



HACIA LA “NÁUTICA CERO EMISIONES”: ECONOMÍA CIRCULAR Y REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE AUTOMOCIÓN CON MÍNIMA INTERVENCIÓN

TOWARDS “ZERO-EMISSION BOATING”: CIRCULAR
ECONOMY AND THE REUSE OF AUTOMOTIVE BATTERIES
WITH MINIMAL INTERVENTION

Enrique Miguel Tébar Martínez

Dr. Ingeniero de Telecomunicación. Experto en Energía Solar Fotovoltaica,
Almacenamiento Energético y Economía Circular

Contacto: entemar@avit.org

I. LA TRANSICIÓN AZUL: EL DESAFÍO DE LA ELECTRIFICACIÓN EN ENTORNOS HOSTILES II. EL ESTÁNDAR DE ROBUSTEZ: MARINIZACIÓN Y HIBRIDACIÓN 1. Ingeniería de resistencia (IP67 y C5) 2. El corazón del sistema: El Inversor Híbrido III. INNOVACIÓN DISRUPTIVA: SEGUNDA VIDA CON MÍNIMA INTERVENCIÓN 1. Nueva Unidad de Control Electrónico (ECU) y BMS adaptado 2. La Planta Piloto de valorización de la batería: donde tiene lugar la transformación IV. IMPACTO EN EL SECTOR Y CONCLUSIONES

Resumen

La descarbonización del transporte marítimo requiere soluciones urgentes que combinen sostenibilidad ambiental y viabilidad económica. Este artículo explora nuevas vías de electrificación para embarcaciones de recreo mediante el uso de tecnologías de almacenamiento LiFePO₄ de alta resistencia y presenta un enfoque innovador de I+D+i: la reutilización directa de packs de baterías de vehículos eléctricos (VE) con una mínima re-manufactura industrial. Esta estrategia de “mínima intervención” promete reducir costes y huella de carbono, acelerando la transición hacia una economía azul más eficiente.

Palabras clave

Electrificación Naval, Economía Circular, Baterías de Segunda Vida, Descarbonización, PERTE VEC.

Abstract

The decarbonisation of maritime transport requires urgent solutions that combine environmental sustainability with economic viability. This article explores new pathways for the electrification of recreational vessels through the use of high-durability LiFePO₄ energy storage technologies and presents an innovative R&D&I approach: the direct reuse of electric vehicle (EV) battery packs with minimal industrial remanufacturing. This “minimal-intervention” strategy promises to reduce both costs and carbon footprint, thereby accelerating the transition towards a more efficient blue economy.

Keywords

Naval Electrification, Circular Economy, Second-Life Batteries, Decarbonisation, PERTE VEC.

I. LA TRANSICIÓN AZUL: EL DESAFÍO DE LA ELECTRIFICACIÓN EN ENTORNOS HOSTILES

El sector marítimo se encuentra en una encrucijada. Las normativas europeas y locales presionan para reducir la huella de carbono y la contaminación acústica en puertos y áreas costeras protegidas. Mientras la automoción ha trazado ya su ruta hacia la electrificación, la náutica de recreo se enfrenta a un entorno hostil que dificulta la adopción masiva de estas tecnologías: la corrosión salina, la necesidad de autonomía y la seguridad crítica en alta mar.

La transición energética en el sector marítimo implica trasladar la tecnología eléctrica del asfalto al océano, lo cual presenta desafíos técnicos considerables. La salinidad, la humedad constante y las vibraciones exigen estándares de robustez muy superiores a los de la industria terrestre.

La economía circular emerge aquí no solo como una estrategia ambiental, sino como la clave de la viabilidad económica. Miles de baterías de vehículos eléctricos terrestres son retiradas cada año anualmente con un Estado de Salud (SOH) superior al 70-80%, insuficiente para la tracción en carretera pero perfectamente válida para aplicaciones donde la alta densidad de potencia (por ejemplo para adelantamientos rápidos en carretera) no es tan crítica como la autonomía y la fiabilidad, para las cuales no necesitamos una alta densidad de potencia sino una alta densidad de energía.

II. EL ESTÁNDAR DE ROBUSTEZ: MARINIZACIÓN Y HIBRIDACIÓN

Para que una batería terrestre sobreviva en el mar, no basta con instalarla a bordo; debe ser “marinizada”. Esto implica rediseñar su envoltorio y sus conexiones para soportar dos enemigos invisibles: la humedad salina y la vibración constante del casco.

1. Ingeniería de resistencia (IP67 y C5)

Para que la electrificación sea una realidad masiva en la náutica de recreo, la tecnología de almacenamiento debe cumplir dos premisas fundamentales: resistencia extrema y seguridad certificada. Las soluciones actuales pasan por el uso de carcasas con grados de protección IP67 (estanqueidad total al polvo e inmersión temporal en agua) y resistencia a la corrosión Clase C5 que garantiza que, incluso en las condiciones más severas de una sala de máquinas, los componentes electrónicos y los buses de potencia permanezcan inalterados durante una vida útil que puede superar los 15 años.

Asimismo, la seguridad a bordo es innegociable; el uso de químicas estables como el Litio Ferrofosfato (LFP), que ofrece una seguridad intrínseca superior frente al riesgo de fuga térmica, y certificaciones internacionales tipo UN38.3 son esenciales para asegurar que, incluso ante un daño físico severo, no exista riesgo de incendio o propagación térmica.

2. El corazón del sistema: El Inversor Híbrido

La electrificación naval moderna no debe ser concebida como un sistema aislado, sino como una micro-red inteligente. Los inversores híbridos actuales actúan como gestores energéticos integrales que interconectan las baterías, los paneles solares y el punto de conexión a red en amarre, siendo de estos 3 la batería el único componente imprescindible, y al menos uno de los 2 restantes. De esta forma el inversor híbrido permite:

- Carga Solar: Aprovechamiento de la superficie de cubierta mediante paneles fotovoltaicos con controladores de su punto de máxima potencia (MPPT).
- Gestión de Red (Shore Power): Carga rápida en amarre.
- Propulsión y Servicios: Alimentación simultánea del motor eléctrico y de las cargas de confort (nevera, iluminación, dispositivos electrónicos a bordo) desde el sistema de almacenamiento, con tiempos de conmutación inferiores a 10 ms para actuar como SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida).



Fig 1. Integración de renovables y almacenamiento en embarcación de recreo.

Este enfoque no solo reduce el consumo de combustibles fósiles, sino que fomenta una navegación silenciosa y respetuosa con la fauna marina, alineándose con las normativas portuarias cada vez más estrictas sobre ruido y emisiones.

III. INNOVACIÓN DISRUPTIVA: SEGUNDA VIDA CON MÍNIMA INTERVENCIÓN

Más allá de la instalación de equipos nuevo a bordo, el gran reto de la sostenibilidad reside en la Economía Circular. Tal y como se ha señalado en el punto 1, las baterías de vehículos eléctricos terrestres (VE) son retiradas con una capacidad remanente superior al 70-80%, perfectamente válida para aplicaciones de menor exigencia de potencia instantánea, como la navegación de crucero.

El modelo tradicional de “segunda vida” implica desmontar estos packs, extraer los módulos, testarlos uno a uno y volver a ensamblarlos en nuevas baterías. Es un proceso costoso y energéticamente intensivo. Frente a esto, surge una nueva línea de investigación apoyada por programas como el PER-

TE VEC de Economía Circular del Vehículo Eléctrico y Conectado: la reutilización directa con mínima intervención.

1. Nueva Unidad de Control Electrónico (ECU) y BMS adaptado

Una de las propuestas tecnológicas de este programa se basa en mantener la arquitectura original del pack de automoción (carcasa, sistema de refrigeración y estructura mecánica) sin desmontar los módulos internos. El desafío —y la innovación— radica en la electrónica de control.

Hasta ahora, reutilizar una batería de automóvil en otro vehículo, proceso poco estandarizado y muy artesanal por la falta de economía de escala, implicaba un proceso costoso: desmontar el pack, extraer los módulos, testarlos individualmente y volver a fabricar una batería nueva. Este proceso, aunque válido, encarece el producto final.

Dado que el sistema de gestión original (BMS) del VE suele quedar bloqueado o inoperativo fuera del automóvil, la solución pasa por desarrollar una nueva Unidad de Control Electrónico (ECU) y un BMS adaptado. Estos dispositivos permiten:

1. “Despertar” al pack: Habilitar la comunicación con los contactores y sensores originales.
2. Gestionar la seguridad: Monitorizar voltajes y temperaturas para operar dentro de los rangos seguros en un entorno marítimo.
3. Interfaz Naval: Traducir los protocolos de automoción para que la batería “hable” con el motor eléctrico y el inversor híbrido a bordo de la embarcación.



Fig 2. Proceso de adaptación de electrónica en batería de VE sin desmontaje de módulos.

2. La Planta Piloto de valorización de la batería: donde tiene lugar la transformación

La viabilidad de este modelo depende de instalaciones especializadas capaces de diagnosticar y transformar estas baterías a escala industrial. En una planta piloto de valorización de baterías, el proceso sigue un flujo riguroso:

1. Recepción y Diagnóstico: Se evalúa el SOH de la batería entrante mediante ciclos de carga/descarga y análisis de impedancia.
2. Adaptación de la Electrónica: Se sustituye el BMS original para permitir su uso estacionario o marino.
3. Validación en Banco: Antes de subir a bordo, el sistema completo (batería + inversor + motor) se prueba en un banco de ensayos que simula las condiciones de navegación (picos de potencia, vibración, ambiente salino).

IV. IMPACTO EN EL SECTOR Y CONCLUSIONES

La electrificación del sector náutico no requiere “reinventar la rueda”, sino adaptarla. La combinación de baterías de segunda vida con una electrónica de control avanzada y procesos de marinización robustos permite reducir drásticamente el coste de las embarcaciones de tracción eléctrica. Esta estrategia no solo evita la emisión de toneladas de CO₂, sino que ofrece una solución real al problema de los residuos de la movilidad eléctrica, cerrando el círculo de la sostenibilidad tecnológica.

La validación de estas tecnologías supone un hito para la industria auxiliar naval. Al reutilizar el pack completo, se eliminan los costes de re-manufactura y se reduce drásticamente la huella de carbono asociada a la producción de nuevas celdas.

Estamos ante un punto de inflexión donde la ingeniería electrónica y la economía circular convergen. La capacidad de dar una segunda vida útil a baterías de automoción en nuestros barcos no solo facilitará y democratizará el acceso a la propulsión eléctrica al reducir costes, sino que convertirá al sector náutico en un ejemplo de sostenibilidad integral, cerrando el ciclo de vida de los componentes y protegiendo el medio en el que navegamos.