

ESTUDIO SOBRE EL PROYECTO BOLO-WIND

Juan Domingo Bernal Curto

Victorino González Díaz

Mayo 2.007

El programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente dice que el océano es “el mayor colector solar del mundo” y que, por esa y otras razones, es “el mayor almacén de energía”.

PARTE I: Energía sin límite

INTRODUCCION	7
Desarrollo actual	9
ASPECTOS TECNICOS	11
Fundamento	11
Prototipos y rendimiento	12
Pruebas de potencia	12
Resistencia estructural	13
Ejemplo práctico	14
La corrosión marina	17
COSTES	19
VIABILIDAD ECONOMICA	23
Desarrollo de argumentos	23
PARTE II: Imagine	
Animación virtual	31
CONCLUSION FINAL	37

Energía sin límite.

INTRODUCCION:

Recordatorio de la situación energética en España, aplicable, en general, a otros muchos países:

Falta de fuentes de energía primarias propias.

Dependencia del petróleo. Inestabilidad política grave en los países productores, incidiendo en el precio factores muy diversos e incontrolables, sin contar con el aumento progresivo de la demanda.

Aunque el gas aumenta la producción, su suministro es concentrado y frágil. Estratégicamente no conviene depender de él.

Paralización producción nuclear desde 1993 y la decisión de desmantelarla.

Kioto: Su cumplimiento afectará a la competitividad y el empleo.

Salida billonaria de divisas.

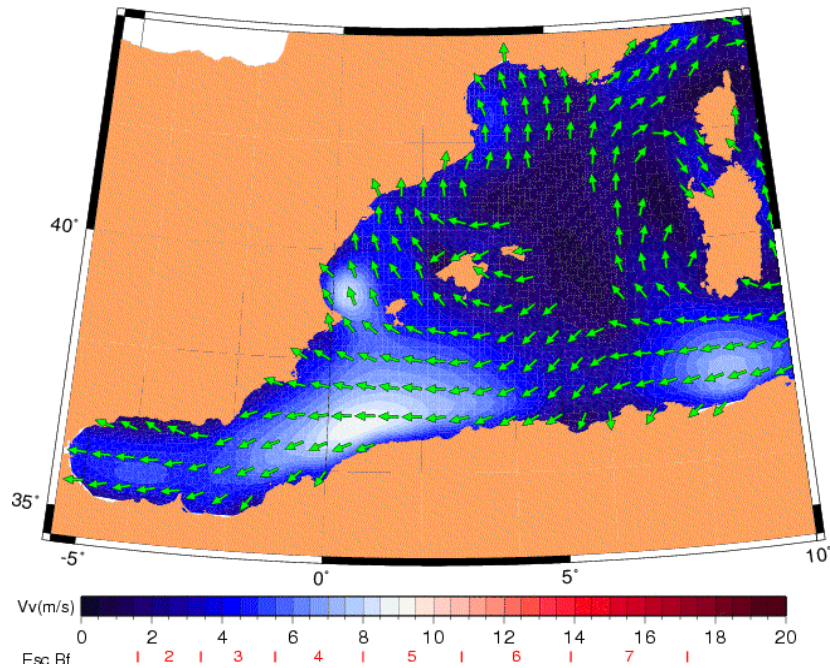
Inestabilidad en costes energéticos, que produce crisis económicas a nivel mundial. En el ámbito interno genera costes indirectos por iniciar la inflación.

Y en esta situación España probablemente sea uno de los países peor posicionados.

Qué fuentes de energía primaria tiene España para satisfacer todo el consumo nacional?

Punto de partida:

- España, es un país, que no tiene ninguna fuente de energía primaria propia, potencialmente capaz de satisfacer el actual consumo energético eléctrico.



- Es la segunda potencia eólica mundial, con dos mil kilómetros de costa, y no tiene instalado ningún generador eólico en el mar.

- La energía eólica marina se plantea como una extensión de la terrestre, ignorando, por decirlo de alguna manera, que el mar existe. Parece razonable pensar que, a medios distintos, las soluciones deberían ser distintas.

Si invertimos el planteamiento anterior:

- España, si posee una fuente de energía primaria propia, potencialmente capaz de abastecer toda la demanda, y además, es renovable.

Existe y es la energía eólica, pero no solo la que se produce en tierra. Esta energía se encuentra en todo el mar territorial y la zona económica exclusiva.

- El mar existe y por tanto el mecanismo de aprovechamiento ha de adaptarse necesariamente al medio, lo que es un inconveniente hay que convertirlo en favorable. El mar territorial español es profundo y por lo tanto un obstáculo insalvable para el

anclaje en el lecho marino. La única forma de poder acceder a toda esta superficie marina, es una instalación en superficie.

España tiene un problema energético muy grave por su dependencia exterior existiendo 600.000 km² de energía eólica offshore, que además son los más idóneos (velocidad del viento, continuidad y previsibilidad). Y si pensamos en la península ibérica en su conjunto, pasa del 1.000.000 de km².

La única fuente de energía que tiene España está en el mar, en su conjunto, y es ahí donde hay que ir a buscarla.

Desarrollo tecnológico actual.

El planteamiento de un modelo nuevo de producción eólica, frente al actual, con un desarrollo y conocimiento que está cerca de la perfección tecnológica, y con una industria dependiente en exclusiva de este modelo, produce automáticamente un rechazo inconscientemente irracional.

La producción de energía no es un problema que esté estabilizado y que la energía eólica haya aportado soluciones con más o menos éxito. El consumo seguirá aumentando porcentualmente mucho más de lo que el desarrollo eólico puede aportar. Y esto es así por el límite tecnológico al que ha llegado.

El modelo que se plantea tiene unas ventajas muy deseables. Para lograr vencer ese rechazo es imprescindible convencer de que con la evolución energética actual, es necesario un modelo nuevo que tenga gran potencial de desarrollo, para poder solucionar el problema al ritmo que éste crece. Paradójicamente, este obstáculo es la gran ventaja del modelo planteado.

El proyecto de máquina eólica offshore Bolowind que se expone a continuación, se adapta perfectamente a la inestabilidad propia de la superficie del mar: Es idónea para la instalación masiva en cualquier punto del mar, siendo la profundidad de las aguas irrelevante.

Las utilidades previstas son:

- Generación de electricidad.**
- Desalación de agua.**
- Elaboración de hidrogeno.**

Las características propias de este sistema permiten varias configuraciones: Desde un sistema de máximas prestaciones y mayor Coste de la Inversión/Kw (CoE, Coste de la energía), hasta sistemas simples en los que el CoE es inferior al de la energía eólica terrestre, y, por supuesto, a las instalaciones actuales de energía eólica offshore.

ASPECTOS Y DATOS TECNICOS

Fundamento y planteamiento:

Evitaremos llamarlo molino de viento debido a que el fundamento tiene más que ver con el funcionamiento de una noria, en éste caso eólica, que con un molino tradicional. En la noria de agua, la fuerza motriz, se produce por la diferencia de presión creada por la distinta densidad de los medios del agua (parte inferior) y aire (parte superior). En esta noria eólica, solo hay aire, por lo que se ha adaptado un sistema que consigue básicamente el mismo resultado, es decir, ataque frontal del viento y alta presión en el semicírculo superior y nula resistencia en el inferior.



En el DVD adjunto pueden observar con detalle el funcionamiento, así como imágenes de las pruebas realizadas.

Esquema de las características esenciales que pueden observarse:

- Dirección del viento y transmisión del giro en el mismo sentido. Esta característica nos permite alargar el eje, ampliando la superficie de rendimiento o ataque del viento. También permite unir varios prototipos, de tal forma, que su longitud no está limitada.

- Las cuatro parejas de mástiles soportan las palas separadamente de estas, de manera que sin afectar al rendimiento, pueden reforzarse entre ellas, formando un prisma hueco de gran resistencia, soportando todos los mástiles la fuerza ejercida sobre el que está en posición de ataque en cada momento. En la animación e imágenes del prototipo puede observarse que se han reforzado con

barras formando ángulo y con cables de acero en la parte exterior. De esta forma pueden alargarse las palas de forma fácil y con mucha resistencia., a efectos de grandes prototipos.

- Todos los elementos están anclados en dos puntos, tanto el eje principal como las palas, lo que le da mucha más resistencia, de tal forma, que soporta, perfectamente, la inercia producida al situarlo sobre una superficie inestable que oscila (plataforma flotante sobre el mar).



Prototipos y rendimiento:

Se han realizado dos prototipos:

BW-1 de 12 metros de altura (imagen izquierda), y

BW-2 (a escala) de 2 metros de altura.

El ataque del viento se produce frontalmente por fricción. Como se puede observar en el video, cada pala, gira 90° dos veces en cada vuelta, al pasar por la horizontal, lo que las sitúa en posición de ataque o máxima resistencia en la parte superior y de mínima resistencia, posición de bandera, en la inferior. El giro lo producen 8 pistones de aire (uno por cada pala) a una presión de 2 kg/cm², regulados por 8 electroválvulas.

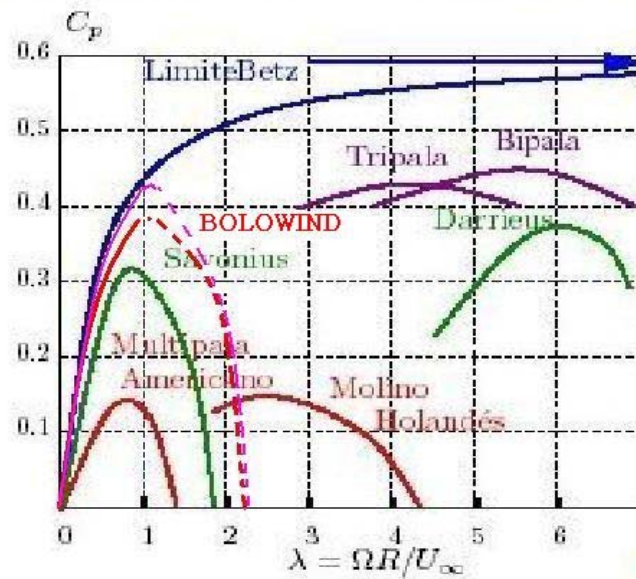
Pruebas de potencia:

Los instrumentos utilizados para determinar el rendimiento han sido: anemómetro, cuentarevoluciones y transductor de par dinámico, todos electrónicos y de gran precisión.

El Coeficiente de Potencia (Cp) obtenido es del 0,37-0,38 para un valor de lambda=1

La curva de potencia incluida en el gráfico corresponde a estos resultados desde lambda=0 hasta lambda=1.

A partir del valor lambda=1, la curva dibujada es una estimación (línea discontinua).



Dado que los datos obtenidos corresponden a las primeras pruebas realizadas y es evidente que existe un amplio margen de mejorar estos resultados, es muy posible que el sistema consiga alcanzar el C_p máximo (0,44) para el valor $\lambda=1$.

Estas pruebas ponen de manifiesto varias conclusiones:

- Bolowind girará 4 veces más despacio que el modelo tripala, con un par de torsión del eje, aproximadamente, 3,5 veces superior.

- **Este régimen de RPM es el más idóneo, ya que reduce al mínimo la fatiga y vibraciones que tiene que soportar la estructura. El aumento en el coste de la multiplicadora esta perfectamente justificado por los beneficios que produce.**

- La potencia máxima se produce en la horquilla de valores de λ entre 0,95 y 1,20.

Pruebas de resistencia estructural y vibraciones:

Con las palas en posición de bandera (parada), el prototipo ha sido sometido a vientos de 120 Km/h. (34 m/s).

El resultado ha sido excelente: Ha soportado la prueba, perfectamente, sin ninguna vibración o inestabilidad apreciable.

Diseño de un ejemplo práctico:

Se corresponde con la animación virtual incluida en DVD.

Imagen 1: Diseño

elemental de lo que sería un proyecto para mástiles de 30 metros de largo. La plataforma flotante tiene forma de catamarán, con el objeto de tener la máxima estabilidad, con una anchura de 65 metros para que puedan girar las dos unidades paralelas instaladas.

Como se puede apreciar, la primera, recibiría el viento en la parte superior y pasaría libremente por la inferior. El sentido de giro sería el contrario a las agujas de reloj. La segunda recibiría el ataque del viento en la parte inferior, girando en sentido de las agujas de reloj.

En el ejemplo teórico propuesto (400 metros de largo por 30 de longitud de mástiles, supone una superficie continua de ataque frontal del viento de 12.000 m² cada uno, siendo la suma total de 24.000 m². El área de barrido de ambas es 48.000 m².

Potencia generada: ($C_p=0,37$).

V.viento.	KW		V.viento	KW
4 m/s	696,19		10 m/s	10.878,00
5 m/s	1359,75		11 m/s	14.148,62
6 m/s	2.349,65		12 m/s	18.797,18
7 m/s	3.731,15		13 m/s	23.898,27
8 m/s	5.569,54		14 m/s	29.849,23
9 m/s	7.930,06		15 m/s	36.713,25

***Estimaciones para una velocidad de viento uniforme en el área de barrido.

Al aumentar la velocidad del viento con la altura, el rendimiento real sería superior.

Imagen 2: Vista superior. Con un giro circular, teniendo como centro el anclaje en el fondo del mar, la plataforma se orientaría, para cualquier dirección del viento, a su posición natural.

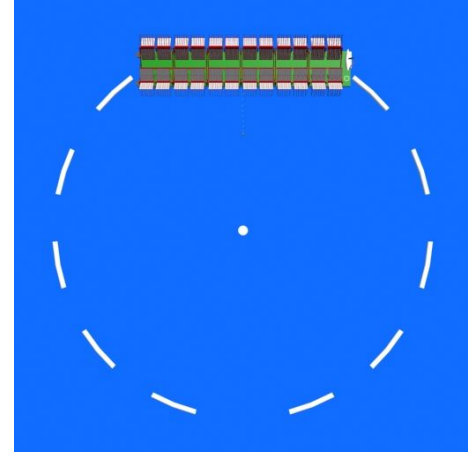


Imagen 3: Detalla la vista desde proa con los dos sistemas instalados. Se detallan varios amarres entre los distintos mástiles para dar robustez y conseguir que la fuerza soportada que recibe del ataque del viento en cada momento, sea soportada por las cuatro parejas de mástiles a la vez. Se puede apreciar, perfectamente, el contraste en la posición de las palas, de la parte superior por un lado y de la parte inferior por otro.

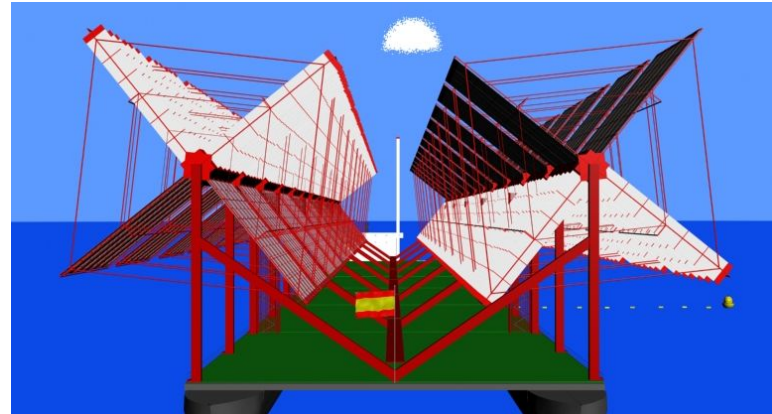


Imagen 4: En ésta imagen, el ángulo que se toma es babor, con la plataforma solamente. El anclaje que se detalla consistiría en un cable de acero sujeto firmemente al fondo del mar, y que a la distancia adecuada se dividiría en dos, formando una "Y", hasta llegar a la plataforma (color rojo). El amarillo central corresponde a la evacuación eléctrica). De esta forma la misma fuerza del viento y las olas colocarían y mantendrían la plataforma en la posición natural (posición perpendicular al viento que pasa por el centro de la circunferencia imaginaria que describiría).

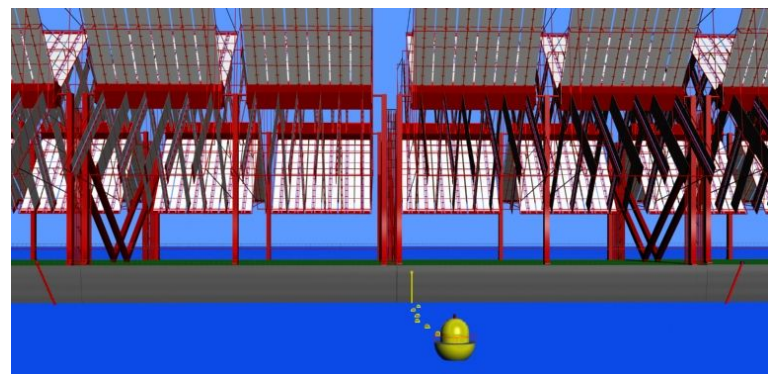
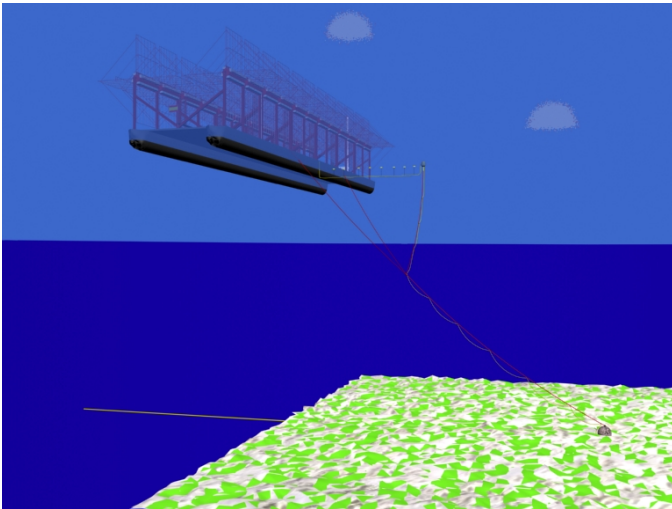


Imagen 5: Vista lateral del anclaje al fondo del mar. Los cables de sujeción rojos se dividen llegando dos a la plataforma y uno a la boya principal.



La conducción eléctrica (amarillo) llega desde tierra, pasa por el punto de sujeción, llega directamente a la boya, y posteriormente enlaza con la plataforma por el centro.

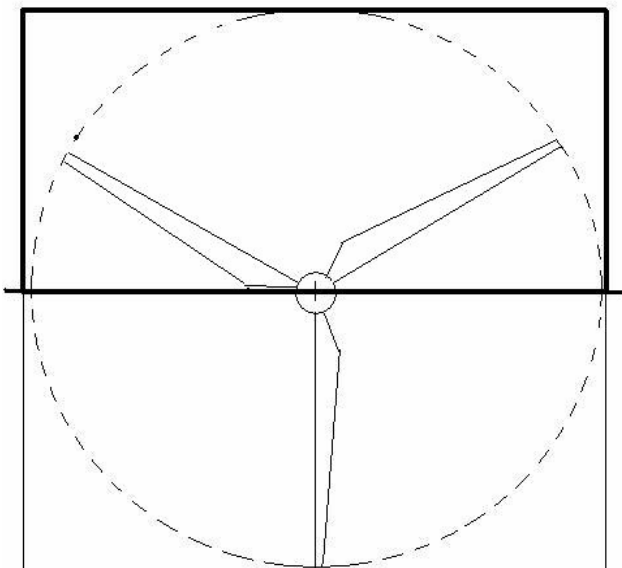


Imagen 6: Superposición de molino tripala sobre noria eólica, correspondiendo el rectángulo superior en negrita la superficie de ataque de ésta. Comparando ambas superficies el modelo propuesto incrementa la eficiencia, por un mejor aprovechamiento del espacio, en un 27,39%.

La animación incluida en el DVD adjunto intenta resumir con imágenes todos los aspectos de esta exposición, ampliando aspectos muy interesantes con el fin de proponer un planteamiento global, siendo imprescindible su visualización.

LA CORROSION: UN OBSTACULO SUPERADO.

La corrosión es un problema consustancial al medio marino, teniendo mayor incidencia en este proyecto que pretende la instalación muy lejos de la costa, y que tiene a corto plazo una incidencia directa sobre el funcionamiento del conjunto del sistema y sobre los costes, afectando a la viabilidad económica y funcional. Conscientes de su importancia, que puede condicionar la viabilidad del proyecto, es imprescindible su eliminación según se detalla a continuación:

No todas las partes expuestas a la corrosión quedan afectadas de la misma manera. El sistema propuesto permite proteger de manera efectiva los máximos elementos y sobre todo las partes más sensibles: Solo quedarían expuestas las más resistentes e imprescindibles.

Las partes que podemos proteger se dividen en dos grupos:

- Mecanismos de control de las superficies de trabajo que se sitúan alrededor del eje de giro (ordenador de control, sistema de giro, filtros y sistema de recogida).

- Todos los sistemas de control y transformación en energía eléctrica que se sitúan a partir del punto en que el eje sobrepasa sus puntos de apoyo.

Respecto de los primeros:

Para que las palas puedan efectuar el giro han de estar separadas del eje mediante una distancia que varía en función de su anchura. Se forma así un prisma imaginario cuadrado, equidistante del eje, delimitado por la anchura de las palas y con una longitud que depende de la medida del eje. En ese espacio se sitúan

holgadamente todos los mecanismos enumerados. Como elemento estructural es de color rojo (animación virtual).

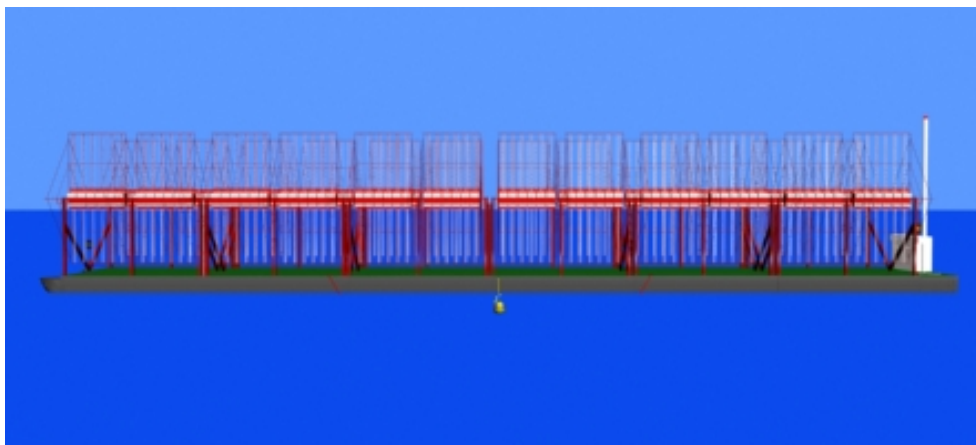
Para proteger todas estas partes con efectividad se hace necesario cerrar física y herméticamente ese prisma imaginario descrito. Llevarlo a la práctica es muy sencillo y efectivo.

En ésta zona solo quedarían expuestos las estructuras laterales de soporte, los extremos del eje con su habitáculo forrado, los mástiles, los ejes de las palas y el material de las propias palas. Serían las partes más resistentes a la corrosión y sus componentes sobradamente probados actualmente en el sector náutico.

Sobre los segundos:

El eje transmitiría el giro a través de un engranaje de codo de 90° que, mediante un eje de transmisión paralelo a la estructura de sujeción, llegaría a un habitáculo herméticamente cerrado habilitado en la bodega de la plataforma. En el se situarían todos los elementos de control y generación, perfectamente protegidos.

Ésta propuesta de solución tiene una concepción sencilla, es perfectamente viable y tremendamente efectiva, además de favorecer las labores de control y mantenimiento. **Estructuralmente también es muy positiva por desplazar el centro de gravedad a un nivel inferior, lo que le confiere mayor estabilidad.**



COSTES:

Estructura:

La estructura que soporta las palas que recogen la energía, no necesita de materiales especialmente ligeros y de alta resistencia, debido a la capacidad de reforzamiento entre las distintas partes y a que la sujeción se realiza siempre sobre dos puntos. Su coste sería muy inferior. El peso no es determinante en el rendimiento, siendo la fatiga de materiales menor. En este aspecto el Coste de la energía, CoE, sería bastante inferior a las palas del aerogenerador tripala.

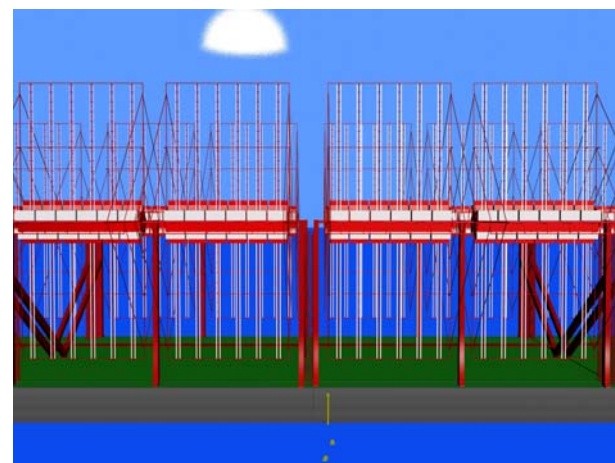
Conexión eléctrica con tierra:

El coste de la inversión en este capítulo también sería inferior. Si bien el tendido eléctrico sería más largo al alejarnos de la costa, una vez llegado a ese punto, la conexión entre varias plataformas, sería más corta por estar la potencia generada muy concentrada.

Respecto a las otras dos aplicaciones que nos parecen más interesantes: Desalación de agua y producción de hidrógeno, al tratarse de productos almacenables, no es obligada esta inversión.

Plataforma flotante:

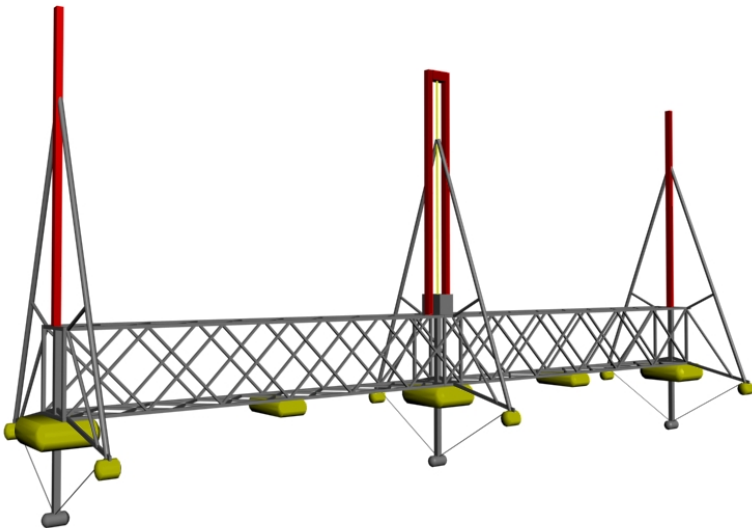
Es muy difícil determinar sin datos concretos la relación que existe entre los costes de cimentación en el mar y el coste de la plataforma, aunque parece razonable pensar que ésta pueda ser inferior en términos de CoE.



El sistema expuesto hasta momento es un planteamiento conceptual de máximas prestaciones. La estructura del sistema Bolowind permite varias opciones. En el capítulo 24 de la animación puede encontrar una propuesta en la que se reducen las prestaciones, principalmente la movilidad y su utilidad (generación de electricidad exclusivamente), reduciendo drásticamente el CoE:

- Se trata de un soporte flotante pensado para estar permanentemente anclado en el mismo emplazamiento.

- A diferencia del diseño anterior en el que priman las prestaciones, en éste se ha tenido en cuenta principalmente el Coste de la Energía.



- Se suprimen los mecanismos de recogida de las palas, simplificándose la estructura que soporta el sistema. El sistema de parada consiste en el control individual de las palas que pasan todas a posición de bandera (paralelas a la dirección

del viento).

- Se elimina uno de los sistemas paralelos, debido a que este diseño no lo permite.

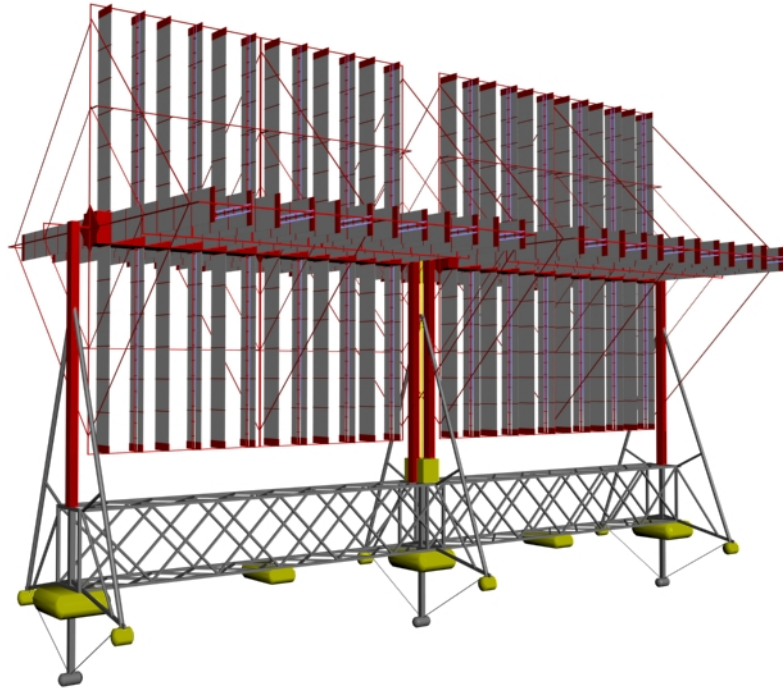
- La longitud de la pala puede aumentarse sin ninguna limitación.

Los Costes por KW son inferiores a los planteamientos actuales de eólica offshore, e incluso, de la energía eólica terrestre.

Este nuevo modelo lo proponemos con las siguientes características:

Longitud de pala: 50 metros

Longitud de la estructura: 400 metros.



Potencia generada: ($C_p=0,37$)

V.viento.	KW		V.viento	KW
4 m/s	580,16		10 m/s	9.065,00
5 m/s	1.133,13		11 m/s	12.065,52
6 m/s	1.958,04		12 m/s	15.664,32
7 m/s	3.109,30		13 m/s	19.915,81
8 m/s	4.641,28		14 m/s	24.874,36
9 m/s	6.808,39		15 m/s	30.594,38

****Estimaciones para una velocidad de viento uniforme en el área de barrido.
Al aumentar la velocidad del viento con la altura, el rendimiento real sería superior.*

Amortizaciones:

La vida útil de la plataforma ha de superar los 60 años, estimando aproximadamente 15 años para los sistemas de producción.

No obstante es necesario mencionar otros aspectos con incidencia económica significativa, que sería necesario tener en cuenta para el cálculo del Coste de la Energía. y que tienen su lugar de desarrollo en el capítulo económico de éste estudio.

VIABILIDAD ECONOMICA.

Una vez entendido el funcionamiento desarrollado en el capítulo anterior, probablemente llegaríamos a la conclusión de que, con independencia de que valoremos este planteamiento como una idea positiva, no tendría por sí suficiente entidad para ser alternativa al sistema actual: área de negocio nueva frente a negocio muy estudiado, evolucionado y consolidado.

Objetivamente tenemos un sistema, que en principio, y con los datos que tenemos a día de hoy sobre patentes, es original, tiene la capacidad de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, y por su estructura, soporta perfectamente la inercia que se produce sobre una plataforma flotante en el mar.

El capítulo anterior es fundamentalmente instrumental, se describen unos medios para conseguir un fin. **En éste apartado se determina que nos aporta ese instrumento y si constituyen argumento suficiente para ser alternativa viable:**

Instalación en el mar sin limitaciones.

Libre elección de emplazamiento.

Movilidad-Gestión dinámica.

Predicciones meteorológicas.

Flexibilidad-Calidad: El control lo es todo.

Conexión a la red eléctrica.

Efectos medioambientales.

Eliminación de gastos y mercado post venta.

Mercados especiales.

Inmediatez.

Resistencia estructural.

Estimaciones.

Instalación en el mar sin limitaciones.

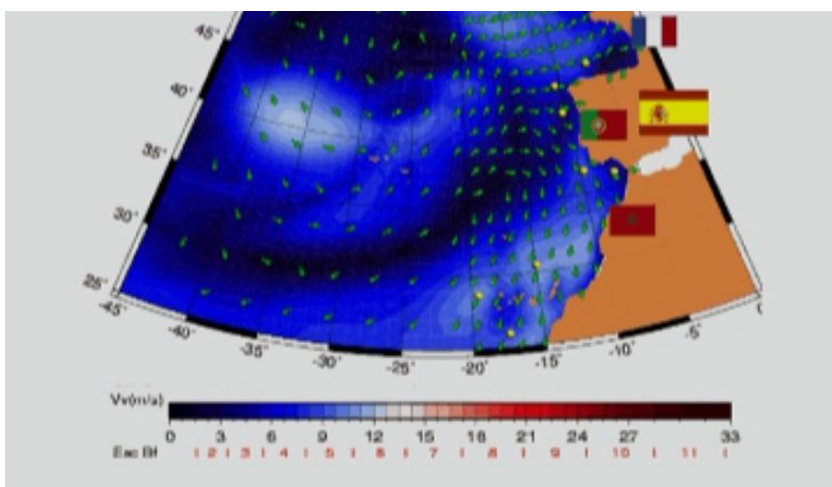
La estructura del sistema descrito esta pensada para soportar la fuerza del viento, la fuerza centrífuga del giro y la inercia que produce el movimiento propio de una superficie flotante. Es evidente y no necesita más comentario que una plataforma flotante puede ser instalada en cualquier punto del mar, sin otras limitaciones que las económicas derivadas de la lejanía. La península ibérica tiene un mar territorial y ZEE aproximado de un millón de kilómetros cuadrados. El campo aumenta ilimitadamente.

Libre elección de emplazamiento.

Aunque es una consecuencia del argumento anterior, su importancia merece una mención separada: Podemos elegir la zona más idónea, sin limitaciones, en cuanto a velocidad, continuidad de vientos y espacio.

Movilidad-gestión dinámica.

En la enumeración anterior de argumentos, éste está en negrita con la intención de remarcar su importancia y novedad: **La introducción en la producción eólica, a través de la movilidad de la plataforma y por tanto de la unidad de producción, de un modelo de gestión activa frente al carácter totalmente pasivo del modelo actual.**



Para instalar este sistema sería necesario crear previamente en los puntos del mar seleccionados varios parques de boyas. El cable de conexión a la red llegaría desde tierra hasta la boya, que a su vez estaría anclada por un cable de acero al lecho del mar. La plataforma se

acercaría hasta la boya, realizaría la conexión al cable de red y al de

sujeción. Esta operación estaría diseñada para que fuera ágil y rápida. Habría instaladas más boyas que unidades para permitir el traslado de un punto a otro.

Trasladando un sistema de producción desde una localización, durante un período en el que la velocidad media del viento es de 5 m/s., a otro punto donde esa velocidad de viento es de 10 m/s. el rendimiento se multiplica por ocho.

Acabamos de introducir la gestión activa de la energía eólica. Ésta, hoy por hoy, es la verdadera revolución de la energía eólica, el paso definitivo. Hasta ahora la gestión de la energía eólica es totalmente pasiva, a la espera que sople el viento. Las predicciones de viento solo ayudan en la previsión de la producción, pero no tienen ninguna incidencia en la producción. Con éste sistema las predicciones, que en el mar son más fáciles y fiables, contribuirían al aumento del rendimiento, y cuanto más se desarrollaran éstas, más posibilidades de una gestión productiva eficaz.

El segundo modelo propuesto, aunque tiene menos prestaciones en éste aspecto, también es móvil.

Insisto en la necesidad de una reflexión sobre las posibilidades que tendría una gestión dinámica, profesional y especializada sobre los resultados finales.

Predicciones metereológicas.

La predicción metereológica aplicada a la energía eólica facilita conocer con anterioridad la potencia que va a generar el parque eólico. Es tal su importancia que se han redoblado los esfuerzos en este campo para su aprovechamiento máximo. Pero estos modelos de predicción tienen utilidad principalmente para prevenir los problemas de conexión a la red.

La utilidad completa de ésta herramienta solo se producirá cuando aporte más producción. Es el complemento indispensable para una gestión dinámica y esto solo puede producirse en una instalación móvil.

Flexibilidad-Calidad: El control lo es todo.

Es decir, control total sobre la cantidad y calidad de la energía producida. La superficie de ataque esta fraccionada en unidades que se controlan individualmente y de forma instantánea, permitiendo eliminar picos de producción contraproducentes.

Una de las características del viento es su discontinuidad. Aunque en el mar son más continuos, también existen variaciones puntuales de viento.

Estas subidas inesperadas producen picos en la generación que originan problemas en la red y es imprescindible su eliminación o al menos reducirlos. Es un problema serio que ésta propuesta elimina totalmente, aumentando la calidad de la energía producida.

Mientras que un aerogenerador no puede controlar la energía que produce, éste modelo tiene como característica que la superficie de ataque se encuentra fraccionada en palas independientes que pueden ser controladas individualmente y de forma instantánea permitiendo el control total sobre la energía que se quiere producir en un período determinado. Este aspecto queda reflejado perfectamente en el capítulo 17/25 de la animación.

Manejando el control instantáneo de las palas, es posible generar la misma cantidad de energía con independencia de que la velocidad del viento aumente de forma temporal e imprevisible.

Parada en condiciones extremas.

Está suficientemente documentado que sistemas parecidos en sus características esenciales (tipo Savonius) tienen la ventaja de producir energía a velocidades muy bajas de viento. Por la estructura descrita en la primera parte, este prototipo supera ampliamente el límite máximo de velocidad de corte. Pero se dan circunstancias meteorológicas con velocidades de viento extremas en la que se hace necesaria la parada del sistema.

Este problema parece más importante, incluso, que la corrosión: Ésta afecta al mantenimiento y vida útil, el que se plantea en éste apartado puede destruirlo.

Intencionadamente y en parte para plantear el problema en toda su dimensión se establecieron las medidas del ejemplo. La superficie total expuesta al viento, con mayor o menor incidencia, es de 96.000 m² para la primera propuesta y 80.000 m² para la segunda.

En una situación extrema existe un riesgo elevado de que se produjera una situación incontrolable, por lo que se hace necesario implantar un sistema de protección.

Esta protección puede realizarse de dos formas según el modelo elegido:

En el modelo primero, **de máximas prestaciones**, se propone un sistema de recogida de las palas.

Aunque en el prototipo y diseños se aprecia unos ejes de palas simples, para resolver éste problema está previsto un diseño especial con varia sujeciones distribuidas en su longitud. Ésta forma de sujeción ha sido calificada como original por la Oficina Española de Patentes y Marcas, no habiendo encontrado en el Informe de Búsqueda Internacional, ningún documento considerado relevante.

Éste diseño recogería los 96.000 m² en un tiempo inferior a 2 minutos, situándolo completamente ceñido alrededor del eje central y perfectamente protegido. Esta posibilidad se encuentra perfectamente ilustrada en la animación virtual.

En el modelo **simplificado**, el sistema situaría todas las palas en un tiempo inferior a 10 segundos en posición de bandera (paralelas a la dirección del viento).

Conexión a la red eléctrica.

La energía eólica produce problemas en la red al ser vertida a ésta, originados por su imprevisibilidad y discontinuidad, de tal forma que existe discusión sobre que cantidad de energía eólica es capaz de admitir la red eléctrica nacional. Los argumentos anteriores

facilitan y permiten mejorar ese coeficiente de manera efectiva actuando sobre ellos. Este es un problema muy importante a medio plazo que este sistema puede resolver totalmente.

Efectos medioambientales.

Este proyecto elimina totalmente la problemática medioambiental y que por las repercusiones sociales es de máxima importancia. También elimina los costes indirectos asociados.

Eliminación de gastos y mercado post-venta.

La instalación en el mar elimina las rentas inmobiliarias, tasas, impuestos y arbitrios municipales. Los costes indirectos originados por retrasos en las autorizaciones, proyectos y manifestaciones sociales. También los costes derivados de las diferentes legislaciones autonómicas con obligaciones particulares.

Por último, los costes finales de retirada y reconstrucción del entorno.

Y frente a ésta situación, éste proyecto permite el retorno del capital, eliminando los costes de retirada: Es indudable que una unidad útil tendrá un valor en el mercado: Solo es necesario trasladarla.

También es posible trasladar las unidades a emplazamientos donde existe más demanda o una mayor retribución de la energía producida.

Mercados especiales.

Una de las opiniones que han repetido todos los expertos consultados respecto a la viabilidad del proyecto ha sido la relación coste de la inversión por KW instalado (Coste de la Energía, CoE).

Dada la dificultad en una exposición como ésta de determinarla, conviene hacer algunas reflexiones:

Por su estructura, éste sistema no requiere del uso de los materiales más avanzados tecnológicamente, teniendo bastante

margen en éste campo. Existen posibilidades reales de que dicho coste sea inferior a los actuales.

Por otra parte, en el supuesto de que lo superara, seguiría teniendo utilidad y vendría a cubrir determinados huecos o necesidades del mercado: Hay situaciones concretas en que la relación coste-Kw tiene un carácter residual. En estos casos lo esencial no es el coste, si no la resolución de un problema. Los ejemplos más característicos serían España y Japón: Este último con una Zona Económica Exclusiva muy extensa, con enorme potencial eólico, superpoblado, sin fuentes de energía propias, muy desarrollado y con recursos económicos suficientes. El objetivo principal sería rebajar la dependencia energética exterior, verdadero problema, siendo el CoE secundario y relativo.

El abastecimiento de zonas turísticas, islas principalmente: (Canarias y Baleares como ejemplos cercanos).

Desalinización de agua: La plataforma es lo suficientemente amplia para la instalación de una desaladora. Mar adentro la salmuera dejaría de ser un problema.

En todas éstas y otras situaciones especiales un sobrecoste significativo sería secundario si soluciona un problema satisfactoriamente.

Inmediatez:

En todo el proyecto, no hay, en principio, ningún obstáculo insalvable técnicamente, es decir, puede realizarse de forma inmediata.

Resistencia estructural:

La velocidad de corte de un aerogenerador, para evitar daños, tiene el límite máximo de 25 m/s. Por el comportamiento en la prueba descrita en el capítulo anterior, es posible conseguir generación hasta velocidades de viento de 40 m/s., (Recuérdese el régimen de RPM con el que funciona, páginas 12 y 13).

Estimaciones.

Para determinar la relación Coste de Inversión/Kw, es necesario realizar una estimación del incremento de la producción que se conseguiría en emplazamientos marinos. Dependería de dos variables: Incremento de la velocidad y de la continuidad del viento.

Un incremento en la velocidad del 60% aumentando el coeficiente de carga al 70% supondría aproximadamente multiplicar por 20 la producción en Kw/hora en cada período anual.

Resulta conveniente consultar las salidas de modelos de predicción de viento (HIRLAM) en www.inm.es (Página web del Instituto Nacional de Meteorología).

Imagine.

No es una casualidad que la animación virtual incluida en el DVD que se acompaña, comience y termine con ésta canción: intenta sugerir que cada destinatario de este trabajo estudie la propuesta, tenga una participación activa, imagine este proyecto, aportando sus ideas, sugerencias y opiniones, y que juzgue ese resultado. **Es evidente, y creo que no admite duda, que esta propuesta es muy flexible y permite otras configuraciones.** Y trata de evitar que sea una valoración basada en exclusiva en la visualización del trabajo, que es mejorable en varios aspectos, y probablemente algunos detalles no se consigan transmitir con la suficiente claridad, no afectando esto a su fundamento y funcionamiento.

Les presentamos un trabajo ambicioso que tiene dos objetivos principales: Por un lado, materializar visualmente el ejemplo incluido en la primera parte, **Energía sin límite**, y por otro, ampliarlo a un proyecto completo y viable que consiga situarnos lo más cerca posible de lo que, razonablemente, podría ser la realidad. Con este fin, todo el diseño de la animación virtual se ha realizado rigurosamente en base a datos y medidas reales. Durante el proceso de elaboración ha sido revisado desinteresadamente por especialistas españoles en ingeniería aeronáutica y de estructuras, quedando incluidas la mayoría de sus sugerencias y opiniones.

El contenido del DVD está organizado en 27 capítulos, a los que puede acceder de forma rápida y sencilla con el mando de su reproductor DVD. A su vez se pueden dividir en dos grupos: hasta el capítulo 10 el contenido es general y centrado en el funcionamiento,

a partir de capítulo 11 el contenido es más detallado mostrando aspectos concretos.

Datos técnicos del soporte: sistema de video: PAL. Formato de imagen: 4:3. Sonido: Dolby Digital, estéreo, 2 canales.

Nota importante: para obtener la máxima calidad de imagen, si usted visualiza este DVD en EE.UU., Iberoamérica o área geográfica del Pacífico, es posible que deba configurar expresamente su reproductor y televisión, cambiando el sistema de video NTSC a PAL-Vídeo.

Descripción detallada de los capítulos:

Capítulo 1/25: Inicio de la animación. Al introducir el disco se iniciará automáticamente.

Capítulo 2/25: Corresponde a la presentación inicial. En ella encontrará dos mapas que corresponden a la zona marítima que rodea España. Puede observar una selección de 18 puntos parpadeantes, seleccionados por sus condiciones de viento, que representan otros tantos parques eólicos marinos. Los mapas son del día 22-07-2006 y las estimación de la velocidad corresponde al viento en superficie. Aunque toda la animación se ha realizado a escala, en esta imagen se produce una excepción: Los puntos no representan la superficie ocupada por un parque similar al propuesto en los capítulos siguientes, debido a que no resultarían visibles.

Información publicada en la página web del I. N. M.: (<http://www.inm.es/web/infmet/predi/metmar/indpuer1.html>).

Haciendo un seguimiento de la información publicada en esa dirección podemos extraer dos conclusiones:

- La velocidad del viento en el mar, lejos de la costa, es muy superior a tierra, incluyendo la franja costera.
- En general es, prácticamente, continuo.

Capítulo 3/25: Escena que corresponde a plano general de un parque compuesto por nueve unidades. Podemos observar que una



se acerca navegando a la posición libre número 2.

Según la escala utilizada, la longitud de cada plataforma es de 400 metros por 65 de manga. La separación en ángulo recto entre plataformas es de 1.500 metros y en diagonal de 2.500 m.. La superficie total ocupada es de 9 Kilómetros cuadrados.

Capítulo 4/25: La imagen se centra en la plataforma número 5, recorriendo con detalle desde proa hasta popa por babor. Podemos observar tres puntos que van a ser una constante en la animación y que nos ayudarán a situarnos en cada momento, estando siempre visible alguno de ellos: Proa, con la bandera que nos indica la dirección del viento, las boyas de color amarillo que nos indican la posición de babor (dirección desde dónde sopla el viento), y popa.

Las distintas partes están simplificadas, distinguiéndose con colores llamativos. Por su interés, el rojo está reservado exclusivamente al componente estructural del sistema de producción.

Por diversas razones hemos supuesto que los diversos sistemas instalados longitudinalmente, están afectados por la misma velocidad del viento, girando uniformemente y a la vez.

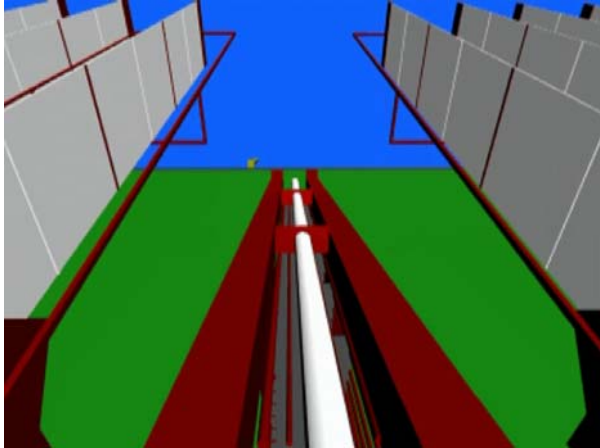
Capítulo 5/25: Nos ofrece una perspectiva de popa a proa por estribor.

Capítulo 6/25: Recorrido central de proa a popa. En la posición superior podemos apreciar, por detrás de las palas girando, la llegada y acoplamiento de otra plataforma a la posición número 2. El capítulo se cierra con la posición contrapuesta de las palas en un determinado momento, congelando el giro.

Capítulo 7/25: Puede resultar sorprendente que esta escena no esté ambientada con ordenadores, luces intermitentes y otros sistemas de control remoto.

Frente al aislamiento propio de estos sistemas, intentamos transmitir y reforzar la idea de presencia y control directo, de proximidad, familiaridad y habitabilidad, en definitiva, que el personal desplazado pueda estar en unas condiciones óptimas y habituales.

En la pantalla del ordenador se recuerda un resumen de los datos de producción, según los cálculos del ejemplo propuesto en la Parte I: Energía sin límite.



Capítulo 8/25:

Diversas tomas y recorrido del eje que transmite la energía mecánica hasta la bodega de la plataforma.

Capítulo 9/25: Este capítulo nos muestra la situación de todos los mecanismos e instrumentos de generación. Éste lugar tiene varias ventajas:

- Estructura superior mucho más ligera. Ahorro de costes.
- Baja el centro de gravedad. Mayor estabilidad.
- Todos los mecanismos se encuentran aislados y protegidos herméticamente de las condiciones climáticas del mar, principalmente de la corrosión.
- Amplitud y accesibilidad para reparaciones, almacenaje y mantenimiento.

Capítulo 10/25: La escena se inicia desde la posición exterior donde se sitúan los generadores. Nos muestra un primer plano de la boya principal y varias más pequeñas. A través de éstas, se realiza el anclaje de la plataforma al fondo del mar y la evacuación hasta la red eléctrica en tierra. El capítulo 13 trata ampliamente estos detalles.

El final nos muestra el movimiento circular de todas las plataformas, teniendo como punto de pivote el punto de anclaje en el fondo del mar, al variar la dirección del viento.

Capítulo 11/25: Este capítulo es el inicio de escenas más detalladas y sobre aspectos concretos que está bien recordar. Comienza por recordarnos las nulas repercusiones medioambientales a través de dos delfines nadando, que nos van a conducir al fondo del mar, donde se encuentra anclada la plataforma número 2. Según la escala utilizada, el punto de anclaje estaría situado a una profundidad de 230 metros.

Capítulo 12/25: Las imágenes de esta escena se centran en mostrarnos la posición de los cables de sujeción desde el punto de anclaje hasta la plataforma y boya principal (color rojo), así como la conducción de evacuación eléctrica (color amarillo).

Capítulo 13/25: Continuación de la toma anterior. En este caso se muestra la conducción eléctrica desde la boya principal hasta la plataforma. Según la escala utilizada el cable discurre suspendido a una profundidad de 8 metros.

Capítulo 14/25: Vista general de la plataforma número 2, antes de comenzar a funcionar.

Capítulo 15/25: Proceso de puesta en marcha con el despliegue de palas.

Capítulo 16/25: Una vez en posición extendida y desactivadas (paralelas al viento) se produce la secuencia de inicio, activando las palas de la posición superior.

Capítulo 17/25: Control de potencia: El fraccionamiento de la superficie de ataque y la facilidad de control de las palas nos permite que ante variaciones de viento no deseadas puedan desactivarse una, varias, o incluso todas, con el fin de mantener estable la potencia que se quiere generar. La respuesta es instantánea (2 segundos máximo).

Capítulo 18/25: Vista general superior alejándonos de la plataforma número 2 que ya está operativa.

Capítulo 19/25: Vista general superior acercándose a la plataforma número 1. Esta es una plataforma en funcionamiento y vamos a contemplar lo que sería el proceso de desconexión: Las palas se desactivan todas (posición bandera) hasta detener el giro.

Capítulo 20/27: Una vez paradas se inicia la secuencia de recogida. La posición de recogida y extensión por la que pasan las palas, una a una, es la más idónea y la determina la dirección del viento.

Capítulo 21/27: Esta escena nos propone una localización para instalar una planta desaladora o fábrica de hidrógeno: Pueden proponerse otras, y todas serán inmejorables.

Capítulo 22/27: Terminado el proceso de recogida y soltados los cables de sujeción y eléctrico se inicia la marcha hacia otra localización.

Capítulo 23/27: Continuación del capítulo 21.

Capítulo 24/27: Propuesta alternativa de estructura simple, para instalación permanente, destinada exclusivamente a generación eléctrica.

Capítulo 25/27: Prototipo BW-2 en funcionamiento. Se aprecia perfectamente la facilidad y el control instantáneo.

Capítulo 26/27: Vídeo del prototipo BW-1 con varias fotografías.

Capítulo 27/27: Direcciones y medios de contacto.

CONCLUSION FINAL

Todas estas características que hemos tratado de enumerar tienen un gran potencial de desarrollo, y al igual que los molinos iniciales se han desarrollado exponencialmente, este sistema tiene más aspectos para poder evolucionar.

La energía eólica está en el límite tecnológico. Si tenemos la necesidad de un gran avance, es posible que estemos obligados a replantear la situación desde el principio. Esta exposición trata de transmitir esa idea. Los beneficios justifican el esfuerzo.

La situación energética de muchos países, medio ambiente, cambio climático, obligan al aprovechamiento eólico urgente de ese potencial marino, que hasta ahora es prácticamente nulo. BOLOWIND es idóneo para este fin y sus posibilidades son técnicamente inmediatas.

Espero que este enfoque les haya resultado interesante.

Gracias por su atención.

Atentamente.

Fdo: Juan Domingo Bernal Curto

Victorino González Díaz