

# Sí, extender la vida útil de los aerogeneradores es posible

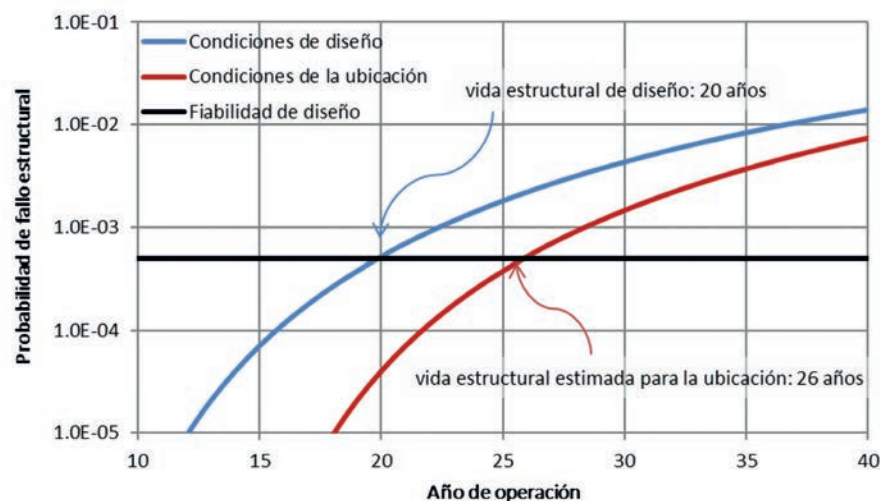
La operación de aerogeneradores más allá de su vida de diseño presenta tanto oportunidades como riesgos. La oportunidad de obtener ingresos adicionales a través de años adicionales de operación es fácil de reconocer. Sin embargo, es difícil predecir la disponibilidad a largo plazo, así como los costes de desmantelamiento o repotenciación para un proyecto específico.

**RICARD BUILS**  
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO DE  
CARGAS DE DNV GL

**A**demás, hay riesgos en operar un proyecto más allá de su vida de diseño: la incertidumbre en el coste de inspecciones y monitorización adicionales y necesarias, la vulnerabilidad de la cadena de suministro, la disponibilidad de asistencia técnica por parte del fabricante del equipo, incertidumbre respecto a los términos de futuros contratos de compra-venta de energía o de interconexión a red, y la obtención de permisos de operación.

Dado que la fiabilidad estructural disminuye con el tiempo de operación, si las turbinas siguen operando más allá de su vida de diseño alcanzarán un nivel de fiabilidad inferior al previsto en el diseño certificado. Aunque pueden pasar muchos años antes de que esto suceda, continuar operando expondría a los propietarios y a otras partes afectadas a riesgos asociados con la posibilidad de fallos catastróficos, daños personales, materiales y ambientales, e impacto en la opinión pública. Mientras no se elabore normativa al respecto, corresponde a los propietarios y a las partes interesadas gestionar las decisiones del ciclo de vida de un proyecto, ponderando los potenciales beneficios frente a los riesgos mayores.

Los aerogeneradores son estructuras particulares: el número y la variabilidad de los ciclos de fatiga que experimentan en su vida útil son significativamente mayores que los de la mayoría de estructuras, como edificios o puentes. Funcionan en un entorno altamente variable e impredecible, donde las fuerzas que ejerce el viento sobre la estructura cambian continuamente, lo cual difiere de otras máquinas rotativas, como las turbinas de gas, que experimentan cargas cíclicas predecibles en un ambiente controlado. Al mismo tiempo, las



Ejemplo de probabilidad de fallo estructural – vida estructural estimada para una ubicación y vida estructural de diseño.

consecuencias del fallo de un aerogenerador son cuantitativa y cualitativamente diferentes a la de una estructura que protege la vida humana (como por ejemplo un avión o edificio), o una estructura que protege el medio ambiente o que aporta un valor diferente a la sociedad (como una plataforma petrolífera en alta mar). Se pueden aprender lecciones de todos estos sectores, dado que ya se han enfrentado a la cuestión de la longevidad estructural, mientras que la industria eólica es todavía relativamente joven.

Desafortunadamente, hay pocos datos empíricos sobre cuánto tiempo puede perdurar un aerogenerador en campo, a excepción de una pequeña población de aerogeneradores antiguos (anteriores al año 2000) que generalmente no fueron diseñados ni operados de manera similar a los actuales aerogeneradores de escala megavatio. Por lo tanto, las experiencias con aquellos aerogeneradores más pequeños no pueden trasladarse directamente. A medida que los aerogeneradores moder-

nos se operen más allá de su vida de diseño, el sector eólico podrá validar y calibrar métodos analíticos para calcular la vida útil. Mientras tanto, las evaluaciones de la vida útil tendrán asociadas determinadas incertidumbres imposible de reducir.

En estos momentos, el mejor método para mitigar el riesgo de un fallo catastrófico es calcular la vida útil esperada, monitorizar la integridad estructural a través de inspecciones, aplicar estrategias de operación apropiadas, y finalmente desmantelar o repotenciar.

## Vida útil estructural de diseño

La vida útil estructural de diseño es el número de años de funcionamiento tras los que se espera que el nivel de fiabilidad estructural alcanzado caiga por debajo del nivel de fiabilidad de diseño, dadas las condiciones de diseño especificadas. La vida de diseño estructural de los aerogeneradores se define en varias normas como un valor mínimo de 20 años. Dicho de otra manera, si una turbina eólica está diseñada para

un nivel de fiabilidad expresado como la probabilidad anual de fallo estructural por fatiga de cinco entre diez mil ( $5 \times 10^{-4}$ ), entonces la vida útil de diseño es el número de años tras los que la probabilidad anual esperada de fallo alcanzaría  $5 \times 10^{-4}$ , si las condiciones del emplazamiento reflejaran perfectamente las condiciones de diseño.

Debido a que ninguna ubicación se ajusta perfectamente a las condiciones de viento correspondientes a la clase de aerogenerador, es conveniente definir el término de vida útil estructural del emplazamiento para representar el número calculado de años de funcionamiento tras los que se alcanza el nivel de fiabilidad estructural de diseño bajo condiciones del lugar. En otras palabras, la vida útil estructural del emplazamiento es el número de años que puede operar un aerogenerador en condiciones de viento específicas del lugar tras los que el daño por fatiga esperado en los componentes estructurales superará el daño por fatiga que se esperaría bajo condiciones de viento y durante la vida útil de diseño. Esto se ilustra en la siguiente figura.

### Extensión de la vida útil operativa

Para extender la vida útil operativa, es necesario realizar una serie de acciones que permitan una operación segura y continuada más allá de la vida útil de diseño. Esto se puede lograr junto con la evaluación de la vida útil estructural del lugar a través de una combinación de las siguientes estrategias:

- Implementar modificaciones de operación o de control para reducir las cargas estructurales
- Renovar o reemplazar los componentes estructurales (puede no ser posible para todos los componentes)
- Implementar inspecciones basadas en el riesgo, o instrumentación para monitorizar la condición de los componentes y predecir su fallo, y procediendo a reparar, reemplazar o desmantelar según las observaciones.

A juicio de DNV GL, es viable en muchos casos prolongar económicamente la vida útil de un proyecto eólico más allá de la vida útil de diseño estructural, siempre y cuando se consideren debidamente los siguientes aspectos:

1. **Análisis de cargas:** Se debe realizar un análisis de cargas específico para el emplazamiento para evaluar las cargas

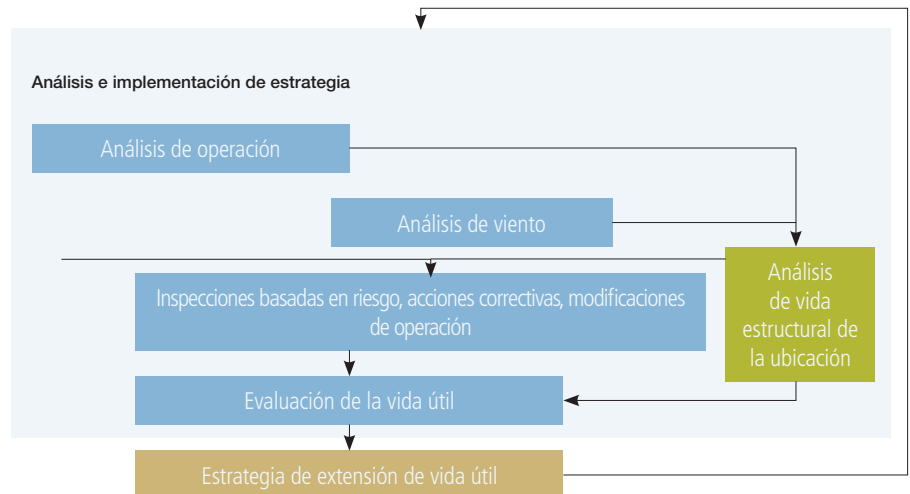


Diagrama de pasos a seguir para la extensión de vida útil.

a fatiga adicionales asociadas con la operación extendida y respecto a la resistencia de diseño de los componentes estructurales, así como para establecer los planes de inspección estructural.

2. **Cimentaciones:** El diseño y construcción de la cimentación del aerogenerador debe ser revisado para asegurar que tenga la resistencia adecuada para los años adicionales de operación previstos y para identificar requisitos de monitorización e inspección durante las operaciones extendidas.
3. **Inspecciones:** Se debe desarrollar un plan de inspección que contemple el aumento de riesgo. El plan debe incluir una campaña de inspección estructural dirigida a identificar indicios tempranos de fallo estructural (tales como grietas) o debilitamiento a través de deformación o corrosión.
4. **Infraestructura eléctrica:** El diseño y el estado de la infraestructura eléctrica deben ser revisados para asegurar que el sistema es capaz de cumplir con los requisitos para operación extendida.
5. **Elementos no estructurales:** Las tasas de fallo de los componentes reemplazables pueden asumirse constantes en el tiempo o que sigan una curva de Weibull. Deben establecerse contingencias y planes para mitigar los riesgos que pueda haber en la cadena de suministro de una determinada tecnología de aerogenerador.

Estos pasos deben ser dados con la suficiente antelación en la vida de un proyecto para permitir las medidas correctivas que podrían ser necesarias a fin de lograr la

vida operativa deseada. Los pasos generales se describen en la Figura siguiente:

### Conclusiones

En general, es posible prolongar con seguridad la vida útil de un aerogenerador, pero existen importantes incertidumbres y riesgos asociados al hacerlo. Las estructuras de un aerogenerador están sometidas a cargas a fatiga y el daño estructural se acumula con el tiempo. En el diseño se incorporan factores de seguridad, por lo que, en promedio, la probabilidad de fallo estructural al final de la vida de diseño es baja. Sin embargo, para cualquier aerogenerador individual, esta probabilidad puede estar por encima o por debajo de ese nivel promedio o nominal y continuará aumentando según continua su operación.

Deberán pasar varios años para que la industria eólica consiga acumular datos suficientes acerca de fallos estructurales de proyectos actualmente en operación en los que apoyar predicciones precisas de la vida útil de cualquier tipo de aerogenerador y ubicación específica. Mientras tanto, para evaluar la posibilidad de lograr una vida operativa extendida es necesario realizar un análisis de la vida operativa, incluyendo un análisis de incertidumbre, el desarrollo de casos de estrés para el modelo financiero, la planificación y ejecución de inspecciones estructurales, tales como inspecciones basadas en el riesgo (RBI), la evaluación de sistemas de supervisión de estado (CMS) y asesoría en mejores prácticas de adquisición y administración de datos, la supervisión de operaciones, y el desarrollo de una estrategia para una vida útil extendida ◀