

Infraestructuras submarinas: análisis del medio submarino para la aproximación al *clúster* sumergido

F. Javier Rodrigo¹, Rubén Denche², Luis F. Montero² y Rafael Calderón²

¹ Sociedad Española de Electrónica Submarina, Cartagena, España

²Ghenova Ingeniería, Sevilla, España

Resumen.

Las energías renovables en la industria Offshore son el sector que presenta un crecimiento más relevante. La tecnología adapta al ámbito marino instalaciones energéticas de uso común en tierra y probadas. Ejemplos usuales son los sistemas de almacenamiento, distribución y transformación de energía. Las configuraciones con un diseño más maduro son de sistemas sobre la superficie marina ancladas al lecho marino con estructuras auxiliares en instalaciones fijas no flotantes.

Situar los sistemas de almacenamiento y transformación en el fondo marino, evitaría las estructuras de soportado, aunque obliga a abordar estudios, diseños e integraciones para optimizar las nuevas instalaciones sumergidas.

*Este artículo recorre el potencial desarrollo de infraestructuras submarinas para diferentes sectores, más allá del tradicional Oil & Gas, y **considera tanto las aplicaciones alternativas como los retos tecnológicos asociados y marcos temporales de cada caso.** Para ello, se analizan los factores tecnológicos **y se consideran los aspectos ambientales, de emplazamiento, de diseño, de accesibilidad y de mantenibilidad** para operar de forma confiable las dos instalaciones sumergidas analizadas.*

1 Introducción.

La calidad del champán *Veuve Cliquot* de 1840 encontrado en 47 botellas en un pecio en los fondos del archipiélago de Åland en 2010 sorprendió de tal manera a los expertos, que la propia *maison* decidió introducir en el Báltico una selección de sus mejores vinos. Estas bodegas sumergidas no dejan de ser un modelo de infraestructura que aprovecha las especiales características del mar para modificar un producto y crear un nicho de mercado inesperado.

El presente artículo plantea una configuración (*clúster*) que sitúa la producción y distribución de energía (eólica marina), junto a instalaciones de generación y almacenamiento de H₂ (hidrógeno) y centros de cálculo submarinos, que crearía un polígono de energía y proceso que creemos facilitaría el desarrollo local y daría valor a las instalaciones eólicas *offshore*: la energía se genera en las proximidades del consumidor y a tensiones más bajas. Numerosas turbinas eólicas dan redundancia en alimentación

2

que de otra forma exige una gestión de la red a otro nivel. El almacenamiento de energía en forma de H_2 y un centro de cálculo con bajo consumo energético sin infraestructura de refrigeración, serían infraestructuras competitivas frente a las clásicas terrestres.

2 Factores a tener en cuenta en el diseño de instalaciones submarinas.

Son muchos los factores que afectan al diseño de una instalación submarina.

Las propiedades físicas más determinantes son la presión, la temperatura y la salinidad y, relacionadas con ellas, el viento, el oleaje, las corrientes y la geología del fondo marino. Estos factores, influirán en el ciclo de vida de las instalaciones.

Añadido a la casuística del propio medio submarino están los generales: empleo de materiales adecuados, sistemas de anclaje, la ubicación geográfica, la seguridad de la instalación, accesibilidad y monitorización, los costes operativos, el impacto medioambiental, la legislación sobre la explotación de los recursos marinos, las ventajas y desventajas respecto de otras instalaciones en tierra o flotantes, etc.

El sonido es la forma de energía que se transmite de forma más eficiente en el medio acuático, puede alcanzar grandes distancias en bajas frecuencias. Ya que las infraestructuras submarinas tienen un alto valor económico y estratégico, es necesario protegerlas ante la amenaza de intrusos. Un estudio acústico permite obtener la máxima distancia de detección en las áreas de interés a proteger [7].

3 Estado del arte.

Empresas multinacionales han realizado experiencias piloto con instalaciones que puedan servir a la industria *offshore*. *ABB*, *Siemens*, y *AKER*, han probado soluciones para la instalación de transformadores e instalaciones de distribución sumergidas [3][4][8].

Los recipientes de H_2 sumergidos dan mayor seguridad por la ausencia de O_2 . Los tanques de hidrógeno terrestre se fabrican en acero o aluminio (200 a 300 bares) o de metal o polímero reforzado exteriormente con materiales compuestos (hasta 700 bares) y de forma cuasi cilíndrica [5]. Está en estudio el empleo de recipientes esféricos de hormigón sumergidos [9].

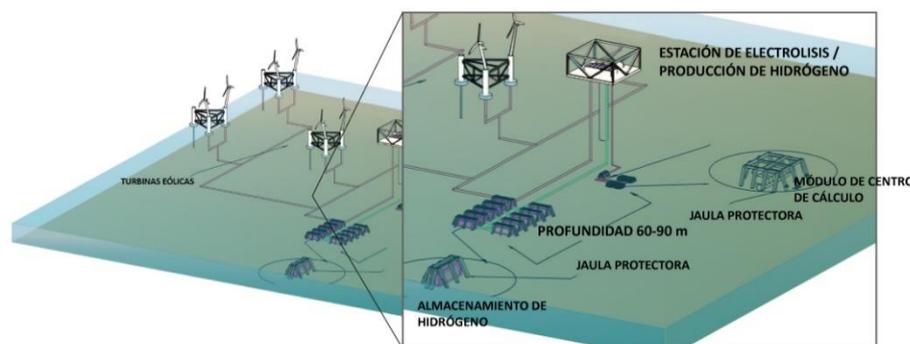
Microsoft sumergió durante 2 años un armario estanco cilíndrico de unos 2 metros de diámetro por cuatro de altura, con 855 servidores comerciales. Las conclusiones del experimento: la tasa de fallo de los servidores fue muy inferior al de los ubicados en centros de cálculo, (1/8 de la tasa habitual) justificado por la atmósfera de nitrógeno del interior la cápsula y la ausencia de operadores humanos [6]. La eficiencia energética en refrigeración de los centros de cálculo refrigerados por agua de mar es un 70% superior al modelo tradicional [12].

4 Diseño de una instalación submarina.

Planteamos un ejemplo conceptual, una instalación sumergida en la plataforma continental, en aguas territoriales, de acceso rápido y a profundidad no superior a 200 m.

Además, estará cerca de un parque eólico marino para poder alimentar la instalación o generar y almacenar hidrógeno. Cerca de una ciudad costera con unas necesidades energéticas estacionales, de manera que haya periodos de consumo energético mayores.

Fig. 1. Configuración de infraestructura sumergida y *offshore*



La figura 1 muestra la configuración del escenario planteado, tanto para la estación de almacenamiento de hidrógeno como para el centro de cálculo.

Para el diseño estructural de los *clústeres*, se deben de tener en cuenta los parámetros del ambiente marino, aparte de los propios relacionados con la estructura a sumergir. Según la profundidad definida, máxima de 200 m, nos encontraremos a una presión de 21 bares, y una temperatura entre 9 y 16 grados Celsius (batitermia de la zona). La instalación se realiza en la zona fótica.

A los parámetros ambientales se suman los de la propia instalación, tales como el tamaño, la geometría, el reforzado interno, el peso (propio y del equipamiento), el anclaje o lastrado y su integración con la propia estructura primaria, los requisitos de izado y el material.

Los métodos para asegurar la estanqueidad de los sistemas submarinos serán de tipo tradicional, mediante uniones atornilladas o bridas y juntas tóricas o en T (sección transversal de elastómero con forma de T y dos anillos de apoyo de teflón, generalmente), y materiales adecuados para resistir la corrosión del medio marino, ya que las presiones máximas no son elevadas y técnicamente han sido probados. Soluciones de este tipo se utilizan incluso en ambientes submarinos sometidos a altas presiones (instalaciones abisales de *Oil & Gas*). Debido a que la unión más crítica será la del cableado o las tuberías con la estructura principal del centro de cálculo o de los tanques de hidrógeno, cualquiera de estos tipos de unión funcionaría adecuadamente.

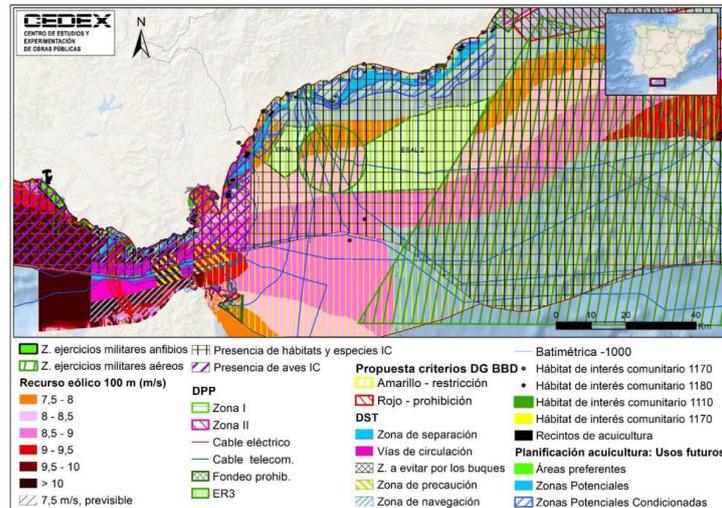
Los contenedores de los servidores del centro de cálculo sumergido se instalarían con el mínimo contacto con el lecho marino. La circulación de agua por toda la superficie del contenedor mejora el rendimiento de refrigeración [11] exterior. El enfriamiento del gas interior (N_2) se consigue por circulación interior del agua del mar entre 9 y 16 grados (invierno y verano).

5 Selección del emplazamiento y características de la zona

Analizadas varias ubicaciones en la costa española, se propone su ubicación en la costa de Málaga (entre Benalmádena y Fuengirola). Se ha autorizado el despliegue de aerogeneradores en el Mar de Alborán con una potencia instalada de unos 990 MW. Así, esa fuente proporcionaría la energía necesaria para alimentar la instalación submarina o generar hidrógeno.

La figura 2 muestra la delimitación de los polígonos para el desarrollo de la eólica (en color verde claro).

Fig. 2. Detalle de los polígonos ESAL 1 y 2 para el desarrollo de la eólica marina en el Estrecho y Alborán e interacción con otros usos y actividades (¹).



Además, la figura proporciona una perspectiva única de la complejidad de las interrelaciones y competencias en el ámbito marítimo. Técnicamente, cualquier instalación podría realizarse, pero la diversidad de espacios destinados a diferentes labores es tan amplia, que habría que debatir y analizar qué es lo más conveniente para obtener el mayor bien común.

La ubicación de la infraestructura, entre 150 y 200 metros de profundidad, entre las puntas de Torrequebrada y Fuengirola, facilitaría el diseño estructural tanto de la planta de hidrógeno como del centro de cálculo y a una distancia razonable del parque eólico.

En cuanto a la afectación de estas instalaciones submarinas sobre la actividad comercial marítima y pesquera, su ubicación en la zona reservada para la generación eólica *offshore* y la profundidad elegida creemos afectaría solo a la pesca artesanal.

¹ Fuente: Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas (POEM)

6 Conclusión.

Como resumen de los puntos anteriores, concluimos que la instalación de *clústeres* submarinos puede ser una solución muy interesante para aprovechar los beneficios que ofrece el medio submarino respecto del terrestre.

Estos *clústeres* pueden servir para dar apoyo a las necesidades energéticas que aparecen en determinadas zonas, de manera que no se vean comprometidas en periodos de alta demanda. La baja temperatura del agua de mar y su estabilidad, invita a realizar diseños que puedan aprovecharse de esta característica, de manera que la refrigeración sea natural y, de paso, que contribuya a incrementar la capacidad de almacenamiento en servidores, que cada vez es más grande. Esto permitirá dar acceso a servicios de datos a las instituciones, empresas y ciudadanos de una forma mucho más dinámica.

La elección de un emplazamiento adecuado es fundamental, de manera que se aproveche de manera eficiente y eficaz la energía proveniente de instalaciones de energía de origen renovable, como la eólica.

Técnicamente, estas nuevas propuestas suponen un reto menor que las que se desarrollan para industrias que llevan operando muchos años en el fondo marino. Entender bien las características que ofrece este medio, permite aprovechar esas virtudes (temperatura o ausencia de oxígeno) para tratar de sacarles el máximo beneficio.

El mantenimiento habrá que planificarlo en detalle, ya que, a diferencia de las profundidades abisales, las condiciones ambientales a profundidades pelágicas propician la aparición de vida marina sobre las estructuras, y se debe evitar que estas se conviertan en arrecifes artificiales y pongan en peligro su correcto funcionamiento.

Referencias.

1. Nixon J., Underwater repair technology, 1st edition –Woodhead Publishing, 2000.
2. Atteraa L., Frydenbø F., Hatlestad B., Underwater Technology Offshore Petroleum, Pergamon, 1980.
3. JEE webpage, <https://www.jee.co.uk/knowledge/top-5-challenges-for-subsea-engineering-in-2023/>, último acceso 30/06/2023.
4. ABB webpage, <https://new.abb.com/news/detail/56325/abbs-subsea-technology-is-powering-the-seabed-for-a-new-energy-future>, último acceso, 20/06/2023.
5. Barthélémy H., Hydrogen storage, industrial perspectives, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 37, I. 22, pp 17364-17372, 2012.
6. IEEE Spectrum web page <https://spectrum.ieee.org/want-an-energyefficient-data-center-build-it-underwater>, último acceso, 20/06/2023.
7. Urlick R. J. Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill (1993).
8. Siemens webpage, <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/industrial-applications/oil-gas/subsea-solutions/subsea-transformers.html>, último acceso, 30/06/2023.
9. Hahn H., Hau D., Dick C., Puchta M., Techno-economic assessment of a subsea energy storage technology for power balancing services, Energy, Vol. 133, p. 121-127, 2017.
10. Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM) de la Unión Europea, (2008/56/CE).
11. McKibbin R., Heat flow from a buried cylindrical tank partially submerged in groundwater International Conference in Porous media, 2014.
12. Mokhtari R., Arabkoohsar A., Feasibility study and multi-objective optimization of seawater cooling systems for data centers: A case study of Caspian Sea. Sustainable Energy Technologies and Assessments Vol. 47, 2021.