

ENERGÍA EÓLICA MARINA, ENERGÍA LIMPIA

Sebastiano Milesi Sebastián*

Chile se enfrenta, fatalmente, a un déficit de energía y es preciso que la búsqueda de la solución sea una cuestión de Estado; la energía eólica marina puede ser una buena alternativa de solución, junto con la energía mareomotriz, para un país con una extensa costa oceánica. Sin duda podría ser la energía del futuro cercano.



La energía eólica marina se refiere a la construcción, operación y mantenimiento de parques eólicos en el mar utilizando la fuerza del viento, donde la velocidad es más constante y productiva, para mover grandes aspas que produzcan fuerza suficiente para generar energía eléctrica, sin la necesidad de usar combustibles fósiles, convirtiéndose en energía ecológicamente limpia y renovable.

Según los expertos, la energía eólica marina, presenta un prometedor desarrollo futuro especialmente en países como Chile que prevé un aumento exponencial del consumo de energía limpia.

En el mar, el viento se encuentra con una superficie de rugosidad variable (producto

de olas y accidentes geográficos del litoral) lo que implica que su velocidad no experimenta cambios importantes y son menos turbulentos que en tierra, y las diferencias de temperaturas, a distintas altitudes de la atmósfera, que se producen en el mar son inferiores a las de tierra adentro, pudiendo emplazarse aerogeneradores de más baja altura con un mayor período de trabajo útil y la consecuente eficiencia técnica de producción energética, aunque -en la actualidad- no es del todo rentable.

En la actualidad los parques offshore, se sitúan en aguas poco profundas, alejados de las rutas de tráfico marino, de las instalaciones navales y de los espacios de interés ornitológico. La distancia de la costa debe ser como mínimo de

* Ingeniero Comercial. Docente de Educación Superior en cátedras relacionadas con innovación, emprendimiento, competitividad y evaluación de proyectos. Académico Correspondiente de la Academia de Historia Naval y Marítima de Chile. Miembro de la Corporación del Patrimonio Marítimo y Naval de Chile. Socio de la Liga Marítima de Chile.

dos kilómetros para aprovechar mejor el régimen de vientos, de características diferentes a los que llegan a tierra.

Aspectos técnicos

La fuerza eólica ha sido una fuente de energía utilizada por la humanidad durante muchos siglos debido a su bajo costo y a su inagotabilidad; se ha utilizado principalmente en la navegación y en el movimiento de molinos y, en el presente, como generador de electricidad, demostrando ser una fuente de energía eficiente, rentable a largo plazo y limpia. El viento es un recurso disponible en todo el litoral chileno. En cuanto a los insumos requeridos para los aerogeneradores, son similares a cualquier otro tipo de industria, no existiendo recurso escaso alguno por el que preocuparse; la tecnología moderna ha estado permanentemente investigando el mejor modo de aprovechar el recurso eólico desarrollando maquinarias potentes y eficientes que permitan aprovechar, incluso, vientos de baja intensidad, convirtiendo a este tipo de

energía como una opción de futuro estable y rentable.

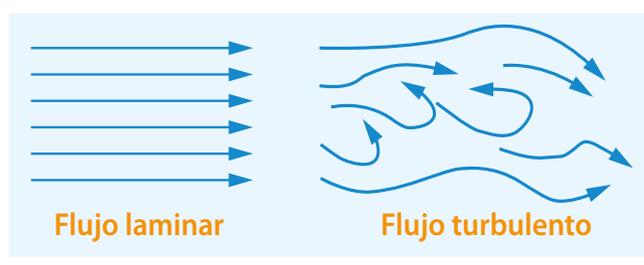
Un aerogenerador o turbina eólica transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica sin usar combustible, pasando por el estadio intermedio de conversión a energía mecánica de rotación a través de palas o aspas. Los aerogeneradores pueden ser de “sustentación” o de “resistencia”, para resumir el principio de funcionamiento de un aerogenerador este ensayo se referirá a las turbinas de “sustentación” donde el viento circula por ambas caras de la aspa que tienen perfiles geométricos distintos, creando un área de depresión en la cara superior de la pala; la diferencia de presiones entre ambas caras produce la fuerza de sustentación aerodinámica sobre la superficie de la pala.

La producción eléctrica mediante aerogeneradores offshore ha ido teniendo un impulso cada vez mayor durante los últimos años, especialmente en Europa, debido a que presenta ventajas claras con respecto a la implantación de estos generadores en tierra.



■ Uso de energía eólica en Brasil.

Un aerogenerador requiere para su funcionamiento correcto de un régimen de viento laminar y constante, no turbulento. En el mar y sobre todo en zonas costeras, no existe mayor incidencia de vientos nocturnos que diurnos. Este efecto es debido a la mayor inercia térmica del mar con respecto a la tierra. Esto es, mientras el mar gana y pierde energía lentamente, la tierra lo hace en menor tiempo. Esto conlleva a la generación de flujos de aire condicionados por los centros de alta y baja presión, producidos por las diferencias térmicas entre uno y otro medio.



■ Figura N°1: Comparación de flujo del viento en el mar (izquierda) y tierra (derecha).

La energía del viento (E) que es posible captar con el dispositivo eólico es directamente proporcional a la densidad del aire (d), a la superficie de barrido (s) y a la velocidad del viento al cubo (v³).

Si M es el flujo aéreo, se tiene:

$$M = d * s * v$$

$$E = \frac{1}{2} M * v^2$$

$$E = \frac{1}{2} d * s * v^3$$

Para que las aspas se muevan se requiere una velocidad mínima del viento, respetándose un límite máximo de velocidad, dado que los aerogeneradores están preparados para funcionar dentro de un rango determinado de velocidad: entre 3 m/seg y 24 m/seg.

La producción de los aerogeneradores marinos es un 50% mayor que aquellos ubicados en terreno liso en tierra, resultando más rentables aunque presentan un mayor costo de instalación. Es así como el principal desafío de la producción de energía eólica marina es el costo de explotación.

En un aerogenerador se destacan los siguientes componentes y partes (figura N°2):

- Las palas o aspas del rotor (blades), encargadas de capturar el viento y transmitir su potencia al buje del rotor.
- Torre (tower) construcción encargada de soportar las palas del rotor y la góndola, incluyendo todas las cargas y pesos que derivan de éstos.
- Góndola (nacelle), es la unidad que contiene los componentes claves del aerogenerador y que se enuncian a continuación. Se coloca a barlovento para evitar que las palas (aspas) recojan el abrigo del viento tras la torre. Tiene la capacidad suficiente para permitir el ingreso del personal de servicio desde la torre.
 - Buje (hub), que se encuentra acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.
 - Eje de baja velocidad (low speed shaft), que conecta el buje del rotor (que gira en forma lenta)

con el multiplicador.

- Multiplicador (gear box) que transmite la baja velocidad del eje izquierdo convirtiéndola en una multiplicada velocidad en el lado derecho, es decir, permite que el eje de alta velocidad gire más rápido que el eje de baja velocidad.
- Eje de alta velocidad (high speed shaft), cuya velocidad de giro permite el funcionamiento del generador eléctrico; está equipado con un freno de emergencia (emergency brake) que se utiliza en caso de falla del freno aerodinámico o durante los trabajos de mantención de la turbina.
- Generador de corriente eléctrica (generator), encargado de producir la electricidad que se transmite a la siguiente etapa usando un cableado.
- Controlador eléctrico (controller), es un ordenador que motoriza las condiciones en que se encuentra el aerogenerador y activa y controla el mecanismo de orientación (yaw system) de la góndola según la dirección del viento; en forma automática detiene el aerogenerador cuando éste se halla en condiciones anómalas.

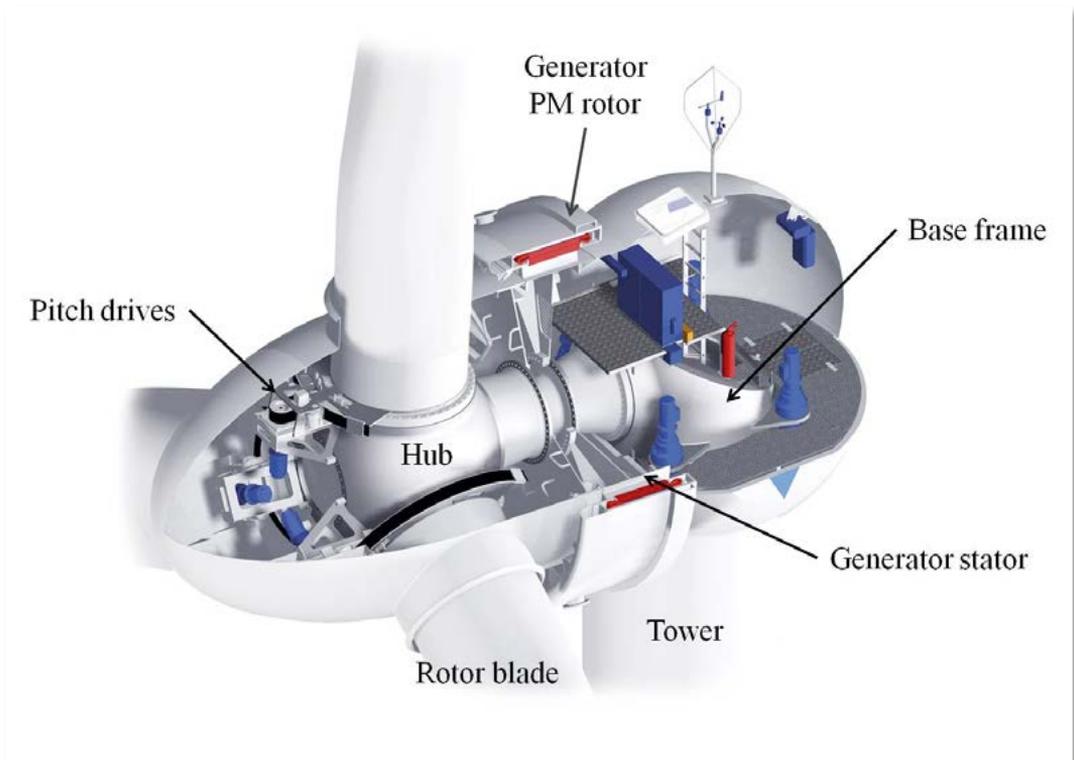


Figura N°2: Componentes del aerogenerador.

- Unidad de refrigeración (refrigeration unit) utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad de refrigeración de aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador.
- Anemómetro (anemometer) encargado de entregar señales al controlador electrónico para activar el aerogenerador cuando el viento alcanza la velocidad de 3 m/seg, aproximadamente, y lo detiene si dicha velocidad excede los 24 m/seg.
- Veleta (wind vane) proporciona información sobre la dirección del viento y da la señal para activar el mecanismo de orientación de giro del aerogenerador en contra del viento.

Se requieren muchas disciplinas para llevar a cabo un proyecto de diseño de infraestructura de un parque eólico marino que garantice viabilidad técnica, económica y social. Primeramente hay que diferenciar entre plataformas fijas y flotantes. En el caso de las primeras, existen varias experiencias -sobre todo en Europa- con desarrollo de proyectos tipo monopilote, de gravedad, tripilote para profundidades de hasta

cuarenta metros y las plataformas Jacket para profundidades de hasta setenta metros.

Los aerogeneradores flotantes marinos (Hywind) se sujetan en el fondo mediante tirantes, aprovechando la energía eólica en mares profundos y son menos agresivos para la fauna y flora del entorno.

En el caso de las estructuras flotantes se debe tener en cuenta los aspectos críticos en el diseño de la estabilidad, comportamiento del mar, cálculo de fondeo y de resistencia estructural dentro de las competencias de la ingeniería naval.

Desde el punto de vista de la operatividad de los aerogeneradores, es preciso conocer sus características aerodinámicas, los sistemas y equipos operativos y de control, que son disciplinas propias de la ingeniería industrial y aeronáutica.

Al iniciar el diseño de una plataforma es importante conocer las condiciones climáticas del emplazamiento. Es necesario establecer los estados del mar que se emplearán en el diseño, que quedarán definidos por el viento, el oleaje y las corrientes.

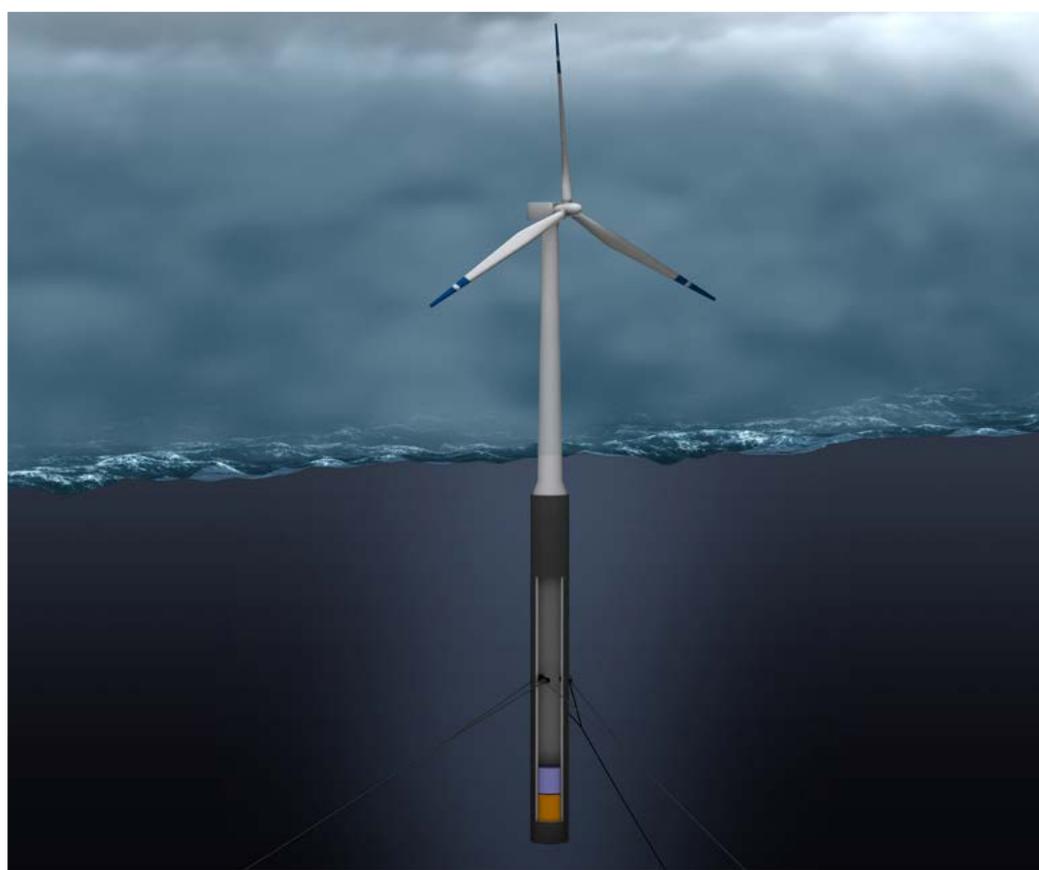
El diseño del soporte flotante del aerogenerador contribuye en lograr la estabilidad del sistema flotador -torre- turbina, donde la estructura debe proporcionar la flotabilidad suficiente para soportar el peso de la turbina y restringir los movimientos de pitch, roll y heave a unos límites de riesgo cuasi nulos.

El gran reto en el diseño e instalación de los aerogeneradores flotantes en el mar es que puedan soportar el fuerte viento y el gran oleaje de alta mar.

Durante la etapa de diseño de aerogeneradores flotantes es necesario fijar la secuencia ordenada de cálculo que permita lograr una solución eficiente que garantice la viabilidad técnica, disminuyendo los riesgos con el fin de atraer inversionistas.

Cabe señalar que el producto electricidad no es el único que se puede producir y ofrecer en estos parques offshore; también es posible producir hidrógeno (para los futuros vehículos que usarán este combustible) y agua pura para uso en granjas marinas.

FASES DE DISEÑO DE UN PARQUE EÓLICO MARINO	
Fase 1	Diseño conceptual.
Fase 2	Datos del diseño.
Fase 3	Diseño base.
Fase 4	Fabricación.
Fase 5	Instalación.
Fase 6	Puesta en marcha.
Fase 7	En servicio.



■ Figura N°3: Aerogenerador flotante (Hywinds).

Aspectos económicos

En cuanto a la elección del emplazamiento se deben tener en cuenta los criterios de los siguientes cinco factores:

FACTORES	CRITERIOS
Potencia eólica.	A mayor potencia eólica real, mayores serán los beneficios económicos y sociales.
Distancia de la costa.	A mayor distancia desde la costa, mayores son los costos de instalación.
Profundidad de la zona.	A mayor profundidad de instalación en el mar, mayores son los costos ingenieriles.
Zonificación de áreas de exclusión eólica.	En función de la zona, no se permitiría realizar algunas instalaciones.
Distancia a la red eléctrica.	A mayor distancia a la red eléctrica, mayores son los costos de alimentación energética.

Un análisis económico proporciona información sobre la inversión en un parque o isla eólica y la subestación asociada y de los beneficios monetarios que se pueden obtener de su explotación y, en función de los resultados obtenidos, se puede discernir sobre la rentabilidad del parque (o isla) y la aceptación o rechazo de llevar a cabo la inversión.

Las técnicas habituales de análisis emplean dos valores:

- Tasa interna de retorno (TIR) que es una razón que hace que el Valor Presente Neto sea igual a cero y en que a mayor tasa TIR mayor rentabilidad.
- Valor presente neto (VPN) que se calcula a partir del flujo de efectivo anual, trasladando todas las cifras monetarias futuras al presente.

Para realizar una evaluación económica se deben analizar los tres conceptos más relevantes:

- La inversión inicial requerida.
- Los gastos de explotación y mantenimiento.
- Los ingresos.

Dentro de la inversión inicial se debe evaluar los siguientes conceptos:

- Aerogeneradores.
 - Aparataje o aparellaje de alta y de baja tensión.
 - Transformador.
 - Estructuras y elementos de conexión.
 - Sistemas de protección, de control y de medición.
 - Obras civiles en plataforma marina.
- Respecto a los gastos de explotación y de mantenimiento, se deben calcular para toda la vida útil de la isla eólica y ser asumidos por la unidad empresarial que explote el proyecto. Se debe discriminar los gastos fijos (personal permanente, gastos de administración, etc.) de aquellas variables que dependerán del tiempo de explotación (mantención, energía consumida, agua, etc.).

■ Beneficio económico

En cuanto a los ingresos económicos, éstos se obtendrán por la venta de la energía producida.

El beneficio anual se puede calcular siguiendo el siguiente modelo de cálculo:

$$BA = IT * PI * H * \mu * (1+te)^n$$

Donde:

- BA es el beneficio anual medido en unidades monetarias.
- IT es la remuneración total por venta de energía.
- PI es el potencial energético producido y vendido.
- H son las horas de funcionamiento del parque eólico por año.
- μ es el rendimiento de la planta.
- te es la tasa nominal de venta de energía eléctrica.
- n es el período (medido en años).

Uno de los aspectos que se debe tomar en cuenta al tomar la decisión de implementar un proyecto offshore es el efecto de la economía de escala que se puede evaluar bajo tres criterios importantes:

- El tamaño de los aerogeneradores considerando que las olas son el

principal factor que afecta la resistencia estructural y el peso de las cimentaciones; consecuentemente, es más rentable utilizar mayores aerogeneradores ya que el tamaño y el costo de las cimentaciones no aumenta en proporción al tamaño del aerogenerador.

- Conexión a la red, donde –evidentemente– es más económico conectar unas pocas aeroturbinas que un gran número de ellas; las grandes máquinas permiten ahorro en mantención evitando este trabajo de unidades flotantes (buques de apoyo).
- El tamaño óptimo de los parques Offshore es mayor que los Onshore (en tierra); el costo de instalar un cable marino de 150 MW no difiere mucho del de instalar un cable de 10 MW, donde el límite superior viene marcado por el número de emplazamientos que puedan acondicionarse utilizando un número limitado de buques y grúas.

Existen estudios económicos–ingenieriles que demuestran que el costo energético por kilovatio/hora de electricidad proveniente del viento es el mismo que el de las centrales térmicas a carbón equipadas con dispositivos de lavados de humos.

Impacto ambiental

La instalación de parques eólicos en el medio marino puede conllevar efectos significativos sobre el medio ambiente. En las fases 1 y 2 (ver cuadro anterior) se deben analizar las normativas y diagnosticar el impacto sobre el medio ambiente pre-evaluando los efectos potenciales sobre el medio físico y sobre el medio biótico.

Los efectos potenciales sobre el medio físico podrían deberse a agresiones al fondo marino, provocar turbidez en el agua en la fase de construcción y vertidos sobre el agua durante la fase de operación y posibles emisiones de gases a la atmósfera y la alteración del paisaje debido a la intromisión de las plataformas y

equipamientos; en cuanto al ruido se ha ido transformando en problema secundario ya que los niveles de contaminación sonora en aerogeneradores se han mitigado debido a las mejoras significativas en el diseño de las palas giratorias. Los efectos potenciales sobre el medio biótico podrían deberse a la degradación de ecosistemas en el medio sumergido durante la fase de construcción y a la alteración a especies de la fauna marina como de las especies ornitológicas.

Conclusiones

- Chile se enfrenta, fatalmente, a un déficit de energía y es preciso que la búsqueda de solución es una responsabilidad de Estado y la energía eólica marina puede ser una buena alternativa, junto con la energía mareomotriz; aunque en el presente producir este tipo de energía sea muy oneroso, ello no impide la generación de políticas de inversión ecológica y de visión de mediano plazo para lograr una sustentabilidad energética amigable con el medio ambiente.
- Proyectando en el tiempo, la energía eólica se puede transformar en la menos cara de las energías renovables existentes, dado que los contenidos energéticos del viento varían con el cubo (tercera potencia) de la velocidad del viento. La economía de la energía eólica dependerá bastante de cuánto viento exista en el emplazamiento, produciéndose economías de escala en la construcción de parques eólicos de muchas turbinas.
- Una dirigencia de Estado con voluntad debiera crear políticas ambientales para que Chile pueda alcanzar un desarrollo energético sustentable y, así, generar y aumentar la producción de energía limpia a través del fomento de inversiones privadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *European Wind Energy Association.* "European offshore wind industry". 2012.
2. *Fernández Salgado, José María.* "Guía completa de la energía eólica. Ed. Amira. Madrid. 2011.
3. *Heier, Siegfried.* "Grid integration of wind energy conversion systems". Ed. John Wiley & Sons Ltd. 2010.
4. *National Renewable Energy Laboratory.* "Large scale offshore wind power in the United States". 2010.
5. *Spera, D.A.* "Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering". Fairfield, NJ: American Society of Mechanical Engineers. 1994.
6. *Sygalés Torres, Jordi.* "Diseño, cálculo y verificación de un aerogenerador marino con fondeo TLP" Universitat Politècnica de Catalunya. 2011.