



Viabilidad de la reutilización de aerogeneradores en el noroeste español

Feasibility of the reusing of wind turbines in northwest Spain

Rafael María Carreño-Morales, Alberto Comesaña-Campos, José Benito Bouza-Rodríguez, Luis González-Piñeiro

Universidad de Vigo. Galicia, España.

E-mail: rafaelcarreno@uvigo.es, acomesana@uvigo.es, jbouza@uvigo.es, lpineiro@uvigo.es

Recibido: 29/04/2013

Aprobado: 21/05/2015

RESUMEN

La energía eólica es un sistema renovable de generación de energía eléctrica con gran potencial de uso, que constituye un sector económico con buenas perspectivas de crecimiento. El desarrollo de nuevos modelos de aerogeneradores implica que la vida útil de las máquinas sea limitada, pues la potencia que suministra la turbina se considera pequeña para el estado de la tecnología. Esto supone sustituir los aerogeneradores obsoletos para adecuar la producción de energía a una demanda creciente. Pero, estos aerogeneradores considerados obsoletos poseen buenas prestaciones para ser reutilizados en instalaciones con una demanda energética adecuada. Una oportunidad para su reutilización son las instalaciones aisladas rurales del noroeste español. Este artículo estudia la viabilidad del empleo de aerogeneradores obsoletos para suplir las necesidades energéticas de instalaciones aisladas. Se utilizaron métodos para facilitar el proceso de toma de decisiones y se hizo el estudio económico. Los resultados demostraron que es una inversión viable.

Palabras clave: aerogeneradores, reutilización, instalaciones aisladas, viabilidad.

ABSTRACT

Wind energy is a renewable system of power generation with great potential to be used and it is a sector with good growth prospects. The development of new wind turbine models assumed that the lifetime of machines is constrained, as the power supplied by the turbine is considered small for the state of wind technology. This involves replacing obsolete turbines to adjust production of wind energy to a growing demand. However, these turbines which are considered obsolete still have good performance for reuse in areas with adequate energy demand. An opportunity to reuse these machines is the isolated rural areas which are typical in northwestern Spain. In this paper is studied the feasibility of obsolete wind turbines to meet the energy needs of isolated rural areas. The methods exposed were used to facilitate the decision making process. We studied the economic feasibility and the results demonstrated that it is a viable investment.

Key words: wind turbines, reuse, isolated areas, feasibility.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eólica constituye uno de los sistemas renovables de generación de energía eléctrica más usados. Los aerogeneradores forman parte del paisaje en la orografía española y su empleo ha ido aumentando casi en consonancia con un mayor rendimiento técnico de las máquinas. El desarrollo de nuevos modelos de aerogeneradores de eje horizontal puede limitar su vida útil a unos 15 años, período en el que la potencia suministrada por la turbina será ampliamente superada por la potencia de las nuevas generaciones de turbinas. Existen turbinas eólicas que suministran potencias del orden de los megavatios frente a las turbinas empleadas en los primeros parques que suministraban potencias bastante menores. Esto provoca la necesidad de sustituir algunos aerogeneradores para adecuar la producción de energía eólica a una demanda cada vez más creciente. Sin embargo, los aerogeneradores que se consideran obsoletos para su uso industrial todavía poseen prestaciones para su reutilización en el suministro eléctrico de instalaciones aisladas. Por tanto, el objetivo de este artículo se centra en estudiar la viabilidad de instalar turbinas eólicas obsoletas para suplir las necesidades energéticas en núcleos aislados del noroeste de España. Se pretende determinar si el proyecto de reutilización de aerogeneradores es factible desde una perspectiva económica. Los resultados derivan del análisis de la viabilidad de la reutilización de aerogeneradores y con ello, todos los posibles beneficios que acarrearía su puesta en marcha.

El desarrollo de turbinas cada vez de mayor potencia se debe a la consideración de la energía eólica como una importante alternativa sostenible para la generación de energía eléctrica [1]. En 1979, Kuriant, Vestas, Nordtank y Bonus fueron los primeros fabricantes que comenzaron a producir turbinas de viento. Hoy aquellas turbinas, con capacidades de hasta 30 kilovatios (kW), resultan pequeñas. Desde entonces, la talla de las turbinas ha crecido enormemente, lo que ha permitido una expansión de la producción a muchos países. En la actualidad, los principales fabricantes suministran turbinas eólicas de eje horizontal cuyos rangos de potencia varían entre 1 y 3 megavatios (MW) y con controles de potencia que corrigen los fallos de las turbinas anteriores. La fabricación de turbinas eólicas crece y mejora, habiendo proyectadas turbinas de 8 MW. Al introducir paulatinamente nuevas turbinas de mayor potencia y rendimiento se produce un desplazamiento de las antiguas turbinas, así como un stock creciente de las mismas. Este *stock* sugiere una posible reutilización de las mismas para buscar su uso en núcleos aislados en los que la red eléctrica no consigue cubrir las necesidades de suministro eléctrico.

Las instalaciones eléctricas aisladas producen electricidad en lugares de difícil acceso para la red eléctrica convencional o sirven como apoyo para pequeñas industrias y viviendas. Se caracterizan por demandas pequeñas y discontinuas de electricidad que pueden ser cubiertas por recursos renovables. Estos núcleos de asentamientos humanos, ya sea como viviendas o como pequeñas industrias agrícolas, se caracterizan por el aislamiento y por una escasez de vías de comunicación con el resto de la población.

Aunque son instalaciones propicias para las energías renovables, existen numerosos estudios, como el realizado por *Forum for Energy and Development*, en los que se señala la escasa penetración de los recursos renovables en la sustentabilidad eléctrica de los núcleos aislados [2]. Dichos estudios también concluyen que, dentro de la cuota de energías renovables empleadas para el suministro aislado de electricidad, la energía eólica y la fotovoltaica son las más demandadas. Quizá por ello se pueden encontrar algunos trabajos que analizan la viabilidad de la energía eólica en núcleos aislados. En el trabajo de Realpe y otros se analiza el potencial de la energía eléctrica generada por el viento en islas y regiones remotas de Colombia [3]. Estos autores utilizan el criterio del período de recuperación o *pay-back* para determinar la viabilidad económica de la construcción de parques eólicos en núcleos aislados. El presente trabajo se centra en la posibilidad de reutilizar turbinas eólicas en núcleos aislados, sin conexión a la red eléctrica de distribución, en la región noroeste de España, esto es, las comunidades autónomas de Asturias, Galicia y las provincias de León y Zamora, en la comunidad de Castilla y León. La estructura de su poblamiento se caracteriza por la dispersión de los asentamientos humanos, lo cual otorga a esta región uno de los mayores índices de densidad de población rural. En el nomenclátor de España se recogen algunos datos significativos. De las 61578 entidades o núcleos de población existentes en España, más del 60% pertenecen a la región

VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES EN EL NOROESTE ESPAÑOL

noroeste¹. Sin embargo, la población del noroeste supone, aproximadamente, el 10% de la población de España. Asimismo, la superficie que ocupa esta región es poco más del 13% de la superficie total de España [4]. Si la reutilización de turbinas obsoletas resultara viable, redundaría en un valor social positivo para la población de la región, debido al impacto social que supondría abaratar el coste de los equipos, lo cual se podría aplicar en otras zonas [5].

II. MÉTODO

La reutilización de aerogeneradores, en principio, no representa tanto un desafío tecnológico como uno logístico. Por todo ello, la metodología a seguir debe primar el funcionamiento de la instalación y buscar un aceptable rendimiento pero sin ambicionar elevadas eficiencias comerciales. Previamente, se llevaron a cabo una serie de tareas específicas que son:

- Determinar qué tipos de turbinas pueden alternar su funcionamiento entre una conexión a red y un funcionamiento aislado.
- Observar las características de la nueva instalación aislada, mediante la exposición de los sistemas habituales de producción de energía eléctrica aislada de la red.
- Valorar las necesidades de material y nuevos dispositivos.

Estas tareas pretenden arrojar luz sobre la factibilidad de la reutilización de aerogeneradores para determinar su viabilidad económica. Son planteadas, en última instancia, con el objeto de suplir las necesidades energéticas de núcleos aislados aprovechando los aerogeneradores obsoletos que se sustituyen en los parques eólicos. Entonces, parece lógico plantear si ese objeto es realizable. Para ello se tendrán en cuenta consideraciones técnicas, logísticas y económicas.

Desarrollo de la metodología

Para poder llevar a cabo el objetivo propuesto se propone la siguiente metodología de actuación [6].

- Seleccionar los generadores que puedan ser reutilizados en función de sus características técnicas y de la demanda eléctrica.
- Evaluar todos los elementos del funcionamiento conectado a red del aerogenerador, susceptibles de ser reutilizados.
- Plantear la instalación aislada, eligiendo los aerogeneradores adecuados.
- Evaluar los aspectos técnicos: sistemas híbridos, sistemas de almacenamiento, regulación y electrónica de potencia.
- Planificar y evaluar el proceso logístico: transporte, almacenamiento y administración.
- Estudiar la viabilidad de la inversión, esto es, el análisis económico y la evaluación del proyecto.

Los cuatro primeros puntos constituyen la llamada etapa de diseño y planteamiento de la instalación. El penúltimo punto es la etapa de planeamiento de la logística. El último de los puntos se corresponde con la etapa de análisis de la inversión, la cual es el principal objeto de este artículo. Este trabajo se centra en el análisis económico de la reutilización de aerogeneradores y no en la elección de otras alternativas tecnológicas [7]. Por tanto, la metodología propuesta se puede desarrollar en las tres etapas anteriores, ya que se corresponden respectivamente con la selección de datos, la evaluación de los recursos y la interpretación del resultado [8]. Es importante tener en cuenta que el proceso es secuencial. Se debe estudiar con detalle cada una de las etapas a considerar, para cada proyecto de instalación aislada.

La realización de un proyecto de reutilización de aerogeneradores, de acuerdo con la metodología propuesta, requiere analizar cada una de las etapas identificadas en el párrafo anterior, es decir:

1. Diseño y planteamiento de la instalación, para ver si tiene viabilidad técnica.
2. Planeamiento de la logística, etapa fundamental pues los costes logísticos suponen cerca del 50% del coste total.
3. Análisis de la inversión, donde se determina la viabilidad económica del proyecto para decidir su puesta en marcha.

Diseño y planteamiento de la instalación

¹ RUIZ, F. *Población de España - datos y mapas*, [en línea], 2011 [consulta: 2012-11-06]. Disponible en: <<http://alarcos.inf-cr.uclm.es/per/fruiz/pobesp/territorios.htm#aut> >

En esta etapa existen dos procesos de toma de decisiones. En el momento previo al planteamiento de la instalación aislada, pues depende de la tipología y el estado de los aerogeneradores y demás componentes de la instalación conectada a la red. La segunda decisión es después del planteamiento de la instalación aislada. Una vez que la instalación ha sido dimensionada hay que comprobar que las máquinas y sus elementos se ajustan a los requerimientos mínimos de producción necesarios. Se exponen los aspectos técnicos relativos a la tipología de los sistemas eólicos aislados, así como las características fundamentales que se deben considerar en las máquinas. Antes de reutilizar los aerogeneradores, hay que decidir qué sistema eólico aislado es el más adecuado para un proyecto determinado. Existen numerosas disposiciones de sistemas eólicos aislados que se adaptan a distintas necesidades, tipos de generadores y la inclusión o no de algún sistema de almacenamiento energético que favorezca y homogenice el funcionamiento de la instalación[9].

Los sistemas más usuales son:

- sistema aislado sin almacenamiento (poco fiables),
- sistema aislado mixto (combina recursos para suplir las carencias de viento)
- sistema aislado síncrono (con sistemas temporales de almacenamiento de energía).

El sistema escogido dependerá de la demanda que se pretenda satisfacer, del estado del generador, del régimen de viento, de condicionantes económicos y del impacto medioambiental. Los inconvenientes técnicos que se presentan pueden ser de muy diferente índole, lo cual requiere profundizar en los fundamentos del funcionamiento del aerogenerador para adaptarlo a las necesidades específicas. Las observaciones y recomendaciones relativas a los aspectos técnicos de los aerogeneradores se pueden encontrar en la Guía de la Asociación Danesa de la Industria Eólica y en el libro de Nelson sobre energía eólica [10, 11]. De forma muy resumida, las recomendaciones de carácter técnico versan principalmente sobre la potencia útil obtenida del aire y el número, forma y sección de las palas eólicas. En la figura 1 se muestra un esquema del flujo de trabajo durante la etapa de diseño y planteamiento de la instalación.

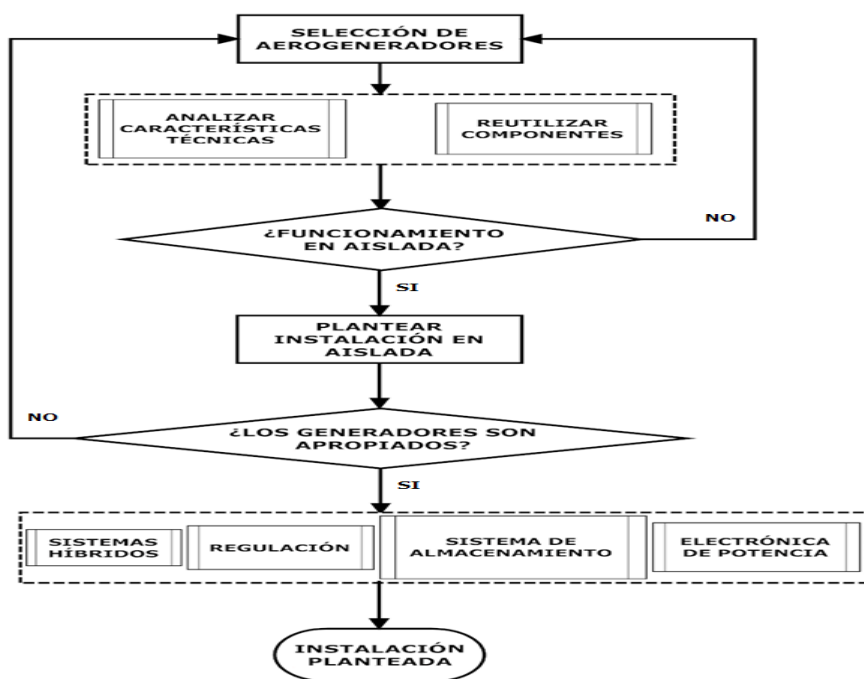


Figura 1. Esquema del flujo de

trabajo para la primera etapa

VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES EN EL NOROESTE ESPAÑOL

Planeamiento de la logística: gestión del flujo de material

La logística puede definirse como el conjunto de actividades coordinadas que realiza una organización para gestionar racionalmente los flujos material, informativo y financiero desde donde se originan hasta donde se necesitan. Su objetivo es proveer al cliente de los productos o servicios solicitados, con la calidad pedida y en el plazo demandado, todo ello con el menor coste posible y respetando el medio ambiente[12]. Cuando se toma la decisión de prescindir de un aerogenerador en un parque eólico, para ser sustituido por otro de prestaciones superiores, se debe tener claro cuál va a ser el proceso logístico que influirá en la correcta reutilización del mismo. Aunque influye el tipo de aerogenerador que se pretenda reutilizar, se pueden establecer unos patrones de actuación básicos aplicables a todas las máquinas. El proceso mostrado a continuación es genérico, y en cada caso, habrá que determinar las necesidades específicas. Todo proceso logístico implica dos fases básicas:

1) la gestión coordinada del flujo de material a través de una red de transportes y centros de almacenaje.

2) la administración y gestión de los recursos necesarios para realizar el proyecto.

Así pues, los elementos logísticos que deben considerarse desde que los aerogeneradores usados se desmontan hasta que se almacenan para su ulterior reutilización son [13]:

- Flujos material, informativo y financiero, desde los parques eólicos hasta el centro de almacenaje.
- Gestión de aprovisionamiento, esto es, de la adquisición y acopio de materiales desde los proveedores hasta el almacén.
- Gestión de almacenes. Efectúa la previsión de espacio en función de las características técnicas y dimensionales de los aerogeneradores. Gestiona los movimientos internos y el mantenimiento para garantizar un buen estado de conservación.
- Gestión de los procesos de transformación. Es necesaria para adaptar los aerogeneradores a su nueva ubicación y asegurar su correcta reutilización.
- Gestión comercial. Es esencial para anticiparse a las necesidades de los clientes y suministrar el producto que las satisfaga.
- Gestión de la distribución física. Se encarga del transporte de las piezas al lugar donde se instalarán en un sistema aislado.
- Gestión integral de la organización. Abarca aspectos tanto estratégicos como tácticos tales como la gestión de la calidad, la gestión de los recursos humanos o la gestión económica y financiera.

Las operaciones mencionadas serán gestionadas en función de las necesidades de cada caso. Parece evidente que se deberá elegir un almacén con las características apropiadas, tanto dimensionales como funcionales, que asegure y preserve todas las piezas antes de su distribución final. En particular, para la recepción de componentes en el almacén, se debe tener en cuenta [14]:

- Almacenaje de residuos y productos químicos.
- Recepción y almacenaje de grandes componentes.
- Inspección de calidad de componentes principales.
- Control de recepción técnica de material.

Quizá los mayores inconvenientes de la reutilización de aerogeneradores se refieren a la logística asociada al propio desmontaje y montaje de los mismos. Por ser máquinas diseñadas para instalaciones conectadas a una red, su tamaño y características han sido optimizados para este uso. La gran mayoría de las instalaciones eólicas que suministran energía eléctrica se hallan situadas en lugares apartados, como cimas y laderas de montes. En estas zonas la actividad del viento suele ser continua y podría asegurarse un funcionamiento estable de la instalación. Sin embargo, la especial orografía de estos enclaves resulta un *handicap* en el proyecto de reutilización. Los aerogeneradores son máquinas de gran tamaño cuyo desmontaje es complejo y su transporte no resulta fácil. Existen otras dificultades relativas a la reutilización de los equipos electrónicos.

Por ello, el proceso logístico debe contemplar todos los aspectos y ser diseñado con atención, planificando cuidadosamente las rutas de transporte y las instalaciones de almacenaje donde permanecerán hasta su ulterior reutilización los aerogeneradores desmontados. Se debe contar con un espacio adecuado donde efectuar el mantenimiento de los componentes y los reajustes necesarios. Se tendrá en cuenta aspectos del flujo logístico relativos a la duración del ciclo de entrega y su grado de cumplimiento, tramitación de pedidos, costes de transporte y almacenamiento, así

como el nivel de servicio deseado y necesario [15]. En la figura 2 se presenta el esquema del flujo logístico.

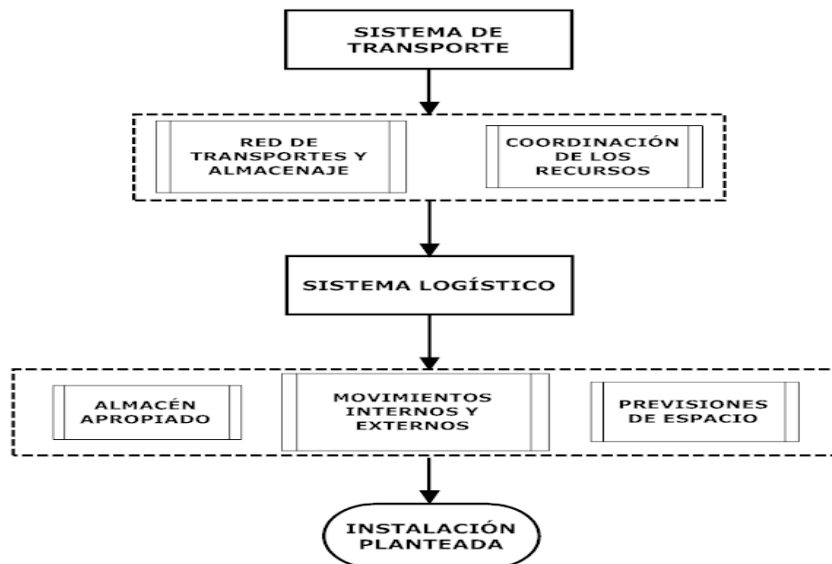


Figura 2. Flujo de trabajo durante la actividad logística

Análisis de la inversión

En esta etapa se realiza el estudio de la viabilidad económica del proyecto de inversión. La reutilización de aerogeneradores es una inversión desde el momento en que se pretende destinar un capital a la actividad empresarial que conllevan las etapas vistas anteriormente. Supone una inversión que implica la adquisición de bienes o activos productivos, esto es, los aerogeneradores obsoletos, que se adquieren para obtener una rentabilidad en su explotación a través de su venta en instalaciones aisladas. Se examinará el estudio de viabilidad de la reutilización de aerogeneradores, como inversión de carácter productivo. Se analizará el proyecto de inversión sin utilizar el concepto contable de beneficio, ya que éste puede ser alterado en función de la política de amortizaciones que se asuma y podría provocar una decisión sesgada. Se tomará como variable básica el *cash-flow* o movimiento de fondos, que es el valor neto de la diferencia entre la suma de las entradas y la suma de las salidas de caja que genera el proyecto a lo largo de un período de tiempo.

Para el análisis de la inversión se tendrá en cuenta el horizonte temporal de la misma, lo que incluye su vida útil. Se estimarán cinco años y no se empleará el concepto de ejercicio contable, que supone un período de un año, resultando un análisis insuficiente. Ello se debe a que la mayoría de los proyectos de inversión demoran más de un año en lograr resultados positivos.

Por otro lado, en este trabajo el interés reside en un análisis económico del proyecto de inversión sin abordar los factores estratégicos, los cuales cabrían en un análisis cualitativo. No se evalúa la inversión en parques eólicos desde el punto de vista del inversor que desea maximizar el beneficio y busca la mejor alternativa. Este enfoque se puede encontrar en el trabajo de Muñoz y otros autores [15]. Al realizar el análisis económico se toma un enfoque esencialmente cuantitativo, para estudiar dos de los atributos básicos del proyecto: la liquidez y la rentabilidad. Si el análisis concluyera que el proyecto es viable, se tomaría la decisión de ponerlo en marcha. Esto implicaría la búsqueda de la mejor financiación, pero queda fuera del ámbito de este trabajo.

Técnicas de evaluación de inversiones

Para efectuar el análisis de la inversión se utilizará el *cash-flow* operativo (CFO), que se calculará para la vida útil del proyecto. Es decir, se debe determinar el movimiento de fondos, el cual se plasmará en el que se denomina cuadro de cálculo del movimiento de fondos. Una vez hallado este cálculo, se hará su evaluación económica, determinando la liquidez y la rentabilidad de la inversión.

VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES EN EL NOROESTE ESPAÑOL

La liquidez es la capacidad de una inversión para transformar en dinero sus activos sin incurrir en pérdidas, mediante una explotación normal de la actividad [16]. Para medir la liquidez se utilizará el plazo de recuperación o *pay-back* (PB), que mide el plazo de tiempo necesario para que el *cash-flow* acumulado se anule y por tanto la inversión se recupere. La rentabilidad de un proyecto de inversión es su capacidad para generar un rendimiento. Dado que lo que se pretende es medir la rentabilidad del proyecto de reutilización de aerogeneradores, pero no establecer comparaciones entre varios proyectos diferentes, se utilizará un criterio que proporcione la rentabilidad en términos absolutos. En una primera aproximación, la rentabilidad se determinará mediante el criterio del excedente bruto (EB) de la inversión. Para ello, se calculará el CFO acumulado total del proyecto de inversión. En segundo lugar, dado que el criterio del EB no tiene en cuenta el valor cronológico del dinero, se completa el estudio de la rentabilidad de la inversión mediante el método o criterio del valor actual neto (VAN). Con el criterio del VAN podría ser difícil determinar la tasa de actualización o descuento debido a factores impredecibles como la inflación o el tipo de interés, pero se obviará este inconveniente simulando distintas tasas de descuento. Se debe señalar que el método del VAN es empleado para determinar la viabilidad económica de diferentes proyectos de ingeniería [17].

III. RESULTADOS

Cálculo del movimiento de fondos

Para el cálculo del movimiento de fondos se ha estimado un presupuesto del coste de las actividades previas a la venta de un aerogenerador usado. Este coste será repercutido en el precio de venta del aerogenerador, con lo cual los ingresos por ventas incluirán la instalación del aerogenerador en un núcleo aislado. Para ello, se ha considerado una demanda inicial de diez aerogeneradores para el primer año, con una potencia media estimada de 50 kW, ya que estos generadores no afectan a la estabilidad de la red eléctrica². Dada la creciente demanda de electricidad, se estima un crecimiento de la demanda de aerogeneradores, a partir de la inicial, de un 3% anual³. El precio medio de venta se ha estimado en 15000 euros (€) por aerogenerador para la potencia media estimada. El presupuesto estimado para llevar a cabo las actividades previas a la puesta en marcha de un aerogenerador en un núcleo aislado se expone en la tabla 1.

Tabla 1. Presupuesto estimado para la puesta en marcha

Presupuesto	x 1000 €
Montante del valor residual de un aerogenerador	4
Desmontaje de aerogenerador	1
Transporte a almacén	1,4
Almacenamiento	0,3
Costes de ingeniería	2
Transporte a núcleo aislado	2
Obra civil	1,7
Legalizaciones	0,5
Total unitario	12,9
(Para 10 aerogeneradores)	129

² CUESTA, M.J.; PÉREZ-MARTÍNEZ, M.; CABRERA, J.A., «Aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW», CIEMAT, Unidad de Prospectiva y Vigilancia Tecnológica, 2008

³ RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, El Sistema Eléctrico Español. Avance del Informe 2010, Madrid, Red Eléctrica de España, 2010

Para el desmontaje de un aerogenerador se utilizan medios auxiliares que se alquilarían según necesidades. Asimismo, la mano de obra necesaria sería subcontratada de manera análoga. Tanto el transporte como el almacén necesarios serían contratados en régimen de alquiler. Con estos datos, sería posible esbozar el cálculo del movimiento de fondos necesario para el proyecto. Dicho cálculo se puede observar en la tabla 2 dada a continuación. Los datos están expresados en miles de €.

Tabla 2. Cálculo del movimiento de fondos

Conceptos (x 1000 €)	Horizonte temporal de la inversión					
	0	1	2	3	4	5
Inmovilizado intangible	4,00					
Inmovilizado material	7,50					
Fondos absorbidos	11,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ventas	0,00	278,00	286,34	294,93	303,78	312,89
Costes de operación	0,00	141,78	146,03	150,41	154,93	159,57
Gastos de explotación	0,00	129,00	132,87	136,86	140,96	145,19
Fondos generados	0,00	7,22	7,44	7,66	7,89	8,13
Movimiento de fondos anual	-11,50	7,22	7,44	7,66	7,89	8,13
Movimiento de fondos acumulado	-11,50	-4,28	3,16	10,82	18,71	26,83

Evaluación económica del proyecto

A partir de los resultados que se muestran en la tabla 2, se procederá a calcular la liquidez y la rentabilidad de la inversión. En primer lugar se determina el plazo de recuperación o PB de la inversión para tener una medida de su liquidez. Observando el cuadro de movimiento de fondos es claro comprobar que el PB es de dos años, ya que es el tiempo necesario para que el *cash-flow* acumulado se anule y por tanto, se recupere la inversión. Se ha considerado que los flujos se generan al final de cada año y no de manera uniforme para considerar una situación más desfavorable. Entonces, salvo que exista una restricción en la inversión que impusiera un plazo de recuperación inferior a dos años, se puede afirmar que la inversión presenta una liquidez muy aceptable ya que permite recuperar la inversión inicial en tan solo dos años. Otro aspecto importante es que la inversión se puede considerar de bajo riesgo económico ya que se recupera en dos años.

Según lo expuesto en un apartado anterior, se calculará el EB de la inversión como primera aproximación de la rentabilidad. Este valor está calculado en el cuadro de movimiento de fondos ya que es el *cash-flow* acumulado total. El EB del proyecto de inversión es de 26830 €, el cual representa la ganancia total del proyecto. Esto permite continuar adelante en el análisis de la inversión ya que el valor del EB es positivo. Sin embargo, hay que considerar el valor cronológico del dinero, para lo cual se determinará el VAN de la inversión⁴. El VAN es un criterio de análisis de inversiones que consiste en comparar el montante de una inversión con su movimiento de fondos actualizados a una tasa *k* de actualización. Esta tasa expresa la rentabilidad mínima que exigiría el

⁴ KETELHÖHN, W., *Inversiones*, Editorial Norma, 2004

VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES EN EL NOROESTE ESPAÑOL

inversor. Este asume la existencia de un coste de oportunidad por no utilizar el dinero del proyecto de inversión en otra alternativa más rentable. Además del riesgo inherente del proyecto, los factores que influyen en la tasa de actualización son el tipo de interés y la inflación. Debido a la dificultad de fijar una tasa k que además se mantenga constante en el tiempo, se variará el valor de k para simular diferentes escenarios. La fórmula 1 se utiliza para calcular el VAN es:

$$VAN = -CF_0 + \frac{CF_1}{1+k} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} \quad (1)$$

Si el valor del VAN es positivo la inversión es aconsejable y si el VAN es negativo, el proyecto debe rechazarse. Por último, si el valor es cero, entonces el criterio no decide. La tabla 3 muestra el VAN calculado para diferentes tasas.

Tabla 3. Valor del VAN según la tasa de actualización

k	7%	8%	9%	12%	15%	18%	21%
CF_0	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50	-11,50
CF_1	7,22	7,22	7,22	7,22	7,22	7,22	7,22
CF_2	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44
CF_3	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
CF_4	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89
CF_5	8,13	8,13	8,13	8,13	8,13	8,13	8,13
VAN	19,81	18,98	18,17	15,96	13,99	12,25	10,69

IV. DISCUSIÓN

A la vista de los resultados, la inversión es claramente aconsejable. El proyecto de reutilización de aerogeneradores aporta ventajas y utilidades para plantear su aplicación real en instalaciones aisladas. Se ha considerado un horizonte temporal de solamente cinco años para poder valorar la inversión en los primeros años del proyecto. Aunque la vida útil de un aerogenerador es de 20 años, en tan largo periodo los cambios son imprevisibles. También se han considerado unas ventas de tan solo 10 unidades para estimar un escenario poco dinámico y desfavorable desde el punto de vista comercial. En un escenario no optimista, con una rentabilidad mínima aceptable por el inversor o tasa de actualización de un 7%, el valor del VAN es comparable en magnitud con el valor del EB. Si el valor de k se eleva hasta un 21% se observa una cifra del VAN que es dos veces y media menor que el EB, aunque el VAN siempre es positivo. En el caso concreto de núcleos aislados las energías renovables aportan, por una parte, los recursos necesarios para cubrir la demanda. Por otra parte, se constituyen como un sistema respetuoso con el entorno y que garantiza una autosuficiencia energética sostenible. Por ello algunos gobiernos ven en los recursos renovables una solución fiable para prevenir el desabastecimiento eléctrico, como es el caso del programa californiano *"Emerging Renewables Buy-Down Program"*⁵. En España, el empleo y reutilización de aerogeneradores conectados a red, refuerzan e incrementan su propia potencialidad, y permiten que lugares con una deficiente electrificación dispongan de una energía que garantice su desarrollo. Asimismo, esta reutilización no repercute en su entorno ni en su sistema de subsistencia y enlaza con el desarrollo sostenible. Se contribuye a una integración armoniosa entre la vivienda y el entorno natural, al economizar el uso de materiales y producir menos desechos⁶. El noroeste español es una región

⁵ CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, *Consumer Energy Center: Emerging Renewables Program*, 2006-2013

⁶ BIRKELAND, J., *Design for Sustainability. A Sourcebook of Integrated Ecological Solutions*. 2ª edición, London, Earthscan Publications, 2002

caracterizada por un elevado número de núcleos de población dispersos, a diferencia del resto de España. Por tanto, es una región idónea para la reutilización de las máquinas usadas y los resultados muestran que el proyecto es factible. Por una parte, los problemas técnicos y logísticos existentes son susceptibles de ser resueltos y hacen posible el planteamiento de la viabilidad económica. Por otra parte, el resultado obtenido en la rentabilidad de la inversión indica que la misma es aconsejable, a pesar de haber supuesto unas condiciones poco favorables del entorno económico. Según se muestra en las tablas 1 y 2, el VAN es muy superior a cero, incluso tras haber supuesto hipótesis conservadoras para el desarrollo del mercado. Si se admite que, en condiciones normales, la vida útil de estos equipos es muy superior a la estimada como hipótesis, se refuerza la idea expuesta de una aplicación real.

V. CONCLUSIONES

1. Los problemas encontrados durante el proceso pueden considerarse bajo tres prismas fundamentales, el técnico, el logístico y el económico. Los problemas técnicos son, en realidad, problemas de adaptación de una máquina generadora de electricidad desde un funcionamiento diseñado para el suministro a la red eléctrica hasta un funcionamiento aislado. Sin embargo, el trabajo básico no varía, es decir, producir electricidad. En lo referente a los problemas logísticos, al tratarse de inconvenientes no relacionados con la parte de la generación eléctrica, deben ser abordados con un espíritu práctico y funcional. El estudio previo a un proyecto de reutilización siempre debe considerar qué máquinas se van a desmontar, por dónde se transportarán, dónde se almacenarán y, finalmente, dónde se van a volver a montar. Los problemas económicos se encauzan hacia el análisis de la viabilidad económica de la inversión planteada, el cual supone el hito clave en la toma de decisiones del proyecto. Para ello, se utilizó un criterio suficientemente conocido y validado para la selección de inversiones, el criterio del VAN, que resulta fácil de aplicar por su sencillez de cálculo. Además, es un criterio fiable porque tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo. La desventaja que podría suponer el desconocimiento de la tasa de actualización k , se puede solucionar simulando el VAN para diferentes tasas.
2. La reutilización de aerogeneradores obsoletos, dentro de instalaciones conectadas a la red de suministro para su empleo en instalaciones aisladas de generación de electricidad, tiene la suficiente potencialidad para convertirse en una actividad productiva rentable. Los problemas técnicos y logísticos derivados son resolubles con un gasto ajustado a la filosofía de la actividad. En lo referente a la viabilidad económica, los resultados obtenidos aconsejan la implementación del proyecto. 🏠

VI. REFERENCIAS

1. Xie K, Billinton R. Energy and reliability benefits of wind energy conversion systems. *Renewable Energy*. 2011;36(7):1983-8. ISSN 0960-1481. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.12.011>.
2. Lynge Jensen T. *Renewable energy on small islands*. Forum for Energy and Development. 2000. ISBN 87-90502-03-5
3. Realpe Jimenez A, Diazgranados JA, Acevedo Morantes MT. Electricity generation and wind potential assessment in regions of Colombia. *Dyna*. 2012;79(171):116-22. ISSN 0012-7353.
4. Estadística INd. *España en cifras 2013*. Instituto Nacional de Estadística: Madrid.
5. Bergues Ricardo CC, Bériz Pérez L, Griñán Villafañe P. Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba. *Tecnología Química*. 2013;33(1).
6. Ortiz O, Castells F, Sonnemann G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*. 2009;23(1):28-39. ISSN 0950-0618. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>.
7. Jiménez Navarro JP, Zubizarreta Jiménez R, Cejudo López JM. Viabilidad de una red de distribución de calor y frío. *Dyna*. 2012;87(3):305-15. ISSN 0012-7361.
8. Erlandsson M, Borg M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. *Building and Environment*. 2003;38(7):919-38. ISSN 0360-1323. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00031-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00031-3).

VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES EN EL NOROESTE ESPAÑOL

9. Association DWI. Guided Tour. 2012. [Citado 2012-10-22]. Disponible en: <http://www.windpower.org/en/knowledge.html>.
10. Nelson VC. Wind energy: renewable energy and the environment. Boca Raton FL: CRC Press; 2009. ISBN 978-1-4200-7568-7.
11. Gómez M, Acevedo J. La Logística Moderna en la Empresa. Logicuba; 2007. ISBN 978-959-7191-17-9. DOI [Citado
12. Hernández Rodríguez NR. Diseño de un modelo general para la gestión de sistemas logísticos en empresas cubanas: consideraciones teóricas y prácticas. Santiago. 2012:12. ISSN 2227-6513. DOI <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/stgo/article/view/145120114/2624>.
13. Lozano LR. Programación, organización y supervisión del aprovisionamiento y montaje de instalaciones de energía eólica. En: Paraninfo; 2012. ISBN 978-84-283-3315-3. DOI [Citado
14. Muñoz JI, Contreras J, Caamaño J, et al. A decision-making tool for project investments based on real options: the case of wind power generation. Annals of Operations Research. 2011;186(1):465-90. ISSN 1572-9338.
15. De Jaime Eslava J. Las claves del análisis económico-financiero de la empresa. ESIC; 2010. ISBN 978-84-7356-721-3.
16. Adeoti O, Ilori MO, Oyebisi TO, et al. Engineering design and economic evaluation of a family-sized biogas project in Nigeria. Technovation. 2000;20(2):103-8. ISSN 0166-4972.
17. Viloza J, Molina, Jorge, Mejía, Humberto. Viabilidad de la extracción de carbones a cielo abierto. Caso Mina La Margarita. Dyna (Medellín). 2006;73(150):143-54. ISSN 0012-7353.