

Energía limpia:

EMBARCACIONES PROPULSADAS POR ENERGÍA SOLAR

Hans Ekdahl Espinoza*

Hoy, gracias al avance de nuevas tecnologías, es posible dotar a embarcaciones menores de energía limpia ya sea fotovoltaica o baterías recargables.



El sistema eléctrico de propulsión de buques ha sido durante mucho tiempo utilizado en submarinos y en la actualidad en grandes buques de pasajeros, principalmente por las ventajas que presenta desde el punto de vista del sigilo en el caso de los submarinos y la comodidad en el caso de los pasajeros. Sin embargo, el uso de la propulsión eléctrica en este tipo de naves requiere de gran potencia y por lo tanto energía, la cual debe necesariamente producirse a bordo, usualmente mediante generadores diesel.

El uso de este sistema de propulsión en embarcaciones menores ha tenido su mayor auge en los últimos años; como alternativa a los motores de combustión interna. Dado el tamaño y características de las embarcaciones menores, éstas no pueden utilizar los sistemas de generación de electricidad mencionados anteriormente y deben transportar energía almacenada en baterías o generar energía eléctrica a bordo mediante la tecnología de paneles fotovoltaicos.

En el presente artículo se analizarán tanto las ventajas que ofrece este sistema de propulsión

* Teniente 1º LT. Ingeniero Naval menciones Arquitectura Naval y Máquinas Marinas.

de embarcaciones menores, desde diversos aspectos, así como las limitaciones que impone su uso a la operación de este tipo de naves. Se realizará igualmente un análisis desde el punto de vista económico del sistema, indicando sus costos referenciales y comparando estos valores con un sistema de propulsión tradicional, basado en motores de combustión interna.

Finalmente se presenta un estudio de caso de pequeñas embarcaciones propulsadas mediante energía eléctrica, para el transporte fluvial de pasajeros en la ciudad de Valdivia.

Propulsión eléctrica en embarcaciones menores

El sistema de propulsión eléctrico para embarcaciones menores se basa principalmente en la utilización de un motor eléctrico para producir el giro del eje. La energía eléctrica se transporta a bordo mediante baterías, las que proveen electricidad en forma de corriente continua, por lo cual, en caso de utilizarse un motor de corriente alterna será necesario contar con un convertidor de corriente continua a corriente alterna. Muchos de estos dispositivos integran además un variador de frecuencia, es decir un control que permite variar la velocidad y sentido de giro del motor. En los motores de corriente continua sólo se requiere variación de voltaje y polaridad para controlar la velocidad y sentido de giro del motor, mientras que el motor de corriente alterna es necesario un variador de frecuencia.

El sistema de gobierno depende en gran parte del tamaño de la embarcación y el diseño del sistema propulsivo, pudiendo utilizarse un sistema de timón o bien un sistema de propulsión orientable para otorgar gobierno y maniobrabilidad a la embarcación. Por lo general y con la finalidad de simplificar y unificar el sistema propulsor y de gobierno en la embarcación se adopta la opción

de propulsión orientable, utilizando un accionamiento mecánico o hidráulico para rotar la base del motor eléctrico y así la orientación de la hélice, direccionando su empuje. En motores eléctricos de mayor potencia es posible encontrar accionamientos eléctricos acoplados al motor, los que permiten el giro de éste incluso en 360° por medio de un sistema de engranajes y cremallera. En el caso de motores eléctricos montados con línea de eje se utiliza timón, accionado normalmente mediante un sencillo sistema hidráulico o bien mecánico, dependiendo del tamaño y diseño de la embarcación. Incluso es posible la utilización de motores fuera de borda, los cuales integran tanto la propulsión como el gobierno de la nave.

Con estos elementos se completa el sistema eléctrico de propulsión para embarcaciones menores, sin embargo en algunos casos existe la opción de generar energía eléctrica a bordo por medio de paneles fotovoltaicos, los cuales son expuestos a la radiación solar con la finalidad de cargar batería con la energía generada. Las embarcaciones que no cuentan con paneles fotovoltaicos pueden cargar sus baterías desde la red eléctrica urbana, por medio de un cargador. Es posible contar con ambos sistemas de carga de baterías de acuerdo a las necesidades y disponibilidad de energía. En el balance eléctrico se debe considerar que la partida de un motor eléctrico requiere mayor energía que la operación a carga constante, por esta razón el banco de baterías debe dimensionarse para sostener el sistema en funcionamiento durante varias horas, incluyendo el consumo de energía en la etapa de transición.

La figura 1 muestra esquemáticamente los elementos que conforman un sistema de

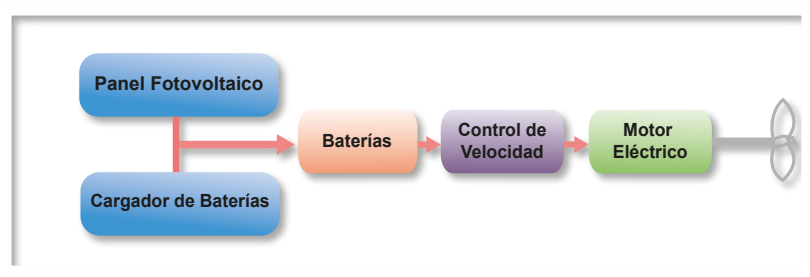


Figura 1: Esquema de sistema de propulsión eléctrico.

propulsión eléctrica a bordo de una embarcación menor.

Ventajas de la propulsión eléctrica en embarcaciones menores

Al analizar las características de la propulsión eléctrica en naves menores es necesario realizar una comparación con otro tipo de propulsión con el fin evidenciar los aspectos en que este sistema propulsor puede ofrecer ventajas, o bien donde se hacen visibles sus limitaciones.

Como factor de comparación se ha tomado la propulsión por medio de motor de combustión interna, que es el tipo de propulsión utilizada en prácticamente la totalidad de las naves menores, ya sea por medio del sistema diesel o por medio de motores que funcionan con bencina, tanto internos como fuera de borda, en el caso de algunos yates o embarcaciones muy pequeñas.

Una de las características principales de los motores de combustión interna es su baja eficiencia o rendimiento, es decir la relación entre la energía aportada por medio del combustible y la energía que entrega el motor a su salida, es decir en el acoplamiento del eje. Los motores diesel tienen rendimientos que varían entre el 35% al 40%; de lo anterior se desprende que luego del ciclo de trabajo entrega como energía utilizable menos de la mitad de la energía que les fue suministrada para su funcionamiento. Este fenómeno se debe principalmente a las pérdidas de energía en forma de calor por efecto del rozamiento de las partes

móviles del motor. Por este motivo los motores diesel requieren de circuitos de refrigeración, para impedir que los niveles de calor en su interior dañen las piezas que lo componen.

Una de las ventajas de los motores eléctricos es su elevado rendimiento, es decir su capacidad de transformar gran parte de la energía que absorbe en forma de electricidad en



■ Figura 2: Motor eléctrico Kraüttler.

energía propulsora. Los motores eléctricos tienen una cantidad de piezas móviles notoriamente inferior a los motores de combustión interna, de hecho a grandes rasgos la única pieza móvil de un motor eléctrico es el rotor, por lo tanto, sin mayor existencia de roce. Las únicas pérdidas que se producen dentro de un motor eléctrico



■ Figura 3: Motor diesel Volvo Penta D1 -20.

corresponden a la energía disipada en forma de calor que genera la circulación eléctrica en los conductores. Generalmente la eficiencia de un motor eléctrico se encuentra entre el rango de 85% y 95%.

Otra de las grandes ventajas de los motores eléctricos es que su funcionamiento no se basa en la combustión, por lo que no existen residuos de ningún tipo, ni descarga de gases a la atmósfera. Una ventaja adicional es que un motor eléctrico genera niveles de ruido notoriamente menores que su par de combustión interna; lo cual adquiere gran importancia especialmente para embarcaciones menores utilizadas para el transporte de pasajeros o recreación.

La diferencia en el principio de funcionamiento de ambos motores implica también que sus piezas y componentes sean diferentes. Así, mientras el motor de combustión interna tiene además de

sus partes principales, sistemas anexos como el de alimentación, lubricación y enfriamiento, el motor eléctrico carece de estos sistemas, lo que permite que sus dimensiones y peso total sean notoriamente menores. La tabla 1 muestra una comparación de las dimensiones requeridas para dos sistemas de propulsión, uno eléctrico y otro diesel, para similar potencia instalada.

	Kraütler 15,0 AC	Volvo Penta D1-20	Diferencia
Largo	258 mm	765 mm	196%
Ancho	258 mm	471 mm	83%
Alto	502 mm	534 mm	6%
Peso	91 Kg	144 Kg	58%

■ Tabla 1: Dimensiones de motores eléctricos y diesel.

Esta notoria diferencia implica que será posible un mejor aprovechamiento de los espacios a bordo, sin embargo debe considerarse también el espacio necesario para baterías, las cuales suelen ser voluminosas y pesadas, en comparación a un menor volumen y peso requerido para combustible en el caso de un motor diesel.

Otro aspecto que diferencia a ambos sistemas de propulsión es el torque o par motor. En motores de combustión interna por lo general el torque aumenta en proporción directa con el número de revoluciones a las que gira el eje, hasta llegar a un nivel donde se mantiene relativamente constante; normalmente este nivel se alcanza a potencias cercanas al 30% o 40% de la potencia máxima del motor, logrando llegar al torque máximo a valores entre el 70% y 80% de su potencia máxima. Para el caso de los motores eléctricos, una de sus características es que logran alcanzar el valor máximo de torque prácticamente de manera instantánea, manteniendo un torque máximo constante virtualmente en todo su rango de revoluciones.

Sin duda uno de los aspectos que comparativamente ofrece mayor ventaja a los motores eléctricos en relación a los motores de combustión interna es la prácticamente nula mantención preventiva a la que deben ser sometidos a lo largo de su vida útil. En este sentido,

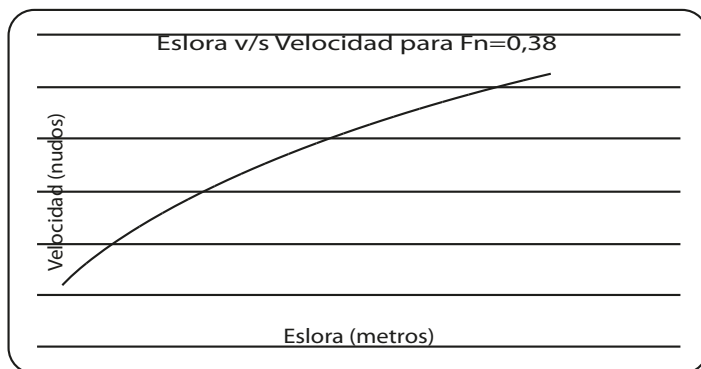
los motores de combustión interna se le deben efectuar mantenciones preventivas periódicas, además de estar sujetos permanentemente a potenciales daños de piezas por fallas de lubricación, enfriamiento y corrosión, lo cual incide directamente en los costos de operación del motor.

Limitaciones de la propulsión eléctrica

La principal desventaja de los sistemas de propulsión eléctricos en naves menores radica en la capacidad limitada de almacenar energía a bordo, debido al gran peso y volumen de las baterías que se requiere; por este motivo la potencia del motor es generalmente modesta y consecuentemente la velocidad de la embarcación resulta relativamente baja comparada a la que podría alcanzar mediante un sistema de propulsión convencional basado en un motor de combustión interna. Esta es la razón por la cual la propulsión eléctrica en embarcaciones menores se limita casi exclusivamente a cascos de desplazamiento en el rango de bajas velocidades, donde la resistencia al avance es mínima. Naturalmente existen motores eléctricos de gran potencia, pero su uso no permite una autonomía aceptable en la mayoría de las aplicaciones, con la desventaja anexa del elevado tiempo requerido para cargar las baterías. En cuanto a la autonomía, comparativamente, el volumen necesario para almacenar energía es significativamente mayor en un sistema de propulsión eléctrico (baterías) en relación a un motor diesel (estanque de combustible). En otras palabras, a igual volumen para almacenamiento de energía, un motor de combustión interna permite una cantidad de horas de funcionamiento del motor mucho mayor a la de un motor eléctrico.

Si bien el uso de propulsión eléctrica limita a la embarcación a alcanzar velocidades relativamente bajas en comparación a una propulsión con motor de combustión interna, las velocidades que es posible alcanzar corresponden generalmente al límite de navegación de desplazamiento para embarcaciones menores, alcanzando valores de Número de Froude (F_n) cercanos a 0,4. Dada la alta necesidad de potencia requerida para superar la zona de preplaneo, por el aumento de resistencia al avance que produce para

un F_n elevado, se asume en general que una embarcación con propulsión eléctrica no es diseñada para alcanzar velocidades de preplano ni plano. En el gráfico de la figura 4 se muestran las velocidades correspondientes a $F_n = 0,38$ para diferentes magnitudes de eslora.



■ Figura 4: Eslora y velocidad para $F_n=0,38$.

La generación de energía a bordo por medio de paneles fotovoltaicos además de hacer uso de energía limpia y renovable, reduciendo prácticamente a cero los costos de operación, permite un aumento de la autonomía de la nave, dado que a medida que el motor utiliza la energía almacenada en las baterías, los paneles fotovoltaicos mantienen la generación eléctrica, aunque a tasas de producción menores a la del consumo del motor, por lo cual se puede observar un aumento entre un 30% y un 40% en la autonomía de la embarcación en condiciones ideales de funcionamiento de los paneles. El cálculo del área necesaria de paneles dependerá de la energía requerida por el sistema, la radiación solar local y la potencia de cada panel. La tabla 2 muestra los niveles de radiación solar local promedio de los últimos 22 años por mes en

distintas ciudades de Sudamérica.

La disposición de los paneles requiere de superficies necesariamente expuestas a la radiación y que además tenga la forma adecuada para su instalación, limitando en cierta forma el uso de espacios a bordo. Los multicascos resultan muy adecuados para la disposición de paneles, dado su gran área de cubierta, o la posibilidad de integrar los paneles como parte del diseño de la nave, atenuando el impacto de los paneles sobre la utilización de los espacios a bordo.

En general las limitaciones que implica el uso de la propulsión eléctrica en embarcaciones

Ciudad	Promedio de la Radiación Solar sobre Área Horizontal (KW-h/m ² /día)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Valdivia	7,68	6,73	5,08	3,37	2,15	1,69	1,98	2,82	4,18	5,68	6,83	7,62
Valparaíso	7,84	6,69	5,53	4,25	2,9	2,46	2,73	3,6	5,01	6,36	7,5	8,08
Buenos Aires	7,05	6,09	4,94	3,64	2,75	2,22	2,46	3,32	4,54	5,35	6,44	6,97
Bariloche	6,37	5,81	4,26	2,75	1,75	1,33	1,56	2,24	3,37	4,62	5,65	6,33
Río de Janeiro	5,21	5,41	4,76	4,3	3,66	3,65	3,66	4,32	4,18	4,74	4,97	5,01
Brasilia	5,37	5,6	5,2	5,32	5,09	5,04	5,23	5,74	5,84	5,52	5,17	4,94
Puno	5,84	5,84	5,66	5,65	5,63	5,39	5,57	5,94	6,49	6,84	7,01	6,5
Callao	7,24	7,32	7,14	6,35	4,94	3,4	3,1	3,49	4,34	5,34	6,09	6,83
Iquitos	4,66	4,48	4,51	4,3	4,19	4,05	4,34	4,76	5,04	4,92	4,79	4,63
Barranquilla	3,58	3,83	3,81	4,03	4,09	4,03	4,25	4,55	4,62	4,61	4,32	3,96
Montevideo	6,88	5,76	4,82	3,51	2,68	2,15	2,36	3,14	4,26	5,21	6,29	6,88
Iquitos	4,66	4,48	4,51	4,3	4,19	4,05	4,34	4,76	5,04	4,92	4,79	4,63

■ Tabla 2: Radiación solar en ciudades Sudamericanas. Fuente NASA, Atmospheric Science Data Center.

menores restringen el perfil de misión para el cual su uso resulta conveniente. Las principales desventajas a tener en cuenta son:

- Su uso no resulta recomendable para naves que requieran velocidades muy elevadas, superiores a rango de navegación de desplazamiento, es decir F_n superior a 0,4.
- Dado que es necesario reducir al máximo el desplazamiento de la nave, el uso de propulsión eléctrica no es adecuado para embarcaciones que transporten carga, en atención a la alta potencia requerida para su propulsión, lo cual implica la necesidad de una gran cantidad de baterías para obtener una autonomía aceptable.
- En relación con el desplazamiento, idealmente el casco de la embarcación debe ser construido de materiales livianos, tales como aluminio, madera laminada o materiales compuestos; entre estos últimos, por consideraciones de costo, el más utilizado es el plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), aunque otros materiales como el carbono o kevlar pueden ayudar a reducir más aún el peso del casco.
- En el diseño de la embarcación se deben considerar superficies planas expuestas a la intemperie para la instalación de paneles fotovoltaicos.
- El área de operación de la nave también es importante, por cuanto los niveles de radiación solar son distintos en las diversas zonas geográficas. Por otra parte también influye el factor meteorológico, por cuanto los días nublados disminuyen la capacidad de los paneles solares de generar energía eléctrica. En el caso de las naves que carguen sus baterías por medio de una conexión a la red eléctrica, este factor no es influyente.
- En general el sistema propulsor eléctrico permite una autonomía limitada sólo a algunas horas, dependiendo de la potencia del motor y la capacidad de las baterías, por lo que su uso es restringido solo a naves que realicen navegaciones cercanas a puerto, no permitiendo travesías demasiado largas.

Costos de implementación y operación

El costo de implementación de un sistema de propulsión eléctrico a bordo constituye una parte importante del valor total de la nave, especialmente en el caso de una embarcación menor. Es necesario hacer una estimación de costos para cada proyecto en particular, dado que la forma del casco, perfil de misión, presupuesto disponible y una serie de otros factores influirán en las decisiones respecto al tipo, marca y modelo de los elementos que constituyen un sistema eléctrico de propulsión. Sin embargo, es posible determinar ciertos parámetros con el fin de tener una idea global de los costos referenciales del mercado para la implementación de un sistema eléctrico de propulsión en una embarcación menor.

Existe una gran gama de proveedores tanto de motores eléctricos, como de baterías y paneles fotovoltaicos, por lo que los precios indicados son referenciales y sujetos a variación. Los motores eléctricos valorados para 5, 10 y 20 KW que corresponden a potencial normalmente utilizados para propulsar este tipo de embarcaciones. De igual forma se establecieron parámetros para conocer los precios de mercado de las baterías; en este caso se escogieron baterías de 6 V y capacidad cercana a los 300 Ah. Para los paneles fotovoltaicos se escogieron paneles monocristalinos de 200 W de potencia referencial.

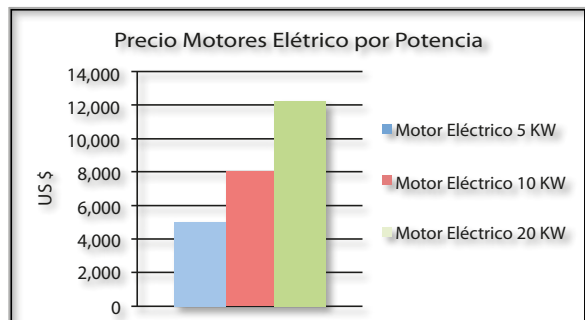


Figura 5: Costos de motor eléctrico.

Consultando a diversos proveedores se establecieron los precios promedio de motores eléctricos que se indican en la figura 5.

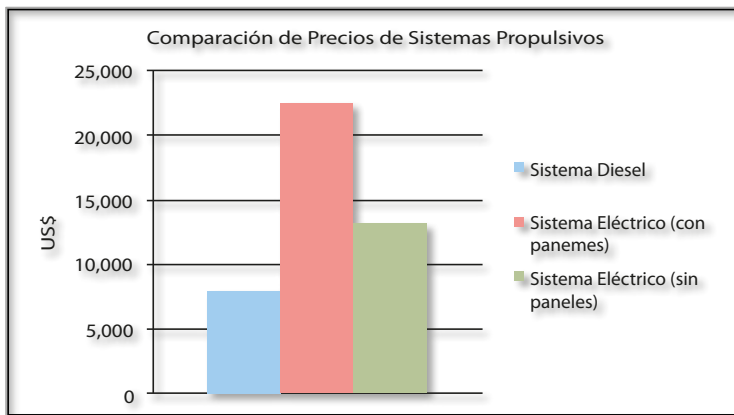
Ítem	Cantidad	Precio Unitario(US\$)	Precio (US\$)
Motor eléctrico	1	7,932	7,932
Panel	10	925	9,250
Baterías	4	970	3.880
Cargo de baterías	1	1.429	1.429
		Total=	22.491

■ Tabla 3: Costo de sistema propulsor eléctrico.

Basándose en un sistema de propulsión con un motor de 10 KW de potencia, se muestran en la tabla 3, los precios referenciales de mercado para los elementos que componen el sistema, considerando tanto la carga de baterías por medio de paneles fotovoltaicos, así como desde la red eléctrica por medio de un cargador de baterías. Dado que cada proyecto en particular requiere de un análisis individual, en el presente caso se consideró el número de paneles y baterías calculado para obtener una autonomía dentro del promedio (seis horas aproximadamente para un monocasco de formas normales).

Desde luego, un sistema que sea diseñado para carga solamente desde la red eléctrica fija no requiere de paneles fotovoltaicos.

Con el fin de realizar una comparación de costos estimativa para una potencia de 10 KW,



■ Figura 6: Costos de sistema de propulsión.

las dos alternativas de propulsión eléctrica son confrontadas con un sistema de potencia similar de un motor diesel de 10,3 KW (BHP). En base a los valores de distintos proveedores de motores diesel de

las características indicadas se obtuvo un valor promedio de US\$ 8 070. De esta forma es posible realizar la comparación de precios de adquisición del sistema de propulsión para este ejemplo en particular. (Figura 6).

Si bien existe diferencia en los costos de implementación entre los sistemas diesel y eléctrico, la gran ventaja de este último desde el punto de vista económico se encuentra en los costos de operación, especialmente en lo referido al sistema eléctrico que utiliza radiación solar para la carga de baterías, ya que los costos de operación son prácticamente nulos, si se considera que estos motores virtualmente no requieren de mantención y que la energía utilizada es gratuita y renovable. En este caso solo debe considerarse la depreciación de los elementos que componen el sistema y que tienen una vida útil de operación, especialmente el set de baterías.

En el caso de cargar las baterías mediante la red eléctrica por medio de un cargador se debe

considerar el costo de la electricidad que varía de acuerdo al proveedor local de energía eléctrica. Como referencia el costo (2011) de 1 kWh para un consumidor residencial en Chile varía entre 0,22 y 0,32 dólares. Usando estos valores es posible calcular el costo por hora de navegación de una embarcación. Como es sabido este cálculo variará de acuerdo a cada embarcación y cada motor,

ya que las formas del casco influyen en el consumo eléctrico del motor, lo cual varía la potencia eléctrica

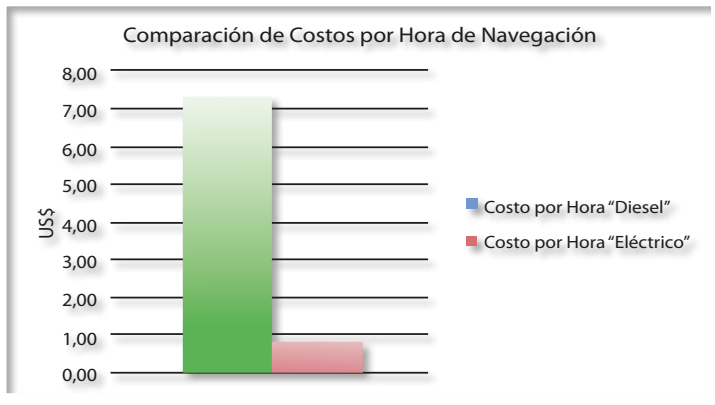


Figura 7: Costos por hora de navegación en ejemplo estudiado.

por hora de navegación. De igual forma influirá la velocidad a la que se navegue, por cuanto el motor consume una cantidad distinta de energía a diferentes niveles de carga.

El cálculo de costo por hora de navegación es independiente para cada embarcación y cada motor en particular. Sin embargo, como se indicó anteriormente se realizó una comparación para dos motores, uno eléctrico y uno diesel de potencias similares en el mismo casco, basado en las curvas de consumo eléctrico y combustible respectivamente. Bajo estas condiciones el costo total por hora de navegación con sistema diesel para el ejemplo estudiado es de 7,33 US\$, mientras que para el caso de propulsión eléctrica en el mismo casco y bajo las mismas condiciones es de 0,86 US\$. (Figura 7).

En el mismo ejemplo estudiado se estableció que el tiempo requerido para recuperar la diferencia de capital inicial es de seis meses, en el caso de un casco sin paneles fotovoltaicos y de aproximadamente un año en el caso de instalarse paneles solares. Para esta simulación se consideró una operación diaria de seis horas durante todos los días del año, lo cual se puede asimilar a la situación de una embarcación menor dedicada al transporte de pasajeros, lo que se adapta perfectamente a la autonomía que ofrecen este tipo de naves.

Como se indicó anteriormente este ejemplo corresponde a un caso particular, por lo que los valores variarán de acuerdo a las marcas,

modelo y potencia de los motores, tipo y marca de paneles y baterías, además del costo del combustible diesel y tarifa eléctrica. También influyen las formas del casco y las condiciones de operación. Sin embargo el ejemplo resulta ilustrativo para analizar desde un punto de vista económico ambos sistemas de propulsión.

Aplicación a embarcación de pasajeros

La tabla 4 muestra las características principales de la embarcación. En el diseño se consideró el mínimo desplazamiento posible, para lo cual se construyó el casco en base a materiales compuestos. Su principal uso es el transporte diurno de pasajeros en los ríos de Valdivia. Los viajes son limitados a algunas horas y el banco de baterías ha sido dimensionado para proveer la energía necesaria para cada navegación,

Eslora total	9,5 m
Manga	3.0 m
Puntal	1,4 m
Calado	0,35 m
Desplazamiento	4,8 t
pasajeros (tripulación)	12
Tripulación	1
Velocidad máxima	6 nudos
Régimen de velocidad	desplazamiento
Potencia de motor	4 KW
Corriente continua	48 V
paneles solares	1.6 KW
Material casco	Compuesto

Tabla 4: Características principales de embarcación solar.

luego de la cual la embarcación regresa a su puerto base.

Se ha diseñado un techo cubierto de paneles fotovoltaicos para la generación de energía durante la operación. Normalmente disponer un peso elevado influye sobre la posición vertical del centro de gravedad, afectando la estabilidad inicial de la nave, sin embargo este peso es moderado y se compensa ampliamente por el peso y ubicación del banco de baterías, ubicado al interior del casco cercano a la quilla.

Se cuenta también con la alternativa de recargar el banco de baterías durante la noche conectando la unidad a la red eléctrica local mediante un cargador de baterías, lo anterior resulta innecesario si la embarcación permanece al día siguiente en puerto, privilegiando entonces la carga mediante radiación solar.

La propulsión de la embarcación resulta extremadamente silenciosa, lo cual representa una gran ventaja para una nave de transporte de pasajeros.

Actualmente hay tres embarcaciones con propulsión solar operando en Valdivia. Los resultados, tras un año de operación han sido los previstos, es decir, los costos de mantención y operación del sistema propulsor son prácticamente nulos. Los pasajeros se declaran muy satisfechos de la navegación silenciosa y no contaminante.

Conclusiones

El uso de propulsión eléctrica en embarcaciones menores es viable operacional y económicamente para ciertas condiciones, principalmente autonomía reducida y capacidad de recarga de energía diariamente.

En relación a la velocidad, la zona de operación más favorable es para un bajo Número de Froude, normalmente en condiciones de navegación de desplazamiento dado que lograr velocidades de planeo o semiplaneo resulta inviable considerando el alto consumo energético y las limitaciones de almacenamiento de energía a bordo.

La restricción de potencia condiciona el desplazamiento de diseño al mínimo posible, por esta razón es conveniente el uso de materiales ligeros, idealmente materiales compuestos. Por esta misma razón no es recomendable la aplicación de la propulsión eléctrica en actividades de transporte de carga. En este mismo sentido, el transporte de pasajeros resulta apropiado para la propulsión eléctrica dado que el peso de los pasajeros no resulta demasiado significativo en el desplazamiento total de la embarcación.

Desde el punto de vista económico, el sistema de propulsión eléctrico tiene un valor considerablemente mayor al sistema de propulsión diesel para potencias similares. Si el sistema de propulsión eléctrico no contempla la generación de energía con paneles fotovoltaicos, el costo se reduce bastante, aunque sigue siendo superior a un sistema diesel convencional.

El mayor costo que implica la implementación del sistema de propulsión eléctrico se ve compensado por el mínimo costo operacional asociado a este tipo de propulsión, llegando incluso a ser casi nulo si se opera con paneles fotovoltaicos. Es posible absorber la diferencia de costos de implementación respecto a un sistema diesel en un plazo mediano, pasado el cual se contará con un tipo de propulsión que no contamina, de fácil operación y notoriamente económico para su uso en embarcaciones menores.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Electric Boat Association* (www.electric-boat-association.org.uk).
2. Díaz, B. y Gómez, A. "Variación de la velocidad en motores eléctricos"; Universidad de Oviedo 2002.
3. *Krätler Elektromaschinen* (www.krautler.at)
4. Bertram, Volker. "Practical Ship Hydrodynamics". Butterworth Heinemann.
5. Méndez Cuervo. "Energía Solar Fotovoltaica". Editorial FC, Segunda Edición, 2006.
6. *Atmospheric Science Data Center*. (www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/)
7. *Astillero Alwoplast, Valdivia, Chile*. (www.alwoplast.cl)