen:

- Nasa nécora y camarón
- Nasa pulpo
- Redes: Trasmallo/Miños/vetas
- Línea/Cordel/palangrillo
- Percebe
- Navalla
- Marisqueo a flote??

El día 29/06/2021 se visita la cofradía de Cangas y se mantiene una reunión técnica con Berta Barreiro, bióloga y asistente técnica de la Cofradía de Pescadores de Cangas. La visita sirve para matizar la información del registro de buques respecto a las actividades más frecuentes en la Cofradía de pescadores de Cangas.

Como ya ha sucedido en otras Cofradías los asociados a la misma son una buena parte de las embarcaciones que tienen su base en Cangas, ya que algunas ellas no están asociadas. En la actualidad tiene algo más de 200 socios incluyendo el marisqueo a pie (donde uno de cada 7 u 8 socios es mujer) con unas 125 embarcaciones. La realidad difiere de los datos obtenidos en el registro de buques ya que hay embarcaciones que pueden tener permiso para un arte de pesca que nunca emplean. Desde su punto de vista las actividades fundamentales de la cofradía, a lo que realmente se dedican las embarcaciones es:

- Recuros específico: percebe, navalla, erizo, alga, etc. que es la principal fuente de ingreso de los asociados a la cofradía
- Nasa de nécora (mucho no se vende en Cangas)
- Redes
- Palangrillo e línea e cordel

Toda la información se recoge en el documento DS-SILENCIO_210629_Cofradía Cangas.

Cofradía de Bueu

La flota con puerto en BUEU cuenta con 151 embarcaciones, 115 de ellas de lista 3 y 36 de lista 4 (auxiliares de la pesca).

Lista	Número embarcaciones
3	115
4	36
Total general	151

La dedicación de estas embarcaciones de pesca muestra que prácticamente todas las embarcaciones de pesca son de artes menores:

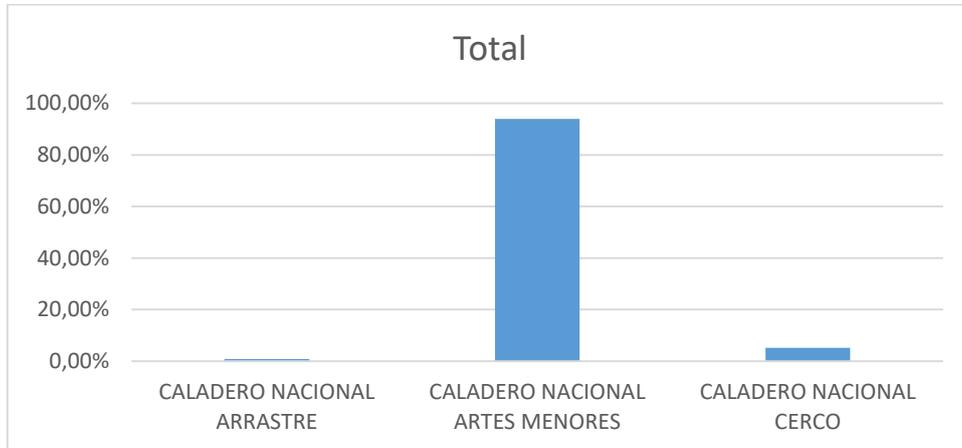
caladero	Número embarcaciones
CALADERO NACIONAL ARRASTRE	1
CALADERO NACIONAL ARTES MENORES	108

CALADERO NACIONAL CERCO

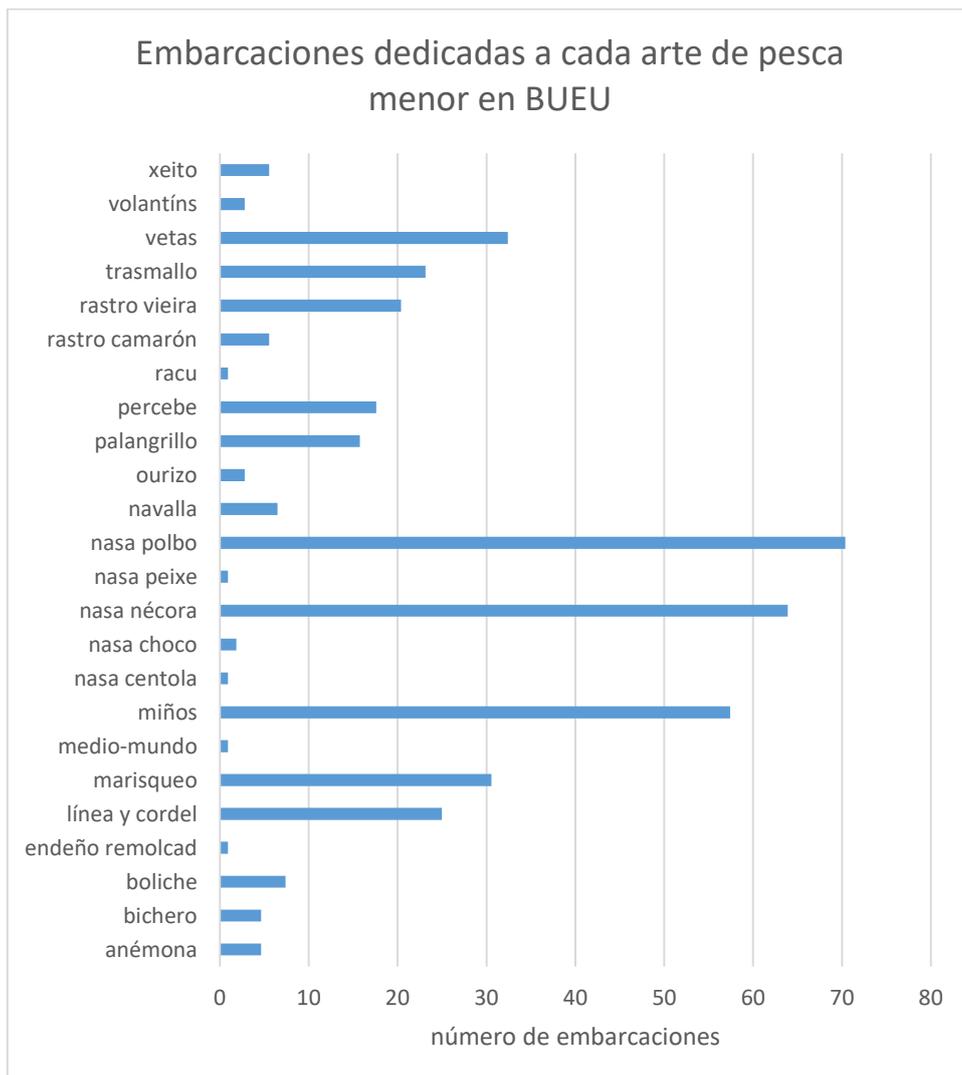
6

Total general

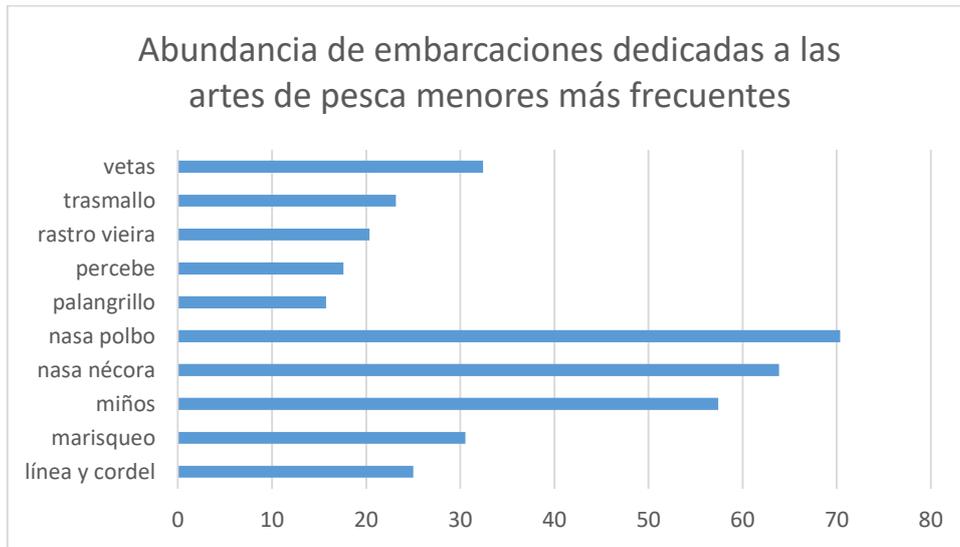
115



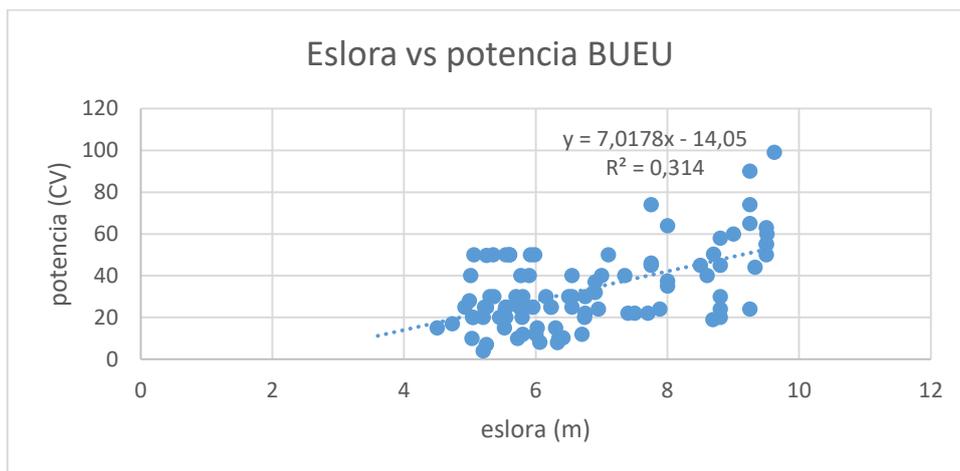
Más del 90% de estas embarcaciones de pesca se dedican a artes menores siendo sus frecuencias de permiso para cada una de las artes las que se recogen en el siguiente diagrama.



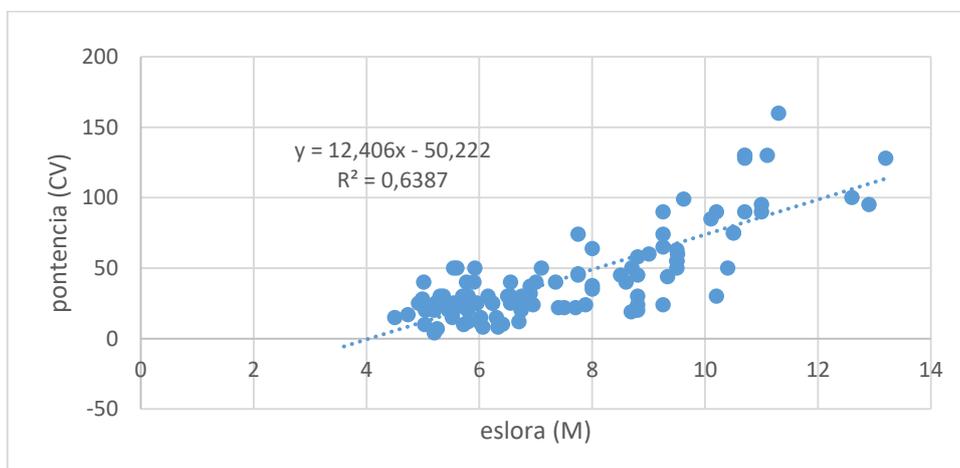
Las artes de pesca más frecuentes son la nasa de pulpo (70%), nasa de ñeçora y camarón (64%) y los miños (57%).



De los 148 datos disponibles, la relación eslora potencia de motores principales es la recogida en la siguiente representación, con una relación bastante clara.

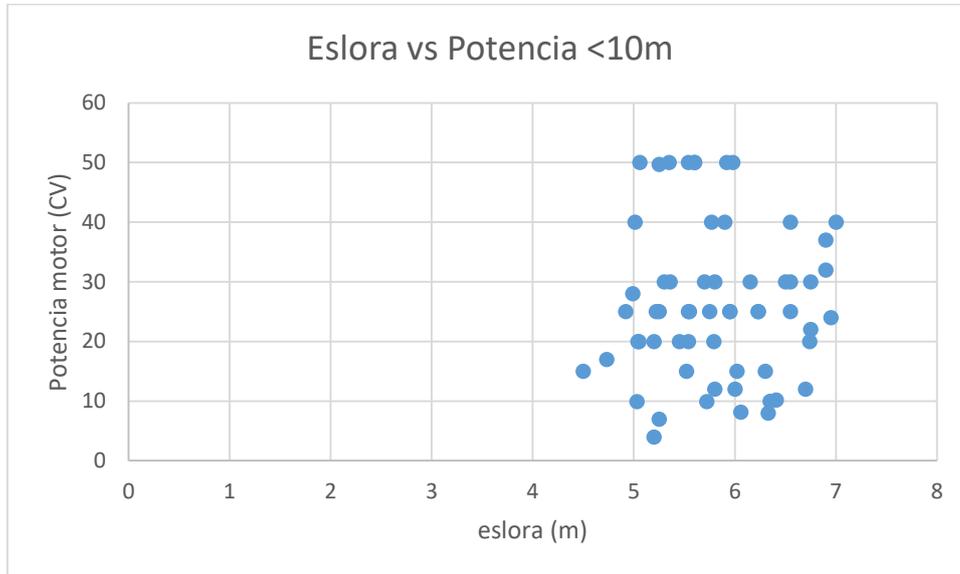


Esta relación más o menos se mantiene cuando la estudiamos en los barcos de pesca con artes menores.



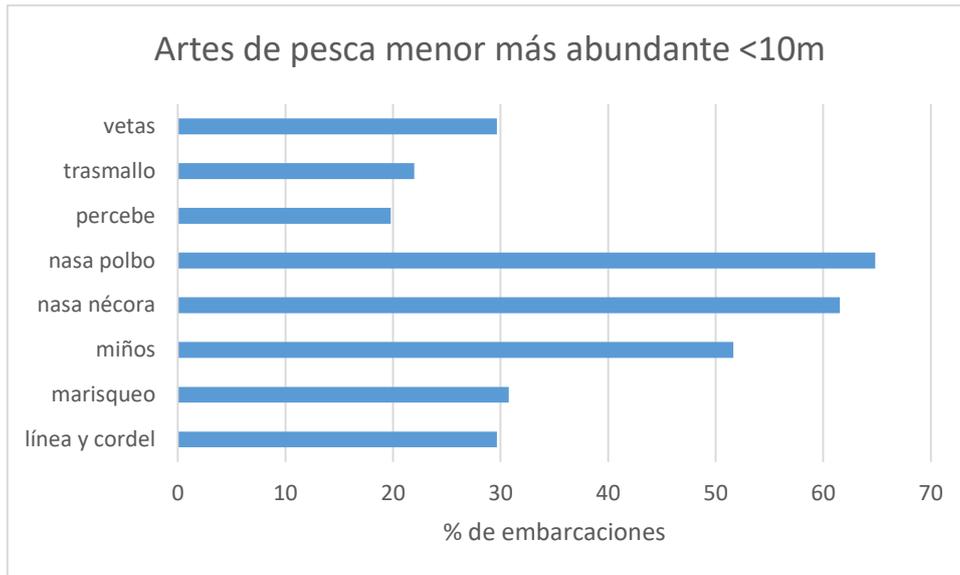
EMBARCACIONES DE MENOR ESLORA

Si atendemos a las embarcaciones de hasta 10 metros de eslora, aparecen 96 embarcaciones, 91 de pesca, todas ellas de artes menores y 5 auxiliares de la pesca. Su relación de su eslora frente a su potencia de motor es la que se recoge en las siguientes gráficas y tablas. Se puede ver que la mitad de ellas tienen potencias del motor de 20 CV o menores haciéndola una flota muy interesante de monitorizar.

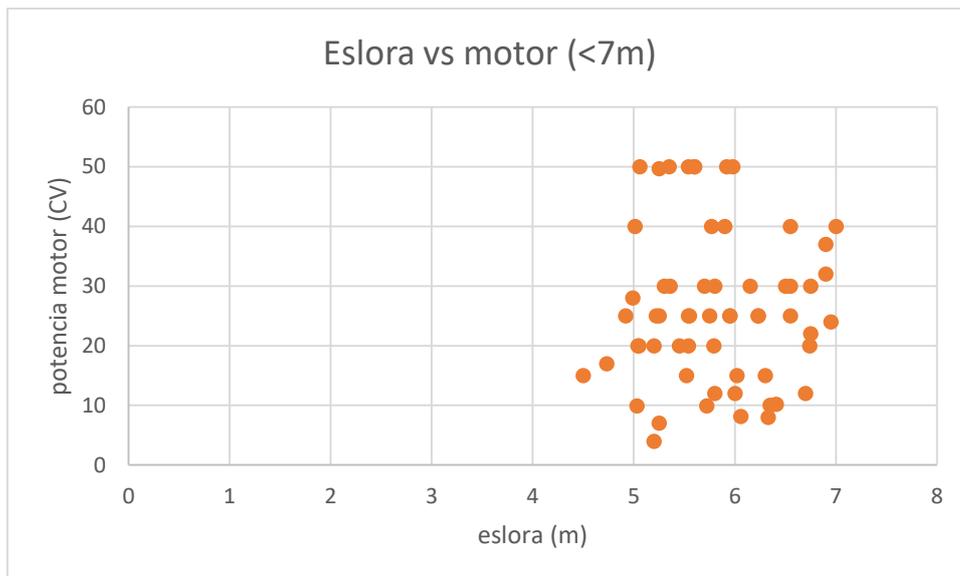


Potencia de motor	Número de embarcaciones
>50 CV	13
<= 50CV	80
<= 40CV	65
<= 30CV	54
<= 25CV	44
<= 20CV	25
<= 15CV	15
<= 10CV	7
no data	3

Respecto a las artes de pesca empleadas se observa que la información relativa a las embarcaciones de menos de 10 m de eslora es bastante similar a la global, desapareciendo el trasmallo y el rastro de vieira entre las artes de más de un 20% de las embarcaciones dedicadas, por lo que se deduce que es labor de las más grandes. Las artes más abundantes siguen siendo nasa de pulpo, nasa de nécora y miños con el 65, 62 y 52% (respectivamente) de las embarcaciones dedicadas.

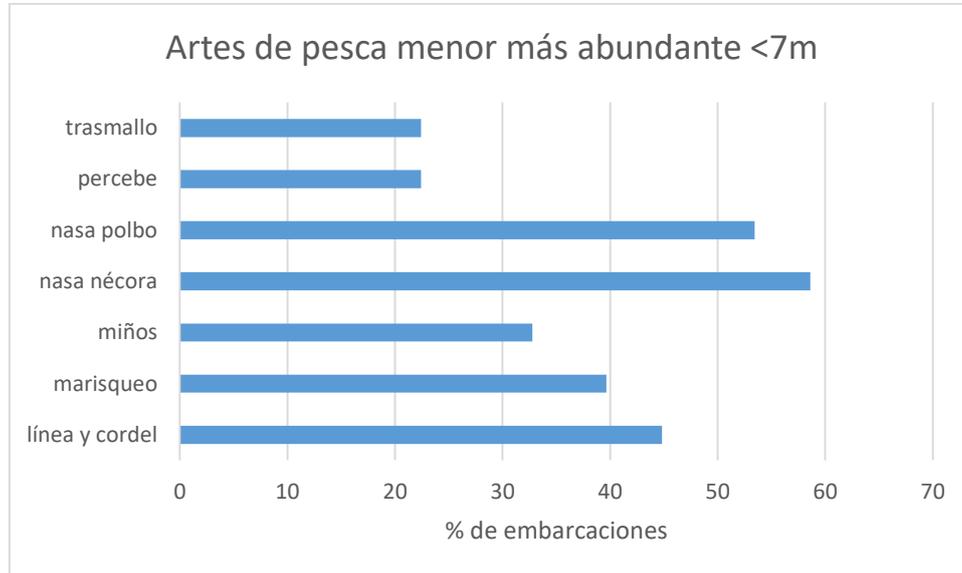


Las embarcaciones de hasta 7 metros de eslora son 63 (58 de arte de pesca menor y 5 auxiliares).
Presentan una relación eslora potencia:



Potencia de motor	Número de embarcaciones
>50 CV	0
<= 50CV	60
<= 40CV	52
<= 30CV	45
<= 25CV	36
<= 20CV	23
<= 15CV	15
<= 10CV	7
no data	3

Respecto a las artes de pesca se ve que nasa de pulpo y nécora siguen siendo las más abundantes (59 y 53% respectivamente). Sin embargo en tercera posición se observa que aparece la línea y cordel (45%) quedando los miños en poco más del 30% de embarcaciones dedicadas). Las vetas desaparecen de la lista.



El día 8 de Junio de 2021 se mantiene por teams una reunión con la asistencia técnica de la cofradía de Bueu (Adriana García Rellán) que nos ayuda a pulir la fotografía que se ha obtenido de la flota de bueu.

Los trabajos principales de la bajura son:

- Cerco: sale de noche
- Nasas de pulpo y de nécora y camarón: 2 veces al día
- Redes (miños fundamentalmente): 1 vez al día

Los trabajos de marisqueo son:

- PERCEBE:
- OURIZO:
- NAVALLA:
- Marisqueo a flote

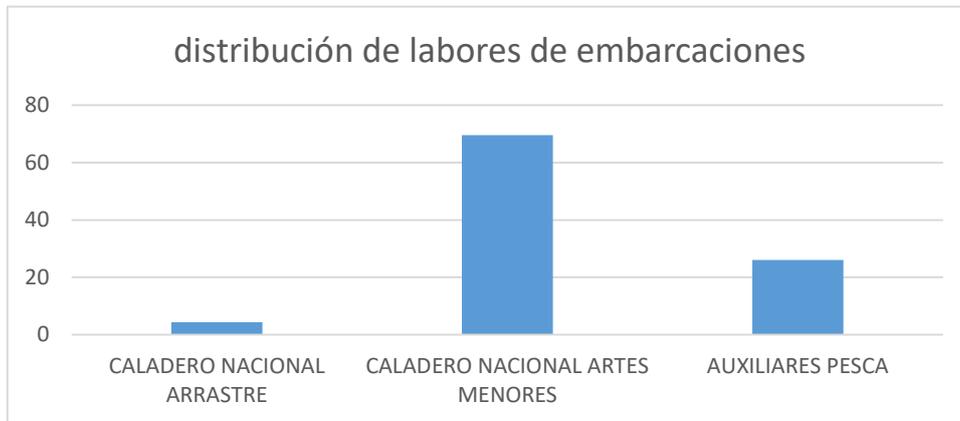
En el documento DS-SILENCIO_210708_CofradíaBueu se puede encontrar toda la información.

Cofradía de Muros

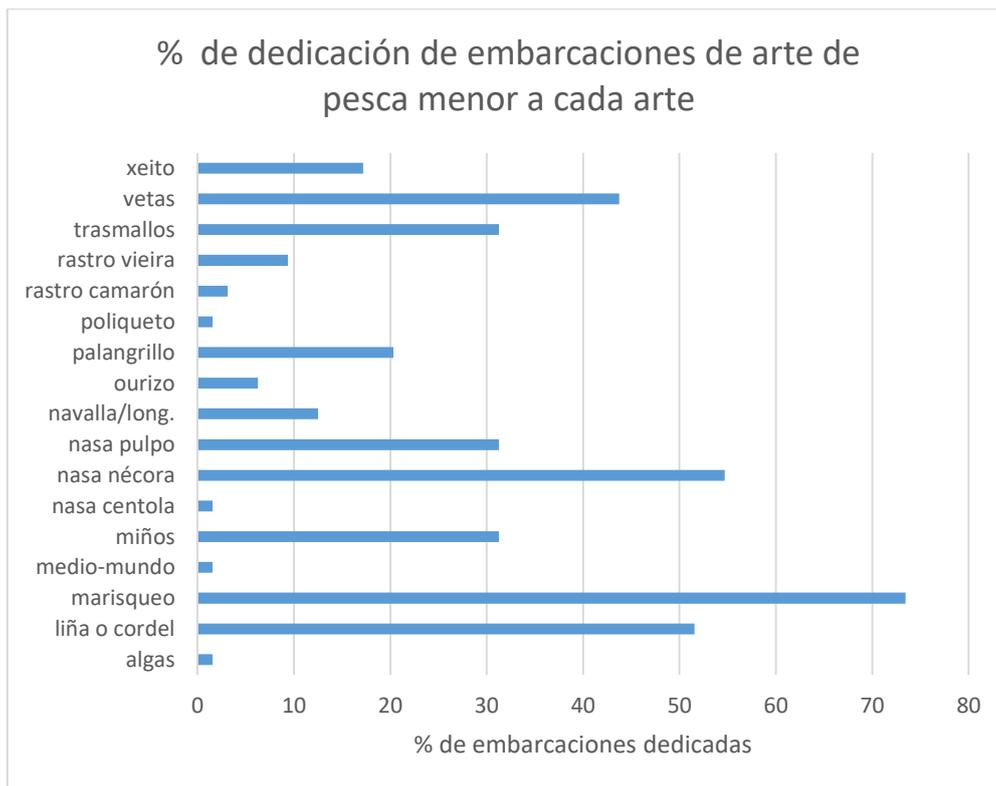
La flota con puerto en Muros tiene 92 embarcaciones registradas, todas ellas registradas en lista III y IV, siendo 68 de pesca y 24 auxiliares. La dedicación de estas embarcaciones de pesca muestra que prácticamente todas las embarcaciones de pesca son de artes menores:

caladero	Número embarcaciones
----------	----------------------

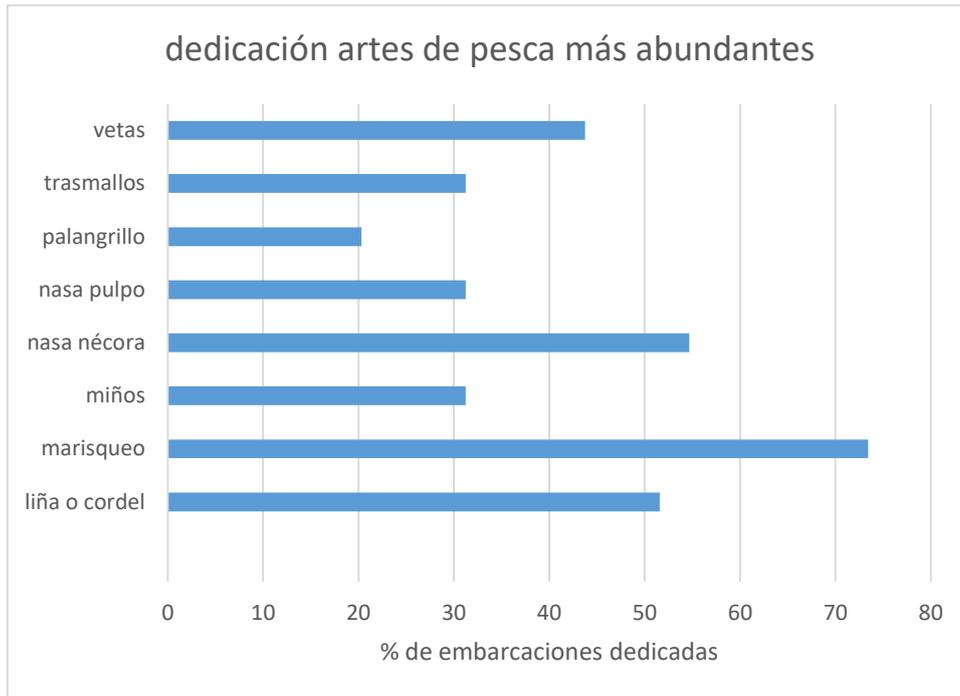
CALADERO NACIONAL ARRASTRE	4
CALADERO NACIONAL ARTES MENORES	64
Total general	68



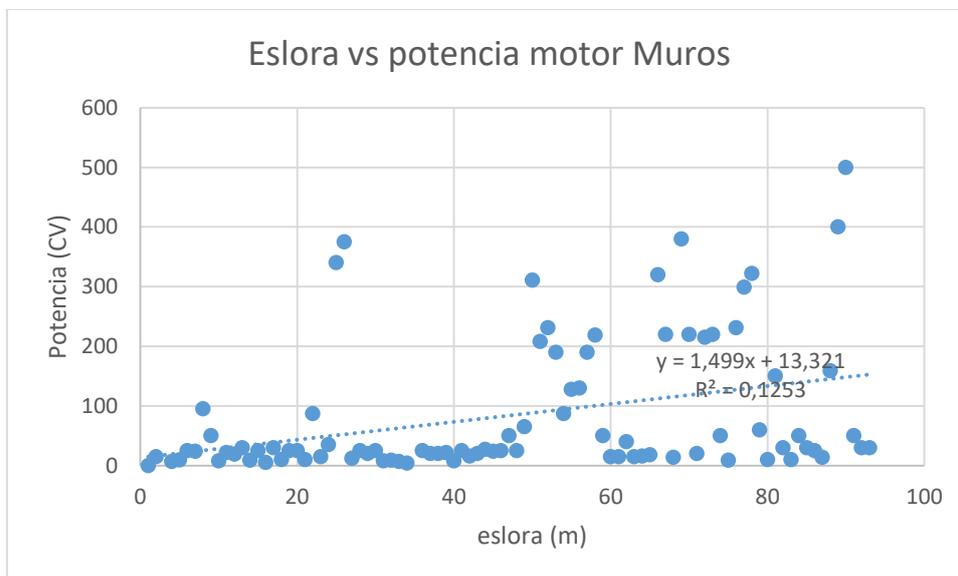
En 70% de las embarcaciones, y el 94% de los que son de pesca se dedican a las artes menores, siendo la distribución de estas en % de embarcaciones dedicadas a esa labor la que se recoge en el siguiente diagrama.



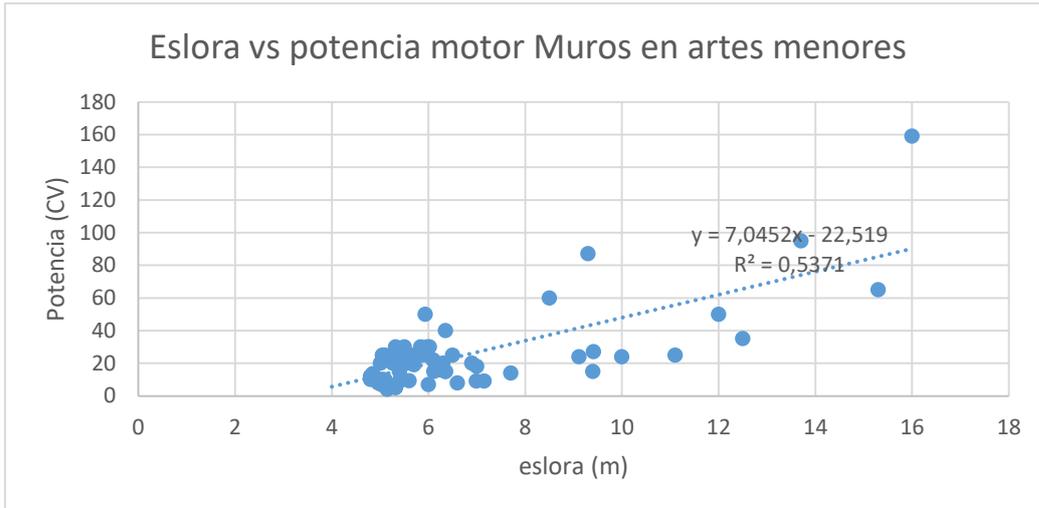
Más en detalle vemos que las artes de pesca más habituales son el marisqueo a flote (con 47 embarcaciones), seguidas consecutivamente de la nasa de nécora, línea o cordel y vetas con 35, 33 y 28 embarcaciones con permiso para hacerlo. Casi una tercera parte de las embarcaciones se dedican también a trasmallos, nasa de pulpo y miños (20 para cada una de ellas).



Según su eslora guardan la siguiente proporción con la potencia de motores principales (92 datos). Se ve que no hay una relación demasiado clara.

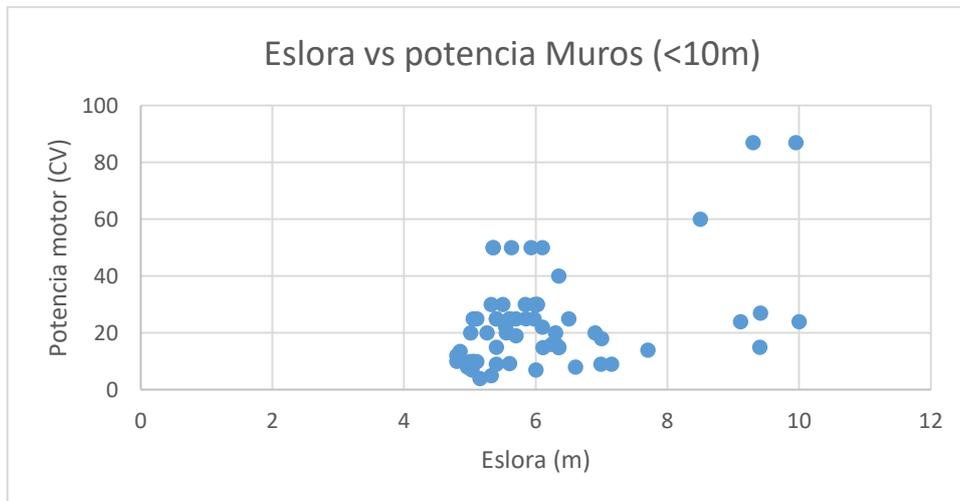


Si nos ceñimos a las embarcaciones de pesca de artes menores la relación mejora.



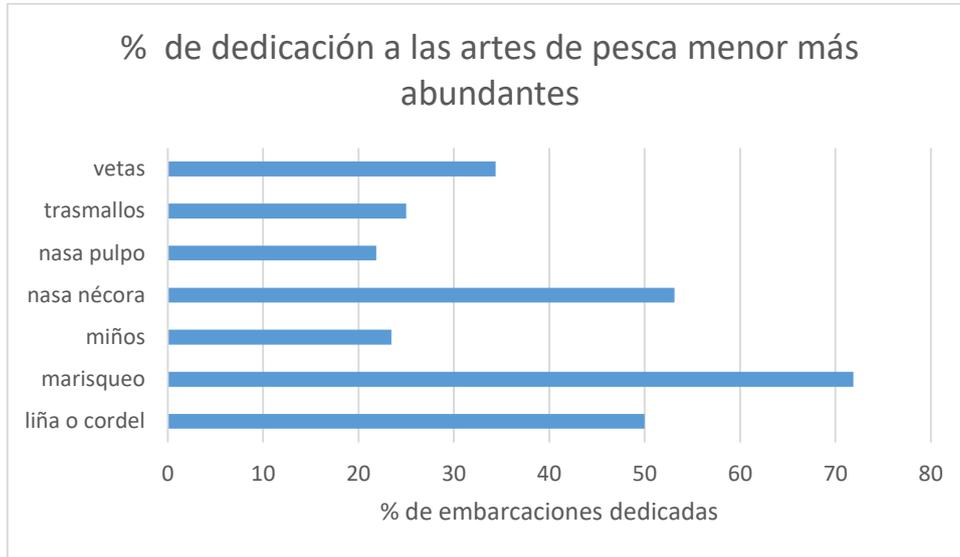
EMBARCACIONES DE MENOR ESLORA

Si atendemos a las embarcaciones de hasta 10 metros de eslora, aparecen 64 embarcaciones, 58 de pesca, todas ellas de artes menores y 6 auxiliares de la pesca. Su relación de su eslora frente a su potencia de motor es la que se recoge en las siguientes gráficas y tablas. Se puede ver que la mitad de ellas tienen potencias del motor de 20 CV o menores haciéndola una flota muy interesante de monitorizar.

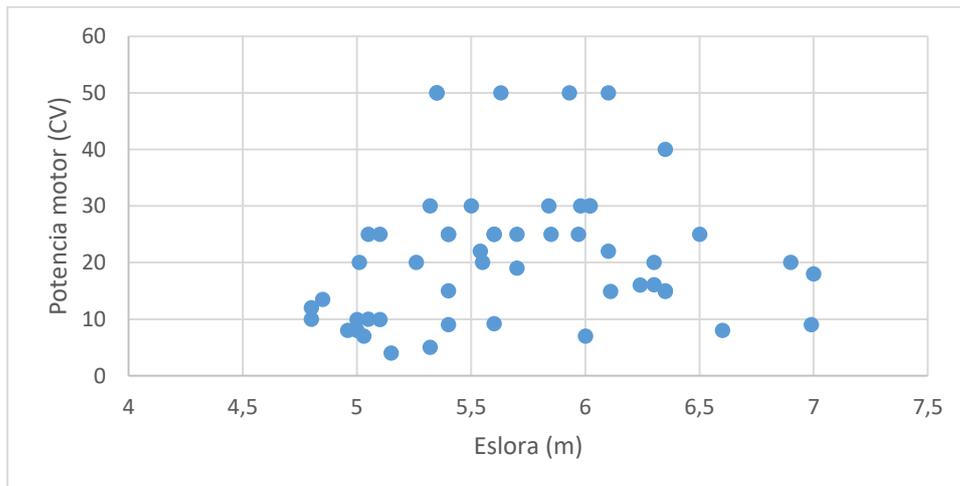


Potencia de motor	Número de embarcaciones
>50 CV	3
<= 50CV	59
<= 40CV	54
<= 30CV	53
<= 25CV	46
<= 20CV	32
<= 15CV	23
<= 10CV	15
no data	2

Respecto a las artes de pesca empleadas se observa una ligera modificación frente a los datos generales ya que desaparece el palangrillo como actividad de las del 20% de la flota. Marisqueo a flote sigue siendo la más abundante, seguida de nasa de nécora (algo más de 50%), de línea y cordel (50%) y vetas (35%).

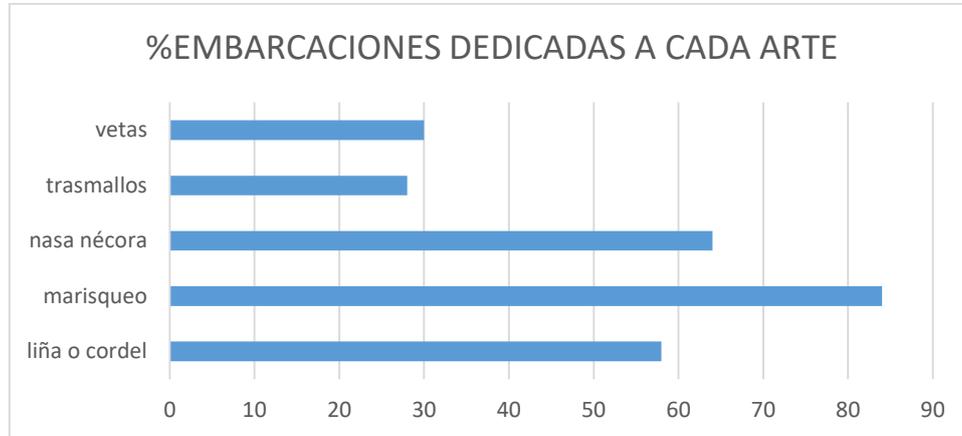


Las embarcaciones de hasta 7 metros de eslora son 55 (50 de arte de pesca menor y 5 auxiliares). Presentan una relación eslora potencia:



Potencia de motor	Número de embarcaciones
>50 CV	0
<= 50CV	53
<= 40CV	48
<= 30CV	47
<= 25CV	41
<= 20CV	29
<= 15CV	20
<= 10CV	14
no data	2

Respecto a las artes de pesca empleadas se observa que únicamente 5 artes de pesca las tienen inscritas más del 20% de los barcos, desapareciendo de la lista la nasa de pulpo y los niños. Más del 80% de la flota se dedica al marisqueo a flote, seguida de la nasa de nécora (con más del 60%) y la línea y cordel (con más de 50%).



El día 6 de Junio de 2021 se mantiene por teams una reunión con la asistencia técnica de la cofradía de Muros (María Baude) que nos ayuda a pulir la fotografía que se ha obtenido de la flota de Muros.

Las embarcaciones que se dedican a la lista 4 son todas para las bateas. Respecto a la tercera lista hay un % muy importante dedicado al

- marisqueo a flote
- nasa de nécora
- nasa de pulpo (más potencia)
- navalla

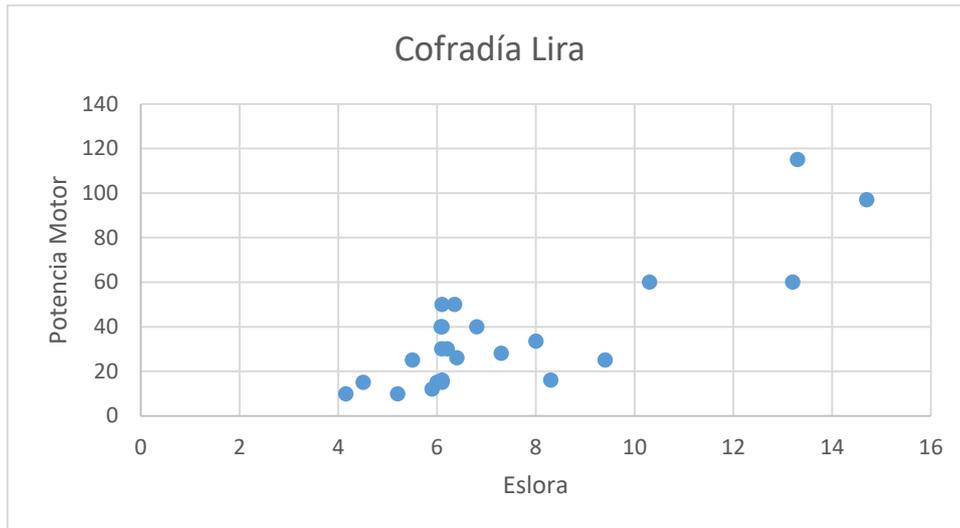
En el documento DS-SILENCIO_210706_CofradíaMuros se puede encontrar toda la información.

Cofradía de Lira

La cofradía de pescadores de Lira, concello de Carnota, es una cofradía de pescadores pequeña, aunque no lo es tanto si se tiene en cuenta la población de la parroquia que es de algo más de 800 habitantes.

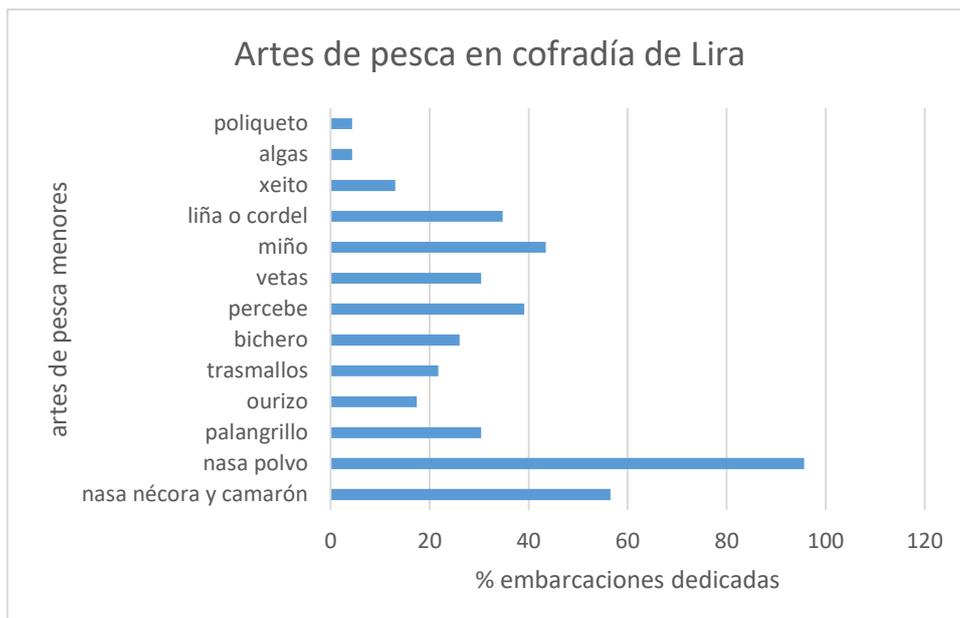
Destaca que faenan en una Reserva Marina de Interés Pesqueiro "Os Miñarzos" en una buena parte y que son un colectivo pequeño y marisquero que no sólo convive con dicha figura de protección sin que en su día la fomentó siendo un ejemplo de inquietud medioambiental del sector.

La flota está formada por 25 embarcaciones, 23 de lista III, todas ellas de artes menores, y 2 de lista IV. De las 25 embarcaciones se trabaja con esloras de entre 4,15 y 14,7 m y con potencia de motor entre 9,9 y 115CV.



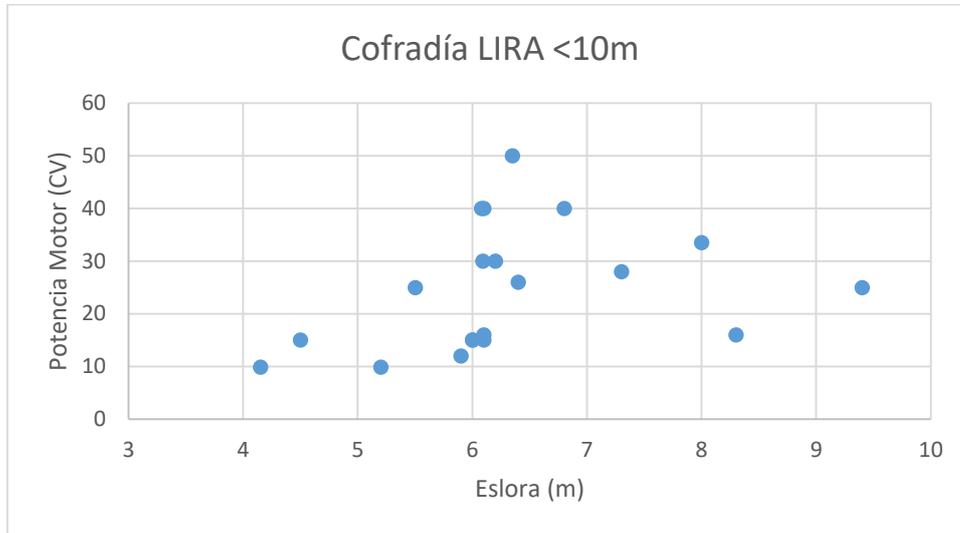
Todas ellas van a artes menores y entre los permisos que aparecen están un gran variedad de artes de pesca

- Nasa nécora e camarón
- Nasa polbo
- Palangrillo
- Ourizo
- trasmallos
- Bicheiro
- Percebe
- Miños
- Vetas
- Linea o cordel
- Xeito
- Alga
- Poliqueto



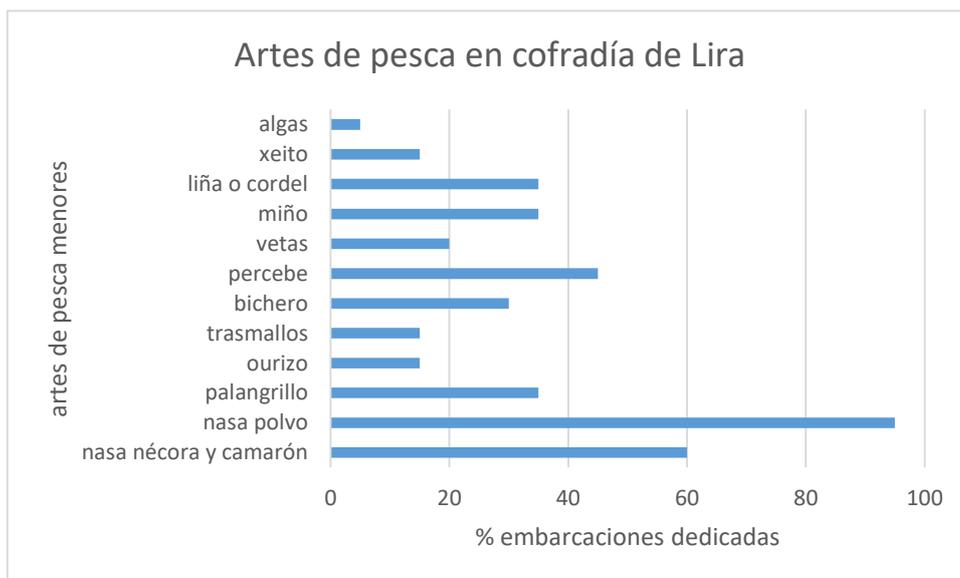
EMBARACIONES DE PESCA DE MENOS DE 10 METROS DE ESLORA

Son 20 embarcaciones con unas esloras entre 4,15 y 9,4 m y una potencia de motor entre 9,9 CV y 50 CV.



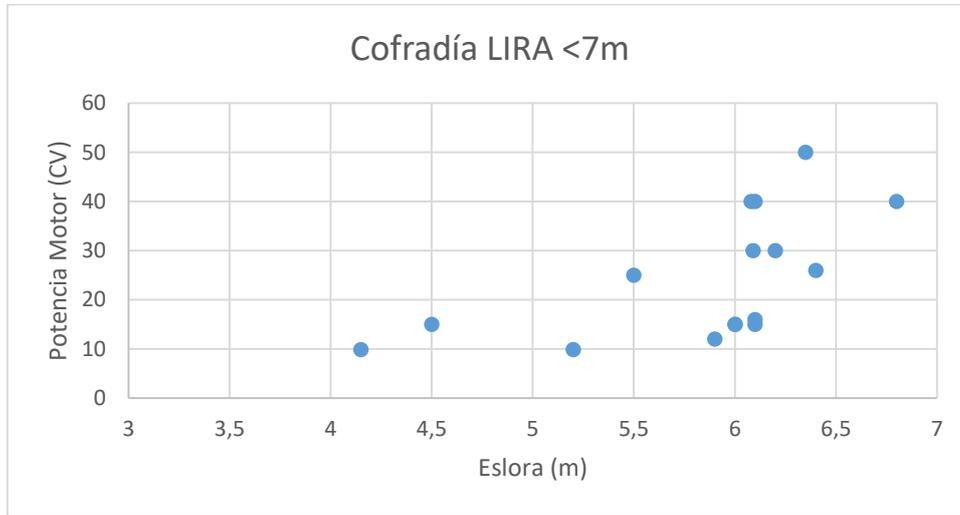
Las artes de pesca que emplean son muy variadas. Destaca que el 95% de ellas se dedican a la nasa del pulpo, el 60% a la nasa de nécora y camarón y casi el 50% al percebe.

	Arte de pesca						
	nécora y camarón	nasa polvo	palangrillo	bichero	percebe	miño	liña o cordel
Número embarcaciones	12	19	7	6	9	7	7
% dedicadas	60	95	35	30	45	35	35



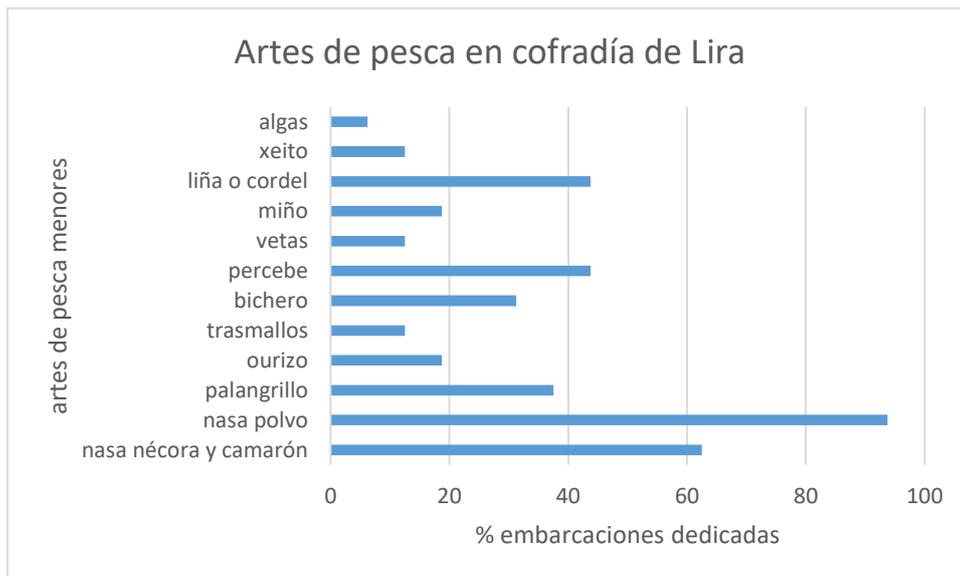
EMBARACIONES DE PESCA DE MENOS DE 7 METROS DE ESLORA

Son 7 embarcaciones con unas esloras entre 4,15 y 6,8 m y una potencia de motor entre 9,9 CV y 50 CV.



Las artes de pesca que emplean siguen siendo muy variadas. La nasa del pulpo (94) y la nasa de nécora y camarón (63) siguen siendo las más abundantes. Respecto a la eslora de 10m destaca que baja el % de miño considerablemente ya que todas las embarcaciones entre 7 y 10m tenía registrado ese arte de pesca.

	Arte de pesca						
	nécora y camarón	nasa polvo	palangrillo	bichero	percebe	miño	liña o cordel
Número embarcaciones	10	15	6	5	7	3	7
% dedicadas	63	94	38	31	44	19	35



Se tienen diversas reuniones con el patrón mayor de la cofradía de Lira y de ahí se identifican los siguientes trabajos principales de su flota:

- Nasa del polvo
- redes
- Percebe
- Recurso específico (buceo)

En el documento DS-SILENCIO_210512_CofradíaLira se puede encontrar toda la información.

3. Tipificación de las tareas realizadas por la flota de embarcaciones de pequeño porte

Además de realizar la caracterización de la flota de Galicia y de las cofradías de pescadores, incluidos la caracterización de los trayectos y del uso del motor (ver los anexos comentados previamente), se decide que sería de gran utilidad dotar a embarcaciones de diferentes artes de pesca y cofradías de un dispositivo GPS para recoger los datos de su trabajo (posicionamiento, velocidad, distancia recorrida, etc.) que dan una información objetiva y fiable de los trabajos realizados.

3.1. Dispositivo GPS y recopilación de información

El dispositivo GPS es del tamaño de un pendrive o un mp3 y trabaja en modo autocontenido. Tiene una memoria que permite al usuario no preocuparse de la descarga de datos y simplemente debe encargarse de cargarlo periódicamente para que no quede sin energía. Puede colocarse en cualquier lugar del barco o en el bolsillo o cuellos de un tripulante. Se elabora un manual de usuario (que se plastifica) para explicar su uso.



Foto 1: Dispositivo GPS facilitado a diversis buques de pequeño porte.

La idea es que cada embarcación recoja los datos de 10-15 días de trabajo, desde que sale de puerto hasta que vuelve, junto con una serie de información adicional, especialmente, los litros (o €) de combustible consumidos en la misión. Para ellos se facilita un estadillo como el inferior.

ESTADILLO PARA REGISTRO DO DATOS DE POSICIONAMENTO PARA A CARACTERIZACIÓN DOS CASOS DE USO PARA O ESTUDO DA VIABILIDADE DE ELECTRIFICAR MOTORES DAS EMBARCACIÓNS PEQUEIRAS DE PEQUENO PORTE

DATA	NOME EMBARCACION	MATRÍCULA	ARTE PESCA EMPREGADO	METEOLOXÍA	PESO APROXIMADO DAS CAPTURAS	LITROS DE COMBUSTIBLE CONSUMIDOS	OBSERVACIÓNS SOBRE USO DO MOTOR

Todos ellos reciben una pequeña remuneración económica por el servicio prestado (salvo aquellos que por diversos motivos prefieren rechazarla) y para ellos es validado, a través del registro SANCIPES, que son trabajadores y trabajadoras del mar no están sancionados por FEMP ni incurrir en otra incompatibilidad.

3.2. Tipos de tareas y embarcaciones que las realiza

Las tareas seleccionadas y las embarcaciones que las realizan son las siguientes:

EMBARCACIÓN	COFRADÍA	ARTE DE PESCA	NÚMERO DE CAMPAÑAS	MOTOR	CV
Margarita	Vilanova de Arousa	Marisqueo a flote	12	Gasolina	40
Savi	Vilanova de Arousa	Marisqueo a flote	13	Gasolina	50
CarolinaGM	Cangas	Percebe	7	Gasolina	30
		Linea e cordel	9		
Sempre Concha	Cangas	Navalla	17	Gasoil	150
Sirena M	Baiona	Nasa pulpo	5	Gasolina	30
		Palangrillo	8		
		Percebe	7		
Tarita M	A Guarda	Miños	9	Gasolina	25
		Percebe	1		
Tres Gritos	Lira	Nasa pulpo	9	Gasolina	40



Foto 2: Embarcaciones Sempre Concha, Sirena M y Carolona GM que participan en Silencio.



Foto 3: Embarcaciones Savi, Tarita M y Tres Gritos que participan en Silencio



Foto 4: Fotografía de la amebarcación Margarita que participa en SILENCIO.

3.3. Resumen de los datos recopilados

Para cada una de las misiones realizadas se obtiene un archivo de GPS que se guarda en 3 formatos diferentes (*.csv, *.gpx, *.kml) para que puedan ser leídos por diferentes programas. Estos archivos se nombran de manera automática “export_YYYY-MM-DD HH-mm.csv” siendo la fecha y la hora la correspondiente a la misión. Recopilan la siguiente información separada por comas o columnas según corresponda:

- Orden correlativo del dato
- Fecha GMT
- Hora GMT del dato
- Fecha LOCAL
- Hora LOCAL
- Latitud (grados y decimales de grado: 42.563206)
- Punto cardinal de la Latitud N
- Longitud (grados y decimales de grado: 8.830818)
- Punto cardinal de la Longitud W
- Elevación
- Velocidad

Además en el programa *software* específico *CanWay.exe* de los equipos la interfaz te da de manera automática gran cantidad de datos:

- Velocidad media
- Velocidad máxima
- Velocidad mínima
- Distancia recorrida
- Tiempo de la misión
- Tiempo parados dentro de la misión

Además plotea los datos en un mapa y te muestra unas gráficas de velocidad respecto al tiempo o a la distancia recorrida. Se muestra como ejemplo los datos de una campaña de Tarita M del 11/06/2021 con Miños. En ellas se introducen también datos manualmente de embarcación, consumo y arte de pesca.

Summary	Speed / Elevation	Photo
Name	2021-06-11 04-47	
Category	Running	
Time Zone	(UTC+01:00) Bruselas, Copenhague, Madrid, París	
Location		
Distance	36.27 km	Climb 33.10/-42.76 m
Duration	5:03:45	Stop 1:14:24
Avg. Speed	7.16 km/h	Pace 8:22 min/km
Max. Speed	37.00 km/h	Min. Pace 1:37 min/km
Calories	1933.8 Kcal	
Weather		
Equipment		
Notes	TARITAM. ALEX, MIÑOS, 20L	

Figura 2: información adicional que recopila en software CanWay.

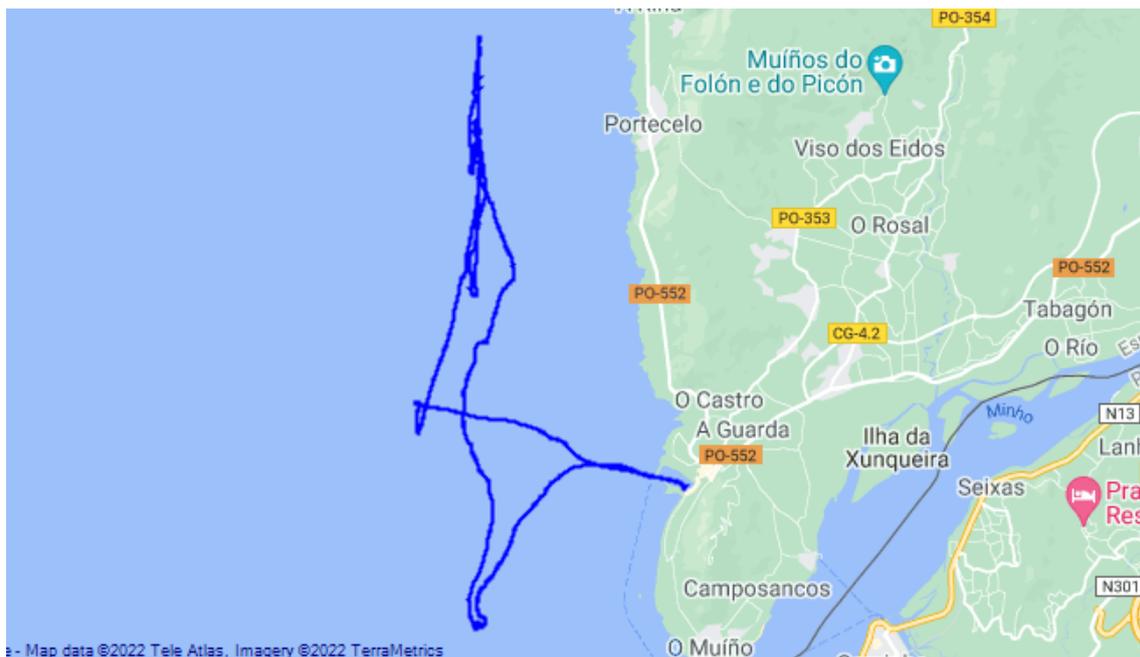


Figura 3; mapa del recorrido realizado.

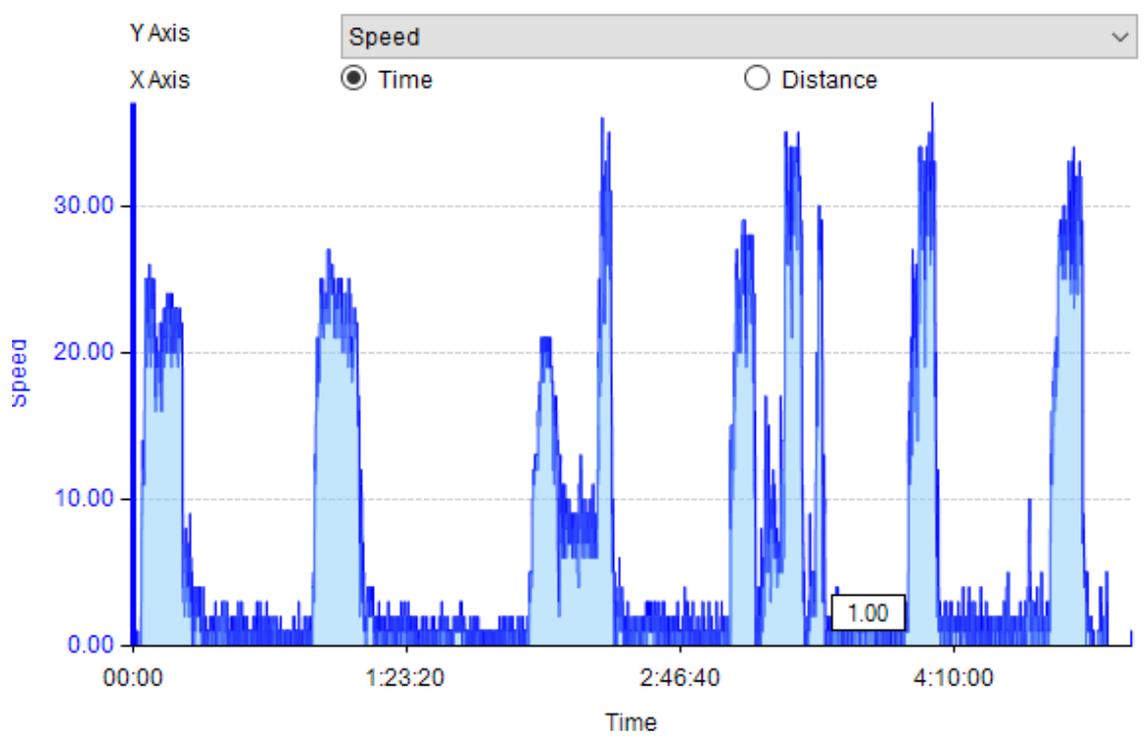


Figura 4: Velocidad vs tiempo transcurrido en esa misión.

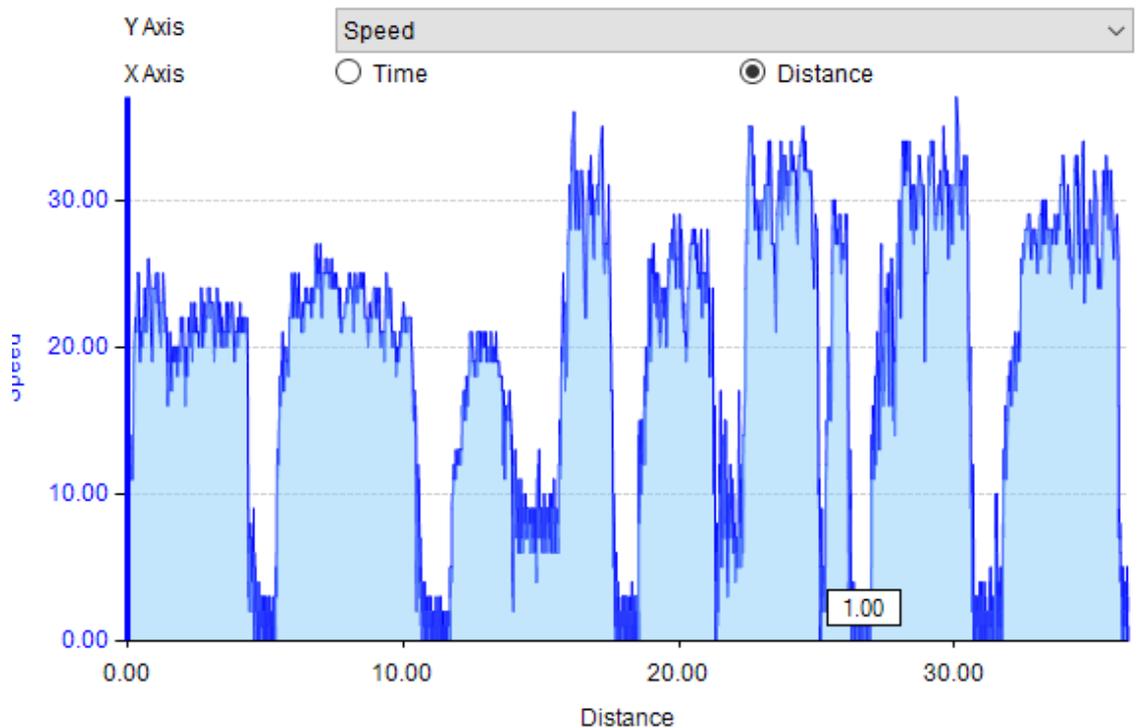


Figura 5: Velocidad vs distancia recorrida para esa misión.

Con todos estos datos obtenidos más una interpretación de la tipología de la campaña se acaban de tipificar las misiones que se realizan:

- Velocidad: constante, variable, bimodal
- Movimiento: homogéneo, picos, dentado
- Desplazamiento: sólo, sí, no

En el documento GPS_DATOS_SILENCIO se guarda toda la información relativa a los datos obtenidos. EN las siguientes tablas y gráfica se muestra un resumen:

Embarcación	Distancia media (km)	Velocidad media (km/h)	Velocidad máx prom (km/h)	Tiempo Medio (hh:mm:ss)	% tiempo movimto	Consumo combustible medio (L)	Desplazamiento
Arte de pesca							
CarolinaGM	46	11	57	4:24:09	69	29	
línea e cordel	43	9	61	4:58:54	61	25	Sí
percebe	49	12	55	3:55:11	76	32	Sí
Margarita	6	2	38	3:29:14	19	3	
marisqueo a flote	6	2	38	3:29:14	19	3	Sólo
Savi	5	2	34	2:59:30	20	3	
marisqueo a flote	5	2	34	2:59:30	20	3	Sólo
Sempre Concha	22	7	24	2:59:59	42	30	
navalla	22	7	24	2:59:59	42	30	Sólo
Sirena M	25	8	46	3:34:07	73	17	
nasa pulpo	24	8	44	3:09:21	82	14	No
palangrillo	29	8	45	4:41:43	76	21	Ida
percebe	22	8	49	2:44:11	64	15	Sólo/Sí
Tarita M	31	6	46	5:11:50	63	22	
miños	33	6	47	5:26:59	69	24	No
percebe	6	2	37	2:55:30	13	4	Sólo
Tres Gritos	23	5	30	4:59:25	73	21	
nasa pulpo	23	5	30	4:59:25	73	21	No

3.4. Selección de casos de uso

Con toda esta información se concluye que los trayectos más fácilmente realizables con motores eléctrico son aquellos que se lleva a cabo a velocidades bajas más o menos constantes o aquellos que la velocidad es empleada únicamente para desplazarse, pero que podría ser menor que la registrada por los GPS. Así las tareas más fácilmente mudables parecen ser:

- Marisqueo a flote
- Navalla
- Percebe
- Nasa de pulpo

Sin embargo en los análisis realizados con los participantes y colaboradores del proyecto (patrones, cofradías) se entiende que actividades como las nasas y el percebe, que inicialmente parece que se podrían electrificar quedan en un estado muy vulnerable porque en momentos concretos pueden necesitar mucha potencia de motor para salir de las piedras o auxiliar a un compañero.

El sector matiza que para ellos las actividades mejores para ser mudadas a motores eléctricos son los marisqueos a flote y los buceos de navaja o recurso específico (erizos, anémonas,

poliquetos). Según el sector es más factible electrificar actividades como la línea o cordel o el palangrillo, incluso alguna actividad de redes de pocas dimensiones. Según ellos lo ideal sería interesante de verificar si se puede mudar a motor eléctrico siempre que el ahorro compense el tiempo que se va a estar de más en el mar y las capturas no disminuyan.

Para misiones reproducibles con los motores eléctricos se van a seleccionar 3 tipos:

- Marisqueo a flote
- Nasa de pulpo (similares a las de Lira)
- Capturas por buceo o misión científica que es un desplazamiento a un punto concreto y parada completa mientras se trabaja.

4. Adaptación del sistema de propulsión eléctrico a su uso en embarcaciones pesqueras de pequeña eslora o auxiliares de la pesca.

4.1. Contexto y estado del arte

En la actualidad las energías renovables han experimentado un aumento en aplicaciones en el sector naval y se está dando un paso más adelante, contemplando alternativas de energías que sustituya a los combustibles fósiles para la aplicación en la propulsión de buques. Estas soluciones permitirán competir con el precio elevado de los combustibles y por otra, generar una propulsión sostenible con el medio ambiente.

Ante el problema del cambio climático, y la contaminación ambiental se están buscando nuevos métodos de transformación de energía. Se buscan recursos energéticos que sean menos perjudiciales con el medio ambiente, que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles y fomenten el ahorro en costes.

Por estos motivos se estudiará la incorporación de un sistema propulsivo para la flota de bajura, que pueda dar respuesta a estos nuevos retos ambientales y energéticos, con el objetivo de obtener una embarcación que cumpla las mismas prestaciones que las actuales.

Actualmente el motor instalado de estas embarcaciones es un motor de combustión, lo que implica una alta dependencia de los combustibles fósiles y una alta contaminación ambiental. Todo lo contrario ocurre con las motorizaciones eléctricas, donde la energía almacenada en las baterías, abre las puertas a cualquier tipo de fuente energética incluidas las energías renovables.

Características de los motores eléctricos.

La utilización de motores eléctricos en la propulsión, es uno de los puntales para promover el cambio medioambiental requerido en los nuevos tiempos, ya que se trata de un sistema motoriz, que tiene la capacidad de dar par desde la primera revolución, sin emitir ningún tipo de residuo.

Teniendo en cuenta que la principal ventaja que tiene un motor eléctrico en comparación con un motor de combustión interna, es la nula emisión de residuos al exterior, lo cierto es que hay que tener en cuenta como se obtiene esta energía eléctrica, es decir qué tipo de energía se usa y como se transforma para obtener la energía eléctrica.

Los motores eléctricos que se utilizan en el naval y en otros sectores, como el industrial, tienen un rendimiento medio del 90%, en sus condiciones nominales. Es decir, el 90% de la energía que recibe el motor, en forma de electricidad, se va a transformar en energía mecánica en el eje de salida del motor. Este hecho supone una ventaja sustancial, en cuanto a eficiencia en comparación con los motores de combustión interna. Si un motor de gasolina de ciclo Otto tiene una eficiencia que ronda el 25% y uno de gasoil de ciclo Diésel el 40%, dotar a las embarcaciones de motores con un 90% de eficiencia significa una mejora más que considerable.

La finalidad del motor es la entrega de par, es decir, la fuerza con la que es capaz de hacer rotar la hélice. La curva ideal estaría compuesta por un tramo de par constante y elevado, con el cual se arrancarí y aceleraría el motor hasta una velocidad a la cual se entregaría la potencia nominal del motor, y a partir de ese momento convendría que la entrega de potencia fuera como mínimo la nominal, como se puede observar en la siguiente gráfica.

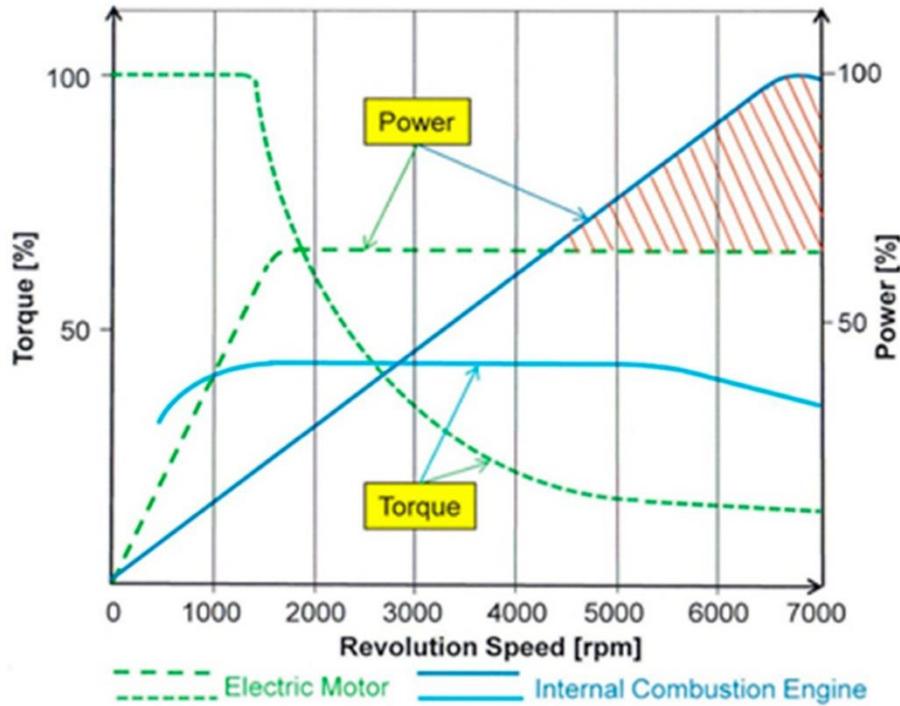


Figura 6: relación del torque y la fuerza de diferentes motores según las revoluciones.¹

Un motor eléctrico admite entregar picos de potencia de hasta el 1,5 de su potencia nominal durante períodos cortos de tiempo. Es decir, que a pesar de equipar la embarcación, con un motor eléctrico relativamente pequeño, la embarcación va a poder disponer de una potencia elevada en ocasiones puntuales distintas a su régimen de trabajo.

Las características principales de un motor eléctrico son respecto al de combustión:

- Alta capacidad de sobrecarga (alto par de arranque)
- Alta eficiencia (superior al 90% en condiciones nominales)
- Amplia gama de velocidades
- Niveles de ruido y vibraciones bajos
- Par con pocas variaciones
- Robustez mecánica
- Fabricación y mantenimiento fácil
- Bajo coste

Tipos de motores navales:

Hay dos tipos de motores navales²: Fueraborda e intraborda.

Los motores intraborda suelen situarse en la popa, cuando el motor se instala dentro del casco, pero la hélice y la transmisión se encuentran fuera de él. Otros modelos sitúan el motor un poco más adelante funcionando con un eje fijo que atraviesa la parte inferior del casco.

¹ Fuente: A Comprehensive Overview of Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engines: Achievements and Future Challenges

² Fuente: marineandnavalengineering.com

La transmisión por eje es la más popular en las lanchas pensadas para practicar deportes acuáticos, donde su empuje, tracción central y distribución de peso equilibrada son esenciales. También es el tipo de transmisión que mejor se ajusta a varios tipos de embarcaciones más grandes, ya que las ventajas que ofrece la sencillez y fiabilidad de un eje fijo y un timón de dirección se sobreponen a la pérdida de espacio interior que un motor intraborda implica.

El motor fueraborda dispone de una hélice y un sistema de dirección; se instala en la parte superior del espejo de popa y se puede operar directamente o desde la consola. Está situado íntegramente en el exterior, y por temas de facilidad de montaje y mantenimiento, es instalado preferiblemente en embarcaciones de pequeño tamaño y de bajo calado.

Principales marcas de motores para barcos

Existen multitud de marcas de motores de combustión para barcos: Yamaha, Suzuki, Honda, Volvo... todas ellas con una trayectoria muy larga de fiabilidad e innovación.

En cuanto a motores eléctricos, el mercado es más reducido, ya que es un nicho bastante novedoso y que requiere todavía de una penetración más grande en el mercado y un parque de dispositivos instalado lo suficientemente grande como para poder evaluar convenientemente el éxito de la tecnología.

Las principales marcas de motores eléctricos son:

	Elco	Motores fueraborda de hasta 50HP e intraborda en próximo desarrollo.
	OceanVolt	Empresa especializada en la venta de barcos ya con motorización eléctrica
	AquaWatt	Fuerabordas de hasta 50 HP
	Torqueedo	Motorizaciones de hasta 80HP equivalentes
	Vision Marine Technologies	Motores fueraborda de hasta 180HP
	Edyn Marine	Aun en fases tempranas de desarrollo: 20-30 HP fuerabordas

Almacenamiento de la energía: Baterías

El sistema propulsivo tiene como necesidad un sistema de baterías encargado de suministrar al motor eléctrico la energía demandada. Existen multitud de tipos de baterías³, por lo que solo se hace una valoración y estudio de las baterías más adecuadas para aplicaciones navales que existen en el mercado.

Dependiendo de la naturaleza de los materiales que las componen, y de su tecnología asociada, las baterías tienen diferentes características. Los puntos fundamentales para la elección de una batería u otra son los siguientes:

- Numero de ciclos de carga-descarga
- Potencia que suministra
- Densidad de carga
- Tiempo de carga
- Autonomía
- Precio

Baterías ion-litio

Las propiedades de las baterías de Li-ion, como la ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, la ausencia de efecto memoria o su capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración, han permitido su aplicación en la industria de la electrónica.

El problema más significativo que tiene este tipo de baterías es la sensibilidad a las temperaturas extremas, su capacidad disminuye considerablemente según las condiciones ambientales por lo que es necesario un adecuado sistema de refrigeración que intente mantener su constante temperatura de trabajo, además su precio es muy elevado. Por lo que es necesario, en la etapa de diseño de las embarcaciones o cualquier otro vehículo en el cual se utilicen, que sean considerados desde el primer momento.

Otro tema importante es la seguridad, que se debe tener en cuenta en este tipo de baterías, por lo que es necesaria una protección que evite el riesgo de explosión en caso de cortocircuito.

Baterías Plomo-ácido

Inventadas en 1859, incorpora una de las tecnologías más antiguas. Contienen plomo en electrodo negativo y utilizan ácido sulfúrico como electrolito, dando lugar a una media de potencial de 2V por celda. Conectando celdas en series se consigue baterías de 6V o de 12 V. Se trata de las baterías clásicas de coches.

Tienen una baja relación entre el peso que ocupan y la energía que almacenan, pero lo compensan, con que duran mucho tiempo y tienen un precio relativamente económico.

³ Fuente: Diseño y construcción de una embarcación de practicaje propulsada mediante un sistema híbrido - Universitat Politècnica de Catalunya

Baterías Níquel-Cadmio

La tecnología de este tipo de baterías tiene una gran ventaja y es su larga vida, ya que estas baterías pueden completar entre 1000 y 1500 ciclos de carga. Por el contrario el cadmio es muy contaminante, y son baterías que tienen efecto memoria, por lo que han perdido popularidad.

Sus celdas utilizan un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo compuesto de cadmio y una disolución de hidróxido de potasio como electrolito.

Baterías Níquel-Hidruro Metálico

Son las sucesoras de las baterías de níquel cadmio, sustituyeron el cadmio por una aleación metálica capaz de formar hidruros. Se trata de baterías que pueden almacenar alrededor de un 30% más de energía con el mismo tamaño que las baterías de Níquel - Cadmio, no tienen efecto memoria, apenas necesitan mantenimiento. Pero tienen una capacidad de auto-descarga importante, baja durabilidad y alto coste. Este tipo de baterías ha servido para muchos proyectos híbridos, pero la baja autonomía hace de ellas una solución temporal pero no definitiva.

Baterías Litio Polímero

Es una variante de las baterías de litio-ión, a las que se ha cambiado el electrolito por un polímero, que puede estar en estado sólido o gelatinoso, lo que permite dar formas a gusto del fabricante.

Por otra parte, presentan una densidad de carga más elevada que las baterías de ion litio, por lo que permite aproximadamente el doble del almacenamiento de carga.

Como inconveniente presenta que son inestables si se sobrecargan o se descargan por debajo de un valor determinado.

Tecnología	ion-litio	Plomo-ácido	Níquel - Cadmio	Níquel-hidruro	Litio Polímero
<i>ciclos de carga-descarga</i>	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
<i>Potencia que suministra</i>	Alto	Bajo	Medio	Medio	Alto
<i>Densidad de carga</i>	Alto	Bajo	Medio	Medio	Alto
<i>Tiempo de carga</i>	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bajo
<i>Autonomía</i>	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Alta
<i>Precio</i>	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Alto

De la cantidad de energía almacenada va a depender la autonomía de la embarcación, teniendo en cuenta el consumo de los motores eléctricos y los sistemas auxiliares. La fiabilidad y la duración son requisitos que obviamente se exigen a cualquier componente, pero en el caso de las baterías, que pueden sufrir una degradación en sus celdas a medida que se utilizan, son aspectos muy valorados.

Debido al riesgo que una elevada concentración de energía pueda suponer, al que se añaden los peligros de ciertas reacciones químicas bajo condiciones desfavorables creadas por un mal uso, la seguridad en las baterías es un factor determinante cuando se plantea equiparlas en vehículos destinados al transporte de personas. Cuanto más elevado sea el voltaje por celda de una batería, menos celdas conectadas se requerirán en un pack de baterías para conseguir la tensión necesaria, lo que se traduce en disminución de peso.

Finalmente, la viabilidad del proyecto va a depender del coste, tanto desde el punto de vista de los fabricantes, como desde el de los usuarios. No se puede plantear una alternativa a la embarcación de combustión si el precio de sus componentes como las baterías es excesivo, por lo que será necesario hacer un análisis económico posterior valorando el coste de la inversión y el tiempo de amortización

Mantenimiento

Hoy en día se puede diferenciar dos tipos de mantenimiento aplicado a las embarcaciones:

- Mantenimiento preventivo, en el cual se realizan operaciones de mantenimiento sobre las embarcaciones, cada cierto tiempo, de navegación y de funcionamiento de los aparatos, cumplido, establecidos por los fabricantes y el astillero, de tal forma que garantice el correcto funcionamiento.
- Mantenimiento correctivo, se trata de un movimiento en el cual se repara, las diferentes piezas o elementos de las embarcaciones en el momento en que dejan de hacer su correcta función.

Al sistema propulsivo de un barco se le debe aplicar un correspondiente mantenimiento preventivo de tal manera que garantice el buen funcionamiento y fiabilidad manteniendo la calidad de sus materiales y el confort a la hora de navegar.

Para ello, al carenado y la hélice se le deben limpiar periódicamente de la vida marina incrustada y aplicar las correspondientes capas de antifouling y patente para evitar el deterioro. Los ánodos de sacrificio de zinc permitirán proteger las partes metálicas de la corrosión.

Mantenimiento del motor eléctrico

En el motor eléctrico el mantenimiento es casi nulo. Si se hace un buen uso en cuanto a temas de no superar los límites de tensión y corriente, y someterlo a cargas superiores a las establecidas, se puede obtener una larga vida del motor eléctrico.

El único tipo de motor que requiere mantenimiento es el de corriente continua con escobillas, pero este tipo de motores no se utilizan prácticamente para la propulsión, debido a su alto coste de fabricación así como la poca resistencia térmica de sus componentes internos, como aislantes, sistemas de escobillas, y colector.

En cambio los motores de corriente alterna síncronos con rotor de imán permanente o asíncrono con rotor de jaula de ardilla, los únicos elementos que pueden sufrir deterioro son los componentes mecánicos, rodamientos, cojinetes, elementos de sujeción y elementos móviles.

Mantenimiento de las Baterías

El sistema de baterías es el encargado de alimentar completamente los motores eléctricos y todos los sistemas auxiliares. Por lo que las baterías son de dimensiones más grandes, materiales más complejos, de tal forma que otorguen más capacidad y en principio sean más fiables.

Las baterías tienen un escaso mantenimiento, según los materiales que la componen. Por ejemplo, a las baterías de plomo-ácido que son las más económicas pero a su vez las más pesadas, se debe añadir agua destilada ciertos períodos de tiempo.

En el resto de tecnologías, simplemente hay que tener un poco de cuidado en lo que se refiere al tema de sobrecalentamiento. Cuanta mas potencia suministran, mas temperatura adquieren.

Las baterías de Ion-polimeto Ion-Litio son uy propensas a sobrecalentarse, alcanzando temperaturas elevadas y pueden presentar un problema de seguridad e inflamabilidad por lo que es necesario un buen aislamiento con materiales estructurales de buenas propiedades, para el empaquetado.

No es bueno que una batería se encuentre al 100% de su capacidad sin uso durante mucho tiempo, por lo que habría que diseñar alguna estrategia para su recarga y disponibilidad, Si no se utilizan durante algún tiempo, hay dos opciones:

- 1- Se mantienen cargadas a punto para volver a ser utilizadas, con el consiguiente gasto de mantenimiento de recarga – descarga, la cual se podría conseguir mediante resistencias siempre y cuando estuviera la embarcación conectada a la red siempre que estuviera atracada.
- 2- Diseñar un protocolo de actuación según la recarga y uso para tenerla siempre al 100% en hora de trabajo, y en mantenimiento si no se fuese a utilizar, lo que implicaría una previsión de tiempo antes de utilizar la embarcación.

4.2. Estudio Técnico.

Se ha elaborado un primer estudio basándose en los datos localizados en las bases de datos de la Xunta de Galicia respecto al tipo de embarcaciones y su unidad propulsora declarada.

Con estos datos se ha intentado elaborar un primer borrador estimado de la validez teórica del uso de sistemas eléctricos en embarcaciones de la flota de bajura.

Analizando los datos facilitados, consideramos que la motorización más común en la flota es un motor fueraborda de entre 20 y 40 HP.

Para analizar el consumo de combustible, hemos de establecer primero un patrón de comportamiento y uso de la embarcación de acuerdo con unos criterios muy generales. Simplemente utilizaremos una estimación de horas de uso referidas a los días del año trabajados y sus horas respectivas.

Días laborables del año:	261
Horas trabajadas:	8
% de horas en navegación:	10%
% de horas en bajas RPM:	90%

Horas motor equivalentes	3,2
---------------------------------	-----

Tomamos como horas equivalentes del motor a máximas rpm a la suma de las horas trabajadas por un operario aplicando los coeficientes de % de funcionamiento del motor.

Dependiendo del tipo de arte de pesca y/o trabajo realizado, las horas de funcionamiento del motor varían mucho, pero para poder hacer una estimación rápida, hemos aplicado unos coeficientes estimados basados en la experiencia de varios trayectos analizados en el proyecto.

En lo referente a los motores, hemos elegido un motor de 25CV (Mercury) para realizar la comparativa. Esta elección se basa en que la mayoría de las embarcaciones de pequeño tamaño de la flota de baixura, tiene declarado este tipo de potencias en su matriculación. Para el motor eléctrico, hemos seleccionado el equivalente de la marca Torqueedo, ya que es el que tiene las especificaciones más detalladas.

	Combustión	Eléctrico
Motorización	Mercury F25EL EFI	Torqueedo Cruise 10.0 RS
Coste motor(€)	4433	9000
Coste Deposito/Batería	25	10000
Consumos (max)	9	10000
(low)	3	1500
Coste Energético	0,93	0,2
Autonomía (h)	2,8	1
Coste/Hora equivalente	8,37	2

Calculamos el coste/hora equivalente como el obtenido a máximas revoluciones. También podemos calcular a RPM máximas la autonomía del sistema. Se ha tomado como referencia para el motor de combustión un depósito de 25 litros, y para el eléctrico dos packs de baterías de 5000W de la marca Torqueedo.

A diciembre de 2021, se ha tomado como coste de 1 litro de diésel marino a 0,93 €/l y como coste del Kwh, 0,22. Es un cálculo muy sesgado hacia el combustible fósil, ya que el coste de la electricidad de uso industrial está en torno a los 0,09 €/Kw, pero se ha tomado este valor para demostrar que aún con un coste de energético duplicado, los cálculos siguen siendo válidos.

Por último, realizamos una pequeña estimación de costes y amortizaciones para poder valorar, a grandes rasgos si el cambio que tendría el sistema eléctrico en comparación al de combustión es económicamente factible.

Coste operativo	Coste/año	Amortización		
		1 años	2 años	3 años
Combustión	6990,6 €	11423,6 €	18414,2 €	25404,8 €
Eléctrico	1670,4 €	20670,4 €	22340,8 €	24011,2 €

Diferencia		-9246,7 €	-3926,5 €	1393,6 €
-------------------	--	-----------	-----------	----------

Podemos ver que la amortización de un motor eléctrico es factible al cabo de 3 años, siempre y cuando se haga un uso intensivo de la embarcación.

También tenemos que comentar que el sistema de baterías tiene un uso limitado al número de cargas/descargas, a partir del cual, las baterías van perdiendo capacidad. En unas condiciones ideales, las cifras rondarían los 1000-1200 ciclos. Cumpliendo perfectamente los 3 años de amortización y pudiendo llegar a los 4 años en perfecto estado con relativa facilidad.

Al final de este ciclo recomendado, habría que realizar un mantenimiento más exhaustivo para prevenir cualquier posible incidencia.

4.3. Motorización de SILENCIO

Elección de motorización

En el proyecto SILENCIO se contemplan las tareas de electrificación de una embarcación de pequeño tamaño para poder analizar las emisiones de contaminación acústicas provenientes de los dos tipos de motorización.

En un primer momento se contempló la compra e instalación de un motor eléctrico fueraborda comercial en una embarcación de uso marisqueo y apoyo, pero tras analizar los criterios necesarios y la funcionalidad real, quisimos añadir un nuevo requisito de ver hasta donde es posible transformar la cadena de valor de los talleres navales y poder adaptarlos a las nuevas tecnologías que se están introduciendo.

Por todo ello, se decidió prescindir de un motor eléctrico comercial, y realizar una electrificación de un motor de combustión, sustituyendo la parte térmica por un motor eléctrico y su electrónica necesaria para su funcionamiento. Se realizaran todas las tareas de cambio de tecnología y se podrá evaluar si es factible la sustitución parcial de componentes contaminantes y si en los talleres tradicionales es posible esta tarea.

El mantenimiento de la cadena de valor y el aprovechamiento de componentes funcionales es también una forma de gestión medioambiental sostenible que ayuda tanto al mantenimiento de la población en poblaciones de tamaño adecuado, como al uso eficiente de los recursos ya existentes.

Se procede, por tanto, a la construcción de un motor eléctrico fueraborda sobre la base de un motor de combustión tradicional con las siguientes características:

Embarcación	Planeadora de 5 metros
Tipo	Fueraborda
Potencia	15CV
Refrigeración	Aire
Caja reductora	2:1

Elección del motor

El motor eléctrico es la parte principal del sistema y se ha de dimensionar correctamente para la aplicación requerida. Los dos datos que son de vital importancia en la selección de motores eléctricos son: el par motor o torque y la corriente máxima rendimiento o intensidad nominal.

Los motores eléctricos tienen un par motor muy constante en todo su rango de trabajo, pudiendo tener picos de potencia altos sin que las altas temperaturas provocadas por ello dañen los materiales aislantes del motor por sobrecarga.. Esto hace que haya que establecer un patrón de uso al motor según estos cuatro:

- Servicio continuo: la carga es constante durante un periodo de funcionamiento largo. Se alcanza una temperatura estable.
- Servicio continuo variable: el periodo de funcionamiento es largo pero la carga no lo es.
- Servicio intermitente: los tiempos de servicio están separados por tiempos de reposo. Es decir, se trabaja en ciclos.
- Servicio unihorario: el motor funciona durante un horario especificado. La temperatura no logra estabilizarse porque no es tan largo como el continuo, pero no se dañan los materiales.

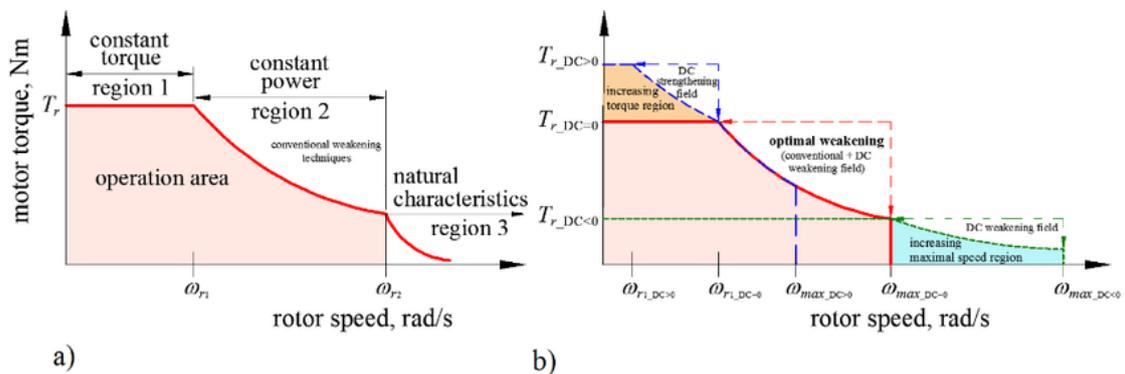


Figura 7: régimen de trabajo de motores térmicos (a), eléctricos (b)⁴

Para poder elegir el motor correcto, hemos de calcular primero la potencia equivalente de un motor fueraborda de combustión. Para ello tomamos que la eficiencia de estos tipos de motores esta en torno al 20-25%.

Potencia [CV]	Potencia [Kw]	Pot. efectiva [Kw]	Rpm max	relación reductora
25	18,75	4,7	5500	2,05
50	37,5	9,3	6000	2,08
80	60	15	6000	2,08

⁴ Fuente: Improved Control System of PM Machine with Extended Field Control Capability for EV Drive.



Figura 8: Características el motor Hacker A200-8

Con estos datos, podemos elegir el motor adecuado que respete las siguientes características:

- Servicio continuo
- El doble de la potencia deseada: unos 9Kw (para un equivalente de 25CV)
- Como lo alimentaremos a 48 volt, unas 100Kv mínimo.

Con estas dos premisas, elegimos el motor Hacker A200-8 con las características de la Figura 8.

Es un motor de corriente alterna de imanes permanentes (PSM), el cual debido a su tipología, tiene un alto torque a bajas rpm, fundamental para mover todo el bloque motriz del fueraborda.

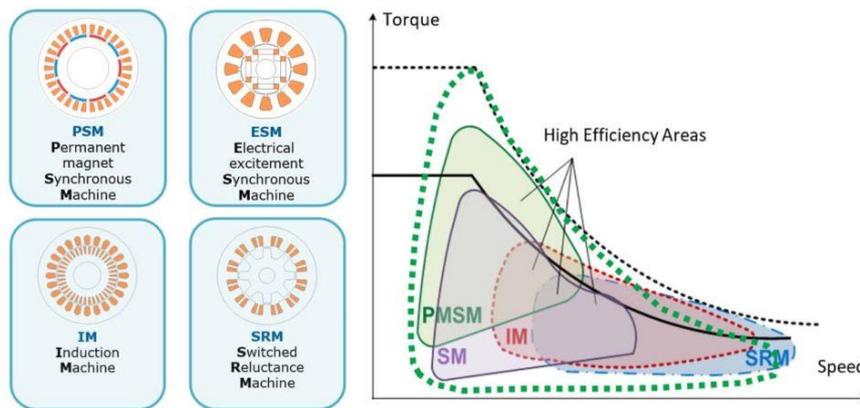


Figura 9 Relación torque-velocidad para cada tipo de motor eléctrico ⁵

Elección de controladora

Una vez elegido el motor, se ha de realizar la elección de la controladora correspondiente. Viendo las potencias máximas del motor y de las posibles configuraciones que hay que realizar sobre todo el sistema para lograr un acople técnicamente viable, se elige la placa VESC75/300 de la marca TrampaBoard.

⁵ Fuente: www.electricmotorengineering.com

VESC 75/300



75v Rated - up to 300A Continuous

The choice if your power demands exceed the capabilities of the VESC 100/250. Features three high side shunts, dedicated gate drivers, ports for CAN, PPM, COMM, Sensors & SWD.

Figura 10: características de la controladora seleccionadas.

Adaptación del motor

Se probaron varios modelos de motores fueraborda y al final se seleccionó uno de 15 CV al que poder realizarle todas las modificaciones necesarias para su electrificación.

Se abordó este tema con la premisa de poder adquirir todos los componentes en proveedores de la zona de Galicia, priorizando las modificaciones que si pudiesen llevarse a cabo en un taller mecánico tradicional, respecto las de comprar productos acabados.



Foto 5: adaptación de motor eléctrico a fueraborda de combustión

La extracción de todos los componentes mecánicos y la sustitución por sus equivalentes electrónicos requirió un trabajo arduo y laborioso. Mucha de los controles del motor eran

completamente analógicos y hubo que realizar muchas adaptaciones para poder transformarlos en digitales y que la placa de control pudiese funcionar correctamente.

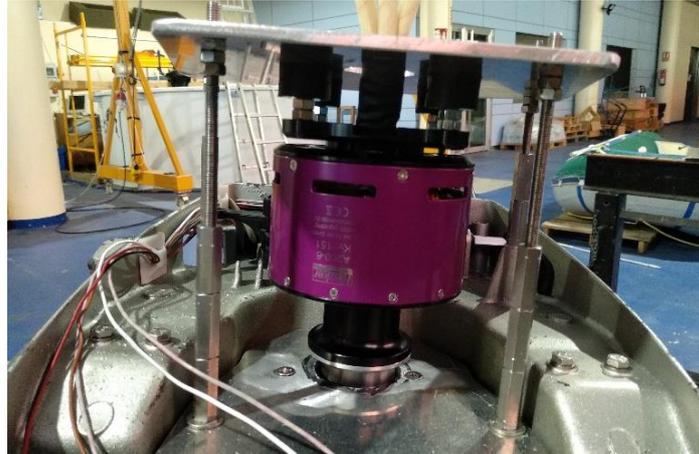


Foto 6: Detalle del acople a eje propulsivo.

El cableado también es una parte importante de estos sistemas, ya que por sus conexiones circulan grandes cantidades de energía, y hay que dimensionar todos los componentes para que trabajen en sus condiciones ideales y no se produzcan averías.



Foto 7: detalle del cableado

Elección baterías.

Las baterías son el componente que proporciona la energía necesaria para hacer funcionar la embarcación. Para el proyecto SILENCIO, se requerirá una autonomía de unos 40-50 minutos para poder hacer las pruebas necesarias de evaluación de ruido, por lo que hemos de instalar un sistema de baterías que pueda proporcionar esa cantidad de tiempo de funcionamiento.

Se ha elegido la tecnología Ion-Polímero, por ser la que mas potencia puede suministrar de manera constante. Hemos de recordar que el motor demanda picos de 300A de potencia, y la batería ha de poder suministrarlos.



Foto 8: Baterías seleccionadas en SILENCIO.

Se ha instalado un pack en una configuración 12S3P, es decir, 12 celdas en serie, y luego tres de estos bloques en paralelo. Cada celda tiene una capacidad de 2,6 Ah y 3,8 voltios, lo que nos da un total de 46 voltios y 48 Ah.

Las baterías seleccionadas son capaces de proporcionar 20 veces (20C) su capacidad nominal de manera sostenida, por lo en conjunto, perfectamente pueden alcanzar los 250 amperios de corriente.

Con estos cálculos, y teniendo dos conjuntos completos de baterías, podemos realizar todas las pruebas necesarias el proyecto.

Duty Cycle	25%	50%	80%	100%
Potencia	2220	4440	7104	8880
RPM	833	1665	2664	3330
Tiempo	36 min	18 min	11 min	9 min

Sistema de monitorización de la propulsión

Es el subsistema encargado de hacer un seguimiento del estado general de la embarcación, tanto del motor, como del resto de subsistemas, con el fin de asegurar la fiabilidad y estabilidad de los dispositivos. Es decir, permite evaluar la salud y el rendimiento del sistema completo.1

Este tipo de sistemas se basan en la recogida de métricas, procesamiento y visualización de los datos junto con la generación de alertas cuando sucede algo que puede ser un síntoma de un riesgo o mal funcionamiento.



Foto 9: Sistema de monitorización final de SILENCIO

Las métricas obtenidas desde varias partes del sistema son recopiladas dentro del sistema de monitorización el cual es responsable de:

- Almacenamiento en una tarjeta SD de los valores cada segundo en un archivo csv, para su posterior análisis
- Análisis de la información para realizar resúmenes y previsiones de la capacidad de la batería e información agregada sobre las métricas.
- Visualización para un mejor entendimiento e interacción (listas de valores, gráficos, panel de control)

Las métricas almacenadas provienen de los diferentes sensores: ESC para el control de los motores, GPS para conocer la posición, IMU para la estabilidad de la embarcación, sonido ambiente. Todos estos valores se pueden consultar en tiempo real a través de las diferentes pantallas del sistema.

Hélice propulsivas

La elección de una hélice es determinante en las prestaciones finales de la embarcación.

Las hélices convierten la energía de rotación generada por el motor en el empuje necesario para el desplazamiento de un barco. Descontando el diseño de esta, cuanto más grande sea, más eficientemente trabajará. El problema radica en conseguir un equilibrio entre este tamaño y la capacidad del motor para hacerla rotar a su régimen de trabajo idóneo.

Los dos datos más importantes para diferenciar una hélice de otra son el diámetro total de la hélice y el paso de sus palas, es decir lo inclinado que están y por tanto la capacidad de impulsar agua.

Generalmente un diámetro pequeño se corresponde con un motor de pequeña potencia, o con un barco diseñado para desplazarse a mucha velocidad.

El paso de la hélice se corresponde con el avance teórico que genera la hélice al girar esta una vuelta. Puesto que el agua es un medio no sólido y por tanto se producen rozamientos y deslizamientos, el avance real será siempre a regímenes de funcionamiento óptimos, algo inferior al teórico, naturalmente nunca es del 100%.



Foto 10: hélices de los motores de SILENCIO

La clave fundamental es escoger una hélice que permita trabajar a los motores a su régimen óptimo de trabajo. Una hélice bien escogida debe permitir alcanzar el régimen de revoluciones a máximo de gases (WOP) en la zona de la curva en donde el motor entrega el máximo de potencia. El paso de una hélice y las revoluciones están inversamente relacionadas: Al incrementar el paso se reducen las revoluciones que el motor es capaz de alcanzar. (Experimentalmente, podemos tomar como referencia que un cambio de un grado en el paso de las palas modificará unas 200 rpm el régimen del motor).

Esta relación también es aplicable al diámetro, y en vez de ajustar el ángulo de palas es posible jugar con el diámetro de la hélice. Si tenemos que aumentar el ángulo, podríamos aumentar el diámetro de la hélice dejando el mismo paso, y por el contrario, en vez de disminuir el ángulo, podríamos bajar el diámetro.

Dependiendo de cómo deba trabajar el barco en términos generales, se escogerá un tipo de hélice u otro. Un paso pequeño para conseguir potencia a baja velocidad y para altas velocidades deberíamos escoger un paso más fuerte (sin excedernos en el diámetro de la hélice).

Puesto que a igualdad de eslora los barcos son utilizados para aplicaciones muy distintas, existen muchas hélices distintas para una misma eslora de barcos. En nuestro caso, hemos probado 4 tipos de hélices con diferentes pasos, para poder testear el motor a diferentes rpm, quedándonos al final para las pruebas con la del paso más bajo.

Sistema de refrigeración

El motor eléctrico y su ESC en funcionamiento pueden llegar a temperaturas tan altas que, entre otras cosas, causaría problemas graves al resto de componentes. Para contrarrestar esta situación, se utilizan sistemas de refrigeración por aire o por agua, dos formas distintas de reducir los grados considerablemente, permitiendo que todo funcione con normalidad.

A continuación, analizamos las ventajas y los inconvenientes de cada uno de los sistemas de refrigeración que se han utilizado en este desarrollo.

Para el sistema del motor, se ha utilizado refrigeración por aire forzado que utiliza el aire del exterior para el enfriar el motor. El aire circula por el interior del compartimento y, gracias a un radiador (situado en el bloque) y unos ventiladores, se consigue evacuar el calor generado. Es un sistema barato, que ocupa poco espacio y fácil mantenimiento. Por el contrario, tiene mucha menos eficiencia y puede generarse una situación de sobrecalentamiento.

Para la placa controladora, se ha utilizado un sistema mixto de Agua-Aire. Este sistema utiliza un líquido refrigerante compuesto por agua y aditivos, el cual circula por unos conductos situados alrededor de las paredes del ESC. Éste recoge todo el calor generado y lo lleva al radiador, que se encarga de enfriarlo y devolverlo de nuevo al cilindro para repetir el ciclo.

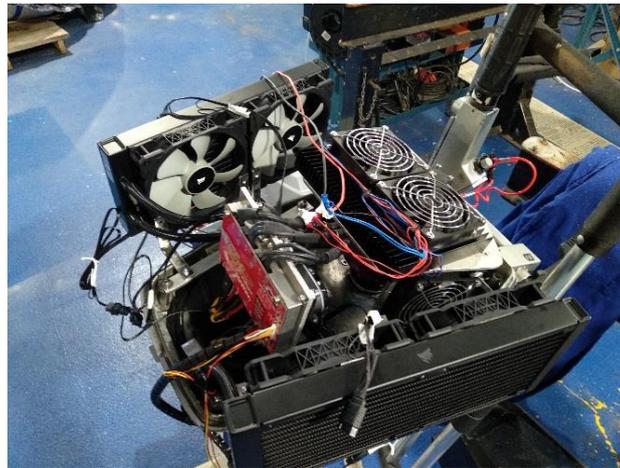


Foto 11: sistema de refrigeración instalado en SILENCIO.

Comparado con el anterior, este sistema es más caro, y sí requiere de mantenimiento, ya que se compone de muchos elementos (bomba de agua, radiador, ventilador, cámaras de agua, vaso de expansión y manguitos), pero, en cambio, es más eficaz. Este sistema es más silencioso, consume menos energía y es escalable en potencia de refrigeración.

No se ha contemplado el sistema de refrigeración por agua de mar para evitar tener que mover agua salada por los sistemas electrónicos del motor. Con la posibilidad de que haya fugas y se produzcan cortocircuitos.

5. Pruebas del sistema de propulsión

5.1. Pruebas estáticas

La elaboración de ensayos estáticos es una de las partes más complejas a la hora de estudiar el sistema propulsivo. En estos experimentos obtenemos las primeras estimaciones del comportamiento del motor y son fundamentales a la hora de tomar decisiones sobre el diseño final y es por esta razón por la que su realización debe ser previa a las pruebas en dinámico.

Las diferentes configuraciones a tener en cuenta fueron:

- El número de baterías utilizadas; se realizaron combinaciones de baterías de diferentes marcas y tecnologías así como de su conexionado (serie, paralelo).
- Los distintos modos de actuación del ESC; entre los que se tendrán en cuenta los modos BLDC y FOC, con sus diferentes configuraciones.
- Diferentes formas de control: Duty cycle (% de voltage al motor) y Current mode (% de amperios suministrados)



Foto 12: ensayos de los motores en las instalaciones de CETMAR.

Por otro lado, en un primer momento se planteó la realización de dos tipos de ensayos, uno en el que se mantendría el ancho del pulso proporcionado por el throttle constante (Duty Cycle) y otro en el que se pretendería mantener el valor de la corriente (Current Mode) proporcionadas al motor, invariable. Pero tras ver el comportamiento tan errático del primero, se descartó su uso.

Las pruebas estáticas se realizan en las instalaciones que CETMAR tiene habilitadas para esta función. En el banco de pruebas húmedo se procedió a la tarea iterativa de encontrar la configuración inicial más adecuada que permita trabajar con los motores de una manera fiable y segura.

Configuración de control de motor

Para todo el proceso de testeo y pruebas, se cuenta con un programa a tiempo real en donde poder obtener las variables más importantes del motor. Es posible recoger la tendencia de las variables eléctricas y de las rpm generadas por el motor a la vez que se almacenaban datos de potencia y voltaje en cada uno de los ensayos.

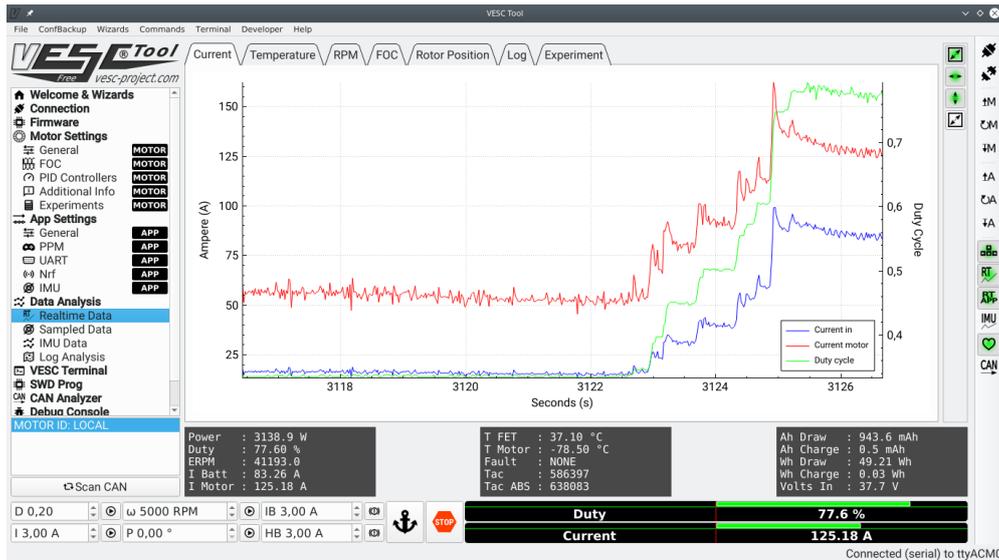


Foto 13: entorno de configuración del ESC y de su programación

Así se hizo uso de toda esta información disponible para tener un primer contacto sobre cómo funciona el motor y poder caracterizar bien el motor. Es importante conocer las variables eléctricas como son la intensidad y el voltaje suministrado, así como su producto (la potencia). La tendencia de cada una de las curvas de estos valores obtenidos en función del tiempo, o las revoluciones por minuto a las que gira el eje del motor permiten describir mejor cómo funciona el ESC, pues será el encargado de controlar el suministro eléctrico al motor.

5.2. Pruebas dinámicas en ambiente controlados

Las pruebas dinámicas en línea se realizan mientras el motor está en funcionamiento. Nos proporciona datos sobre la energía consumida y las condiciones de funcionamiento del motor. Recopilamos datos de todas las métricas esenciales para los motores eléctricos. Esto incluye condición de energía, nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje, niveles de corriente y desequilibrios, niveles de carga, etc.

El propósito de estas pruebas es ver si cada una de las partes que finalmente contendrá la embarcación es lo suficientemente robusto. Después de cada pase de prueba, se realiza un análisis para ver donde realizar cambios y poder seguir evolucionando las mejoras.

Los tipos de prueba dinámica utilizados en este proyecto incluyeron:

- **Prueba de aceleración:** El propósito de la prueba de aceleración es examinar cómo reacciona a las velocidades de aceleración cambiantes. Estas pruebas, que se mueven lenta y constantemente entre baja y alta aceleración, se mide como responde la embarcación. Las pruebas de aceleración se encargan de excluir golpes, vibraciones y otros tipos de impactos utilizados en pruebas separadas.
- **Pruebas acústicas:** Los efectos del ruido acústico varían entre los diferentes tipos de dispositivos. Cuando los productos se fabrican para uso comercial o industrial, es muy importante probar el umbral de ruido de cada dispositivo. Con la prueba de ruido acústico, podemos determinar cómo un dispositivo en particular cambia su intensidad sonora dependiendo de su forma de uso.

A grandes rasgos y bajo una velocidad o par intenso, el ruido acústico puede tener un efecto intenso en los componentes del motor. Algunas de las fuentes más severas de ruido acústico pueden indicar posibles fallas sobre sistemas en funcionamiento.

- **Prueba de vibración:** Los efectos de las vibraciones y las vibraciones pueden dañar los mecanismos internos de cualquier sistema. Por esta razón, se realizan pruebas de vibración en los productos para buscar posibles causas y actuar en consecuencia mitigando, en lo posible, estas fuentes de perturbaciones.
- **Prueba de choque térmico:** En la prueba de choque térmico, Se realizaron pruebas de los sistemas a fluctuaciones extremas y repentinas de temperatura. El objetivo es probar el umbral de temperatura en ambos extremos del espectro frío-calor para determinar cómo se comportan bajo estos cambios. Las pruebas de choque térmico generalmente las realizamos activando y desactivando los sistemas de refrigeración para simular las subidas y bajadas de temperatura y sus máximos límites operativos.

Éstas pruebas se realizan gracias a la embarcación que está disponible en CETMAR (una lancha semirrígida de 3.5 m de eslora), lo que permite minimizar mucho los días que se debe de salir con una embarcación real de pesca. Disponer al 100% del recurso que hace que únicamente se tenga que estar pendiente de la meteorología. Además, la ubicación de CETMAR, al fondo de una dársena del puerto de Vigo es idónea para la realización de estas pruebas.



Foto 14: Pruebas controladas en la embarcación semirrígida disponible en CETMAR.

5.3. Pruebas límites

Es muy importante probar el sistema propulsivo para obtener la máxima resistencia y durabilidad antes de llevarlo a un entorno real. Para ello realizamos unas pruebas de “límites físicos” del sistema.

Pruebas de temperaturas máximas, pruebas de picos máximos de voltaje, bloqueos de hélices propulsoras, máxima corriente admitida, etc.

Todo ello nos permitió mejorar los sistemas de seguridad y protección instalados en la embarcación, y tener un pequeño plan de contingencia por si ocurriese alguna falla crítica en la instalación.



Foto 15: detalle del estado de la controladora tras explotar

Hemos de recordar, que el bloque energético tiene suficiente potencia como para producir una explosión considerable si se produjese un cortocircuito. Por lo que las medidas de contingencia ante posibles cortocircuitos fueron implementadas y probadas.

Varios componentes del conjunto fueron llevados hasta límites de rotura para ver que los sistemas de emergencia y protección funcionasen perfectamente.

Estas pruebas se realizan en la embarcación disponible en CETMAR para asegurarnos que en la embarcación real, no se produzcan incidentes catastróficos.

5.4. Pruebas en condiciones reales

Antes de poder realizar la prueba comparativa de emisión sonora del proyecto SILENCIO, fue necesario realizar pruebas en entornos reales con la embarcación final. La experiencia y los datos adquiridos en el banco de pruebas y en los tests dinámicos no son suficientes. Una embarcación debe ser probada por personas en entornos reales para analizar su comportamiento real y no el simulado. Las simulaciones ayudan pero no lo son todo.

Se realizaron pruebas con el acompañamiento de personal mariner, directamente vinculado a las embarcaciones a las que va dirigido este dispositivo. Todos los comentarios proporcionados por estas personas son fundamentales para poder diseñar un sistema final que encaje perfectamente con los requerimientos funcionales y operativos de los usos reales de la embarcación.

Se realizaron pruebas a fondo simulando varios usos reales por la zona de la Ria de Arousa, de tal forma que podamos evaluar los límites de este sistema propulsivo y de si es válido o no para las tareas demandadas.



Foto 16: trayecto con motor eléctrico

6. Reproducción de casos de uso como prueba del sistema de propulsión eléctrico en los casos de uso seleccionados comparando el resultado con el generado por los motores de combustión habituales

6.1. Caracterización de motor de combustión

Para la realización de las comparativas entre las dos tecnologías propulsoras, fue necesario poder realizar una caracterización de los movimientos de los barcos pertenecientes a la flota de Baixura.

Como se ha descrito en el apartado 3, se contactó con varias cofradías y se les dotó de un registrador de GPS (datalogger) que guardaba la posición de la embarcación cada 5 segundos. Al terminar la jornada de trabajo, anotaban el coste de la gasolina gastada en un estadillo.

Con estos parámetros almacenados, se puede hacer una primera aproximación de los gastos operativos reales en los que incurre una embarcación de pequeña eslora.

Analizando los datos de todas las cofradías y de las embarcaciones, tenemos unos 90 trayectos reales de diferentes topologías de trabajo. De estos 90, algunos no han sido correctamente monitorizados debido al fallo del datalogger o por otras causas y otros presentan unas características de la embarcación fuera del rango de la aplicación estudiada, como las motorizaciones de más de 100 C.V.

Quitando estos datos, hemos dejado unos 76 trayectos válidos y más o menos homogéneos, sobre los que trabajar. En la tabla siguiente se muestra un resumen de los trayectos clasificándolos según la topología de trabajo y realizando medias aritméticas de todos los valores.

Tipo de trabajo	Velocidad [Km/h]	Costes [€/km]	Distancia [Km]
Miños	6,48	0,99	32,82
Palangrillo	8,12	0,9	24,52
Nasa	5,27	1,06	22,04
Percebe	7,14	0,93	22,23

Para el cálculo del coste del combustible, se ha utilizado el precio del diésel B de 0,9029 €/l que es un promedio anual de las gasolineras de España de 2021

6.2. Caracterización de motor eléctrico

Para la realización de las comparativas entre las dos tecnologías propulsoras, fue necesario poder realizar una caracterización de los movimientos de los barcos pertenecientes

Para los motores eléctricos, se realizaron varias pruebas de trayectos, intentado simular algunas de estas tipologías de trabajo. No se realizaron test de distancias completas, pero si simulaciones del tipo de movimientos caracterizados en los datos de los datalogger.

Como hemos explicado en los apartados anteriores, los motores eléctricos proporcionan un par constante en casi todo el rango de operación, por lo que con estudiar los consumos en un rango de velocidades próximas a los valores medios de los motores de combustión, podremos hacernos una idea bastante correcta del funcionamiento general del sistema y de sus consumos.

Se realizaron tres tipos de simulaciones intentando reproducir tres tipos de tipologías de trabajo: desplazamiento para mariscar (verde), nasa (azul) y miños (rojo).

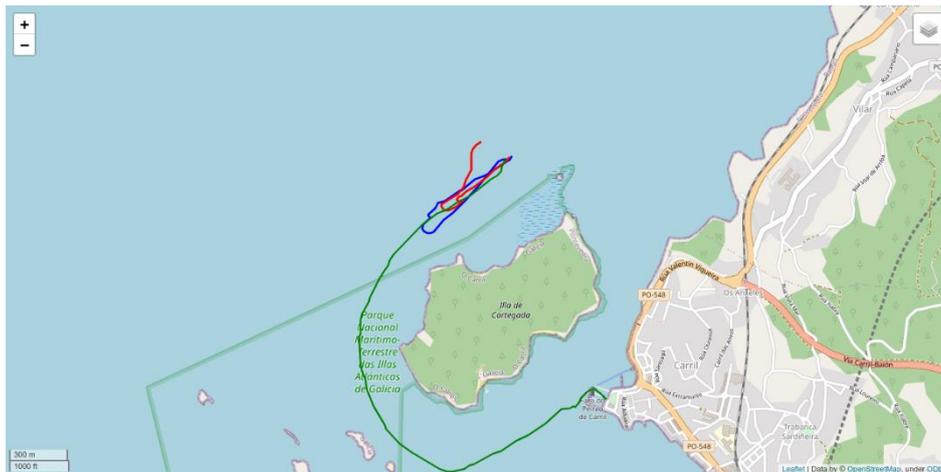


Foto 17: Trayectos de embarcación eléctrica

Analizando los parámetros de los trayectos, obtenemos la tabla siguiente:

Tipo de trabajo	Velocidad [Km/h]	Costes [€/km]
Desplazamiento	8,7	0,1
Nasa	7,8	0,1
Miños	8	0,1

Para el cálculo del coste del electricidad, se ha utilizado el precio del KWh de la empresa aura-energía que oferta en sus planes para empresas de la Tarifa 3.1A (empresas de menos de 450kW). Así mismo, se le han añadido la proporción de los costes fijos (por tener una instalación de unos 15kW) y todo ello con un factor de corrección del 20% por temas de eficiencia en los cargadores de baterías.

Tras estos cálculos, tomamos como dato base para el cálculo: 0,257 €/ KWh

Con estas dos tablas podemos observar que el motor eléctrico tiene un coste por kilómetro sensiblemente inferior a uno de combustión. Por lo que estaríamos abaratando el coste fijo de los marineros en casi un 90%.

6.3. Viabilidad de electrificación de la flota

Para poder evaluar correctamente, desde el punto de vista económico, la posible sustitución de la propulsión en una embarcación, es necesario tomar en consideración tanto el coste operativo de cada uso, como el tipo real de utilización a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para ello, primero necesitaremos obtener la distancia recorrida anualmente por cada embarcación. Podemos extraer este dato realizando una pequeña extrapolación de los días trabajados anualmente contra la distancia media recorrida.

Para el primer dato, los marineros trabajan alrededor de 20 días/mes, durante aproximadamente unos 10 meses. Para el segundo dato, realizamos una media de las distancias recorridas en todas las tipologías de trayectos. Esto es así, porque a lo largo del año, los marineros van cambiando de actividad según sea o no temporada de cada una de las especies a capturar.

Días trabajados anuales	200 días
Distancia media diaria	14,7 Km
Distancia media anual	2930 Km

Con estas premisas y con los datos y cálculos desarrollados en apartados anteriores, realizamos una estimación de costes de amortización para ver en qué momento, el uso de motores eléctricos es económicamente rentable para un marinero de una embarcación de pequeña eslora.

Modelo	Coste Instalación	Coste operativo
Combustión	5500	0,9
Eléctrico	20000	0,1

Y la tabla de amortizaciones:

Modelo	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Combustión	2616,1	5232,2	7848,3	10464,3	13080,4	15696,5	18312,6	20928,7	23544,8	26160,8	28776,9
Eléctrico	293,1	586,1	879,2	1172,3	1465,4	1758,4	2051,5	2344,6	2637,6	2344,6	3223,8
Nueva instalación	-12177	-9854	-7531	-5208	-2884	-561	1761	4084	6407	9316	11053
Cambio motorización	-23177	-20854	-18531	-16208	-13884	-11561	-9238	-6915	-4592	-1683	53

Rápidamente podemos observar que para compensar la elección de instalar una motorización eléctrica en una embarcación nueva, tendría que pasar por lo menos 7 años.

Si la decisión fuese la de cambiar una motorización de combustión por una eléctrica, en una embarcación ya existente, los tiempos de amortización se dilatan hasta los 11 años.

Estos datos hay que tomarlos como una aproximación teórica, ya que con escasamente 75 trayectos en un periodo muy pequeño, no podemos asegurar que las distancias no se incrementen al contabilizar los trayectos reales de una anualidad.

Con estas cifras, podemos concluir que cuanto más distancias recorras en un año, más rápidamente se amortiza el gasto del cambio de motorización.

Como dato a tener en cuenta es que un incremento del 15 % en la distancia recorrida, hace que la amortización sea de 6 años (reduce 1 año). Y una reducción del 15% en los precios de la parte eléctrica (bastante plausible, debido al descenso del precio de las baterías) deja la amortización en 5 años.

Una combinación de las dos, nos llevaría a una situación en donde al final del cuarto año, estaríamos compensado el sobrepeso de la elección de propulsión eléctrica en una embarcación nueva. Es en esta situación, en donde sí se podría considerar seriamente la adopción de esta tecnología de forma masiva en el mercado naval de pequeñas embarcaciones.

7. Anexos.

7.1. Tablas de figuras.

Figura 1: % de embarcaciones de Galicia dedicadas los diferentes artes de pesca menores: total, en embarcaciones de menos de 10m y de menos de 7m.	5
Figura 2: información adicional que recopila en software CanWay.	41
Figura 3; mapa del recorrido realizado.	41
Figura 4: Velocidad vs tiempo transcurrido en esa misión.	42
Figura 5: Velocidad vs distancia recorrida para esa misión.	42
Figura 6: relación del torque y la fuerza de diferentes motores según las revoluciones.	46
Figura 7: régimen de trabajo de motores térmicos (a), eléctricos (b)	54
Figura 8: Características el motor Hacker A200-8.....	55
Figura 9 Relación torque-velocidad para cada tipo de motor eléctrico.....	55
Figura 10: características de la controladora seleccionadas.....	56

7.2. Tablas de fotos.

Foto 1: Dispositivo GPS facilitado a diversis buques de pequeño porte.....	37
Foto 2: Embarcaciones Sempre Concha, Sirena M y Carolona GM que participan en Silencio..	38
Foto 3: Embarcaciones Savi, Tarita M y Tres Gritos que participan en Silencio	39
Foto 4: Fotografía de la amebarcación Margarita que participa en SILENCIO.....	40
Foto 5: adaptación de motor eléctrico a fueraborda de combustión.....	56
Foto 6: Detalle del acople a eje propulsivo.....	57
Foto 7: detalle del cableado	57
Foto 8: Baterías seleccionadas en SILENCIO.	58
Foto 9: Sistema de monitorización final de SILENCIO	59
Foto 10: hélices de los motores de SILENCIO.....	60
Foto 11: sistema de refrigeración instalado en SILENCIO.....	61
Foto 12: ensayos de los motores en las instalaciones de CETMAR.	62
Foto 13: entorno de configuración del ESC y de su programación	63
Foto 14: Pruebas controladas en la embarcación semirrígida disponible en CETMAR.	64
Foto 15: detalle del estado de la controladora tras explotar	65
Foto 16: trayecto con motor eléctrico	66
Foto 17: Trayectos de embarcación eléctrica	68