

# Vehículo Propulsado Utilizando Aire Comprimido como Vector Energético

Joaquín (a) Giordano Bruno MCMLVII

Julio de 2015

Actualizado octubre de 2021

Actualizado y Ampliado en diciembre de 2024

Toque final 1 de enero de 2025

Montevideo, República Oriental del Uruguay

neschii@gmail.com

## Resumen

El presente documento propone la implementación de autobuses urbanos propulsados mediante aire comprimido, utilizando molinos eólicos para generar la energía necesaria para la compresión del aire. Esta tecnología busca reducir significativamente la contaminación ambiental en ciudades densamente pobladas y presenta una alternativa viable y sustentable frente a los combustibles fósiles tradicionales. Se analizan las eficiencias de los molinos eólicos, la capacidad de almacenamiento de aire comprimido en tanques de alta presión y se proporcionan cálculos detallados sobre la autonomía de los vehículos propuestos. Además, se comparan diferentes configuraciones de tanques y se presentan propuestas adicionales para optimizar el sistema.

## Palabras Clave

- Aire comprimido
- Vector energético
- Autobuses urbanos
- Energía renovable
- Molinos eólicos
- Eficiencia energética
- Almacenamiento de energía
- Sustentabilidad
- Reducción de emisiones
- Tecnología de propulsión alternativa

Mi propuesta es, y sólo para comenzar, construir autobuses urbanos propulsados utilizando aire comprimido como vector energético. El aire será comprimido preferentemente a presiones no menores a 300 bares, por molinos eólicos mecánicos compresores de aire, construidos a ese efecto.

En el comienzo presento 3 observaciones fundamentales para lo que sigue:

- En algunos artículos que he leído, publicados por detractores del uso de electrogeneradores eólicos, se establece que estos molinos rinden cerca del 25% de la potencia nominal instalada. Después he visto mejores estimaciones que rondan el 33% y hasta tengo corresponsales que aseguran que en el sur de Chile, se ha alcanzado 60% como factor de planta. El Acad. Ing. Oscar Ferreño publicó una presentación donde figura que en la planta Caracoles se ha obtenido 38% como factor de utilización promedio. (3)
- Una publicación de la Volvo Buses de México del año 2007, establece que, por cada litro de diésel que consume un motor de autobús, se liberan 10 kWh de los que sólo 4 kWh se utilizan para propulsar el vehículo durante 2 km. Es decir que para recorrer cada km, un autobús necesita 2 kWh. Aunque pasaron varios años y seguramente puede haber mejorado algo la eficiencia, es fácil ver que cualquier eventual mejora que haya habido, resulta insignificante.
- Una compañía noruega instalada en USA, llamada Hexagon Composites, fabrica tanques para almacenar gas comprimido hasta presiones de 1725 bares, aunque tiene también otras líneas de productos en los que la presión máxima es mucho menor.

Con estos primeros datos, se pueden hacer cuentas para ver que, rindiendo al 25%, un molino de 3 MW de potencia nominal como los que existen hace años y que hace tiempo dejaron de ser los de mayor porte que se fabrican, permitiría acumular por día 18 MWh, cantidad de energía que alcanzaría para recorrer 9000 km en autobús.

Es por todos conocido que, por ejemplo en París, Beijing, Ciudad de México, Santiago de Chile, etc., las condiciones ambientales son paupérrimas, y esto ayudaría en un porcentaje muy significativo a reducir la contaminación, y sería el comienzo de una nueva realidad.

Me atrevo a pensar que, aunque no sea académicamente correcto, el mecanismo propuesto funciona como un acumulador de par motor, utilizando aire comprimido como vector energético. Todo ocurre como si el par motor obtenido en el eje de rotación del molino gracias al viento, se almacenara para luego disponer de él para lo que sea necesario.

He leído en más de un documento que la eficiencia de la transmisión hidráulica de potencia, es muy superior a la transmisión mecánica, y sobre esto no abundaré innecesariamente, mencionando únicamente la facilidad para llegar de un punto a otro. En un intercambio epistolar electrónico, un Ing. Mecánico chileno se interesó por el tema hasta que me planteó lo siguiente:

Estimado Joaquin:

Lo que necesito es el balance termico con las ecuaciones matematicas que se van a utilizar, quiero entender como se va perdiendo la energia a medida que se va transformando o transportando al medio vehicular. Los balances energeticos primero se hacen en un esquema general de funcionamiento, donde ingresa la energia y donde sale finalmente. Esto se acompaña de las ecuaciones matematicas que se usan para estos efectos. Posteriormente tocaria ver los materiales que se usarian para ver de cuanto estamos hablando para la inversion, ya que si es rentable yo puedo postularlo a traves de la Universidad con fondos del Gobierno, atento a tus comentarios

El planteo fue el 12dic2014 y aún no he podido encaminar la resolución de lo pedido.

Me atrevo a pensar que, por ejemplo, se puede armar un autobús que tenga inicialmente un trayecto corto de alrededor de 50 km, propulsado por este mecanismo y utilizando aire comprimido como fuente energética, por lo que será, en primer lugar, mínimamente contaminante y, además, de costo energético nulo.

Un bus, como puede verse en la imagen, puede llevar en el techo un conjunto de tanques aunque también se podría estudiar cómo acomodarlos bajo el piso para bajar el baricentro. Normalmente estos vehículos tienen aproximadamente 13 m de largo y 2,40 m de ancho. Con esas dimensiones se pueden acomodar sin problemas 4 hileras paralelas entre sí, de tanques de 0,56 m de diámetro y con un largo total de 10 m cada una de las 4 hileras. Haciendo el cálculo vemos que tendríamos disponibles:  $(0.56m/2)^2 * 3,14159 * 40m \approx 9,852m^3$  es decir 9852 l aproximadamente.



Suponiendo que cargamos esos tanques con aire a 300 bares de presión, usando una Ley de Boyle encontramos que si dejáramos salir el aire bajo presión, nos quedarían 2955610 l de aire a presión atmosférica. Tomando como peso estimado del aire 1,293 g/l, encontramos que ese volumen de aire pesa aproximadamente 3821 kg. Aún tengo en el debe averiguar cuanto pesa un tanque de Hexagon Composites de 0,56 m de diámetro y 10 m de largo de los que soportan gas comprimido a 300 bares, pero basándome en una publicación de la fábrica Ullit donde puede verse que el tanque modelo 300-36-700 tiene 32 kg de tara y calculando encontramos que cargándolos a 700 bares, el peso neto es 32583,6 g o sea 32,58 kg aproximadamente.

### 700 bar Tanks – Réservoirs 700 bar

Référence	Thread size Filetage	Water capacity Volume en eau (L)	Ø OD (mm)	[A] Length Longueur [A] (mm)	Weight (+/-) Poids (+/-) (kg)
180-4-700	(1)	4.0	180.0	400.0	6.5
300-36-700	(3) (4) (5)	36.0	300.0	905.0	32.0

<https://www.ullit.com/index.php/en/our-products/catalog> (1)

Si utilizáramos los tanques de Ullit aunque sean demasiado pequeños, tendríamos una tara de 8800 kg por 275 tanques, lo que nos permitiría almacenar 9900 l para cargar aire a 300 bares, con un peso neto de 3840 kg aproximadamente. En estas condiciones, si utilizamos una de las fórmulas utilizadas para calcular el comportamiento del gas ideal, encontramos el trabajo que obtenemos:

$$W = 300 \text{ bares} * 9900 \text{ l} * \ln(300 \text{ bares} / 1 \text{ bar}) \sim 16940233 \text{ bares} * \text{l} \sim 470,56 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned}
 W_{A \rightarrow B} &= \int_{V_A}^{V_B} p dV = \int_{V_A}^{V_B} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_A}^{V_B} \frac{1}{V} dV \\
 &= nRT(\ln V_B - \ln V_A) = nRT \ln \frac{V_B}{V_A} = nRT \ln \frac{p_A}{p_B} = p_A V_A \ln \frac{p_A}{p_B}
 \end{aligned}$$

Recordando que hacemos las cuentas suponiendo que trabajamos con gas ideal, vamos a estimar generosamente que en lugar de 470,56 kWh, obtenemos 235 kWh, suficiente como para que un bus recorra 117,5 km en promedio. Para no ser tan optimistas, vamos a suponer que por lo menos podremos recorrer sobradamente 50 km pero a riesgo de sobrepasar con holgura los 100 km.

En primer lugar calcularemos el trabajo W1 que vamos a necesitar para cargar todos los tanques con aire a 300 bares, sabiendo que cargando a esa presión estamos por debajo del 50% de la presión máxima para la cual se fabrican esos tanques, aunque obviamente por ello pagaremos el peso de más de los tanques fabricados para soportar mayores presiones. Cómo con mucha menos presión ya tendremos el par motor necesario, haremos que el aire salga de los tanques a 70 bares, lo cual va a traer aparejado que estaremos renunciando a una parte de la energía almacenada W2. Por lo tanto calcularemos la energía que podremos utilizar luego de hacer pasar el aire comprimido almacenado a 70 bares W3, para finalmente liberarlo a la atmósfera luego de hacer el trabajo.

Repasando las cuentas, planteamos lo que pasaría si utilizáramos 132 tanques Ullit de 36 l de capacidad, 0,3 m de diámetro y 0,905 m de largo, con un peso total de 4224 kg.

		Datos conocidos		
4752	l	Capacidad de los tanques	36	l ← Capacidad en tanque
300	bares	Presión a la que se cargaron los tanques	132	← Cantidad de tanques
1,3	kg/m <sup>3</sup>	Peso del aire a presión atmosférica	32	kg ← Peso cada tanque
70	bares	Presión de salida de almacenamiento		
		Carga de los tanques	4224	kg ← Tara total tanques
1406,9	m <sup>3</sup>	V1 = Cantidad de aire utilizado		← $V1=P2*V2/P1$ Boyle
101330	Pa	P1 = Presión atmosférica		
4,75	m <sup>3</sup>	V2 = Capacidad de los tanques		
30000000	Pa	P2 = Presión de carga de los tanques		
1829,0	kg	Peso neto del aire comprimido	1829,0	kg ← Peso aire utilizado
			6053,0	kg Peso total
		Trabajo necesario		
-225,347	kWh	← $W1=P1*V1*LN(P1/P2)*1/3600000$		← Gas ideal
		Merma de la presión de trabajo		
4,752	m <sup>3</sup>	V2 = Cantidad de aire utilizado		
30000000	Pa	P2 = Presión de almacenamiento		
20,366	m <sup>3</sup>	V3 = Disponible de salida		← $V3=P2*V2/P3$ Boyle
7000000	Pa	P3 = Presión de salida de tanque		
		Trabajo perdido		
57,629	kWh	← $W2=P2*V2*LN(P2/P3)*1/3600000$		← Gas ideal
		Utilización del aire comprimido		
20,366	m <sup>3</sup>	V3 = Disponible de salida		
7000000	Pa	P3 = Presión de salida de tanque		
1406,888	m <sup>3</sup>	V4 = Volumen de aire liberado		← $V4=P3*V3/P4$ Boyle
101330	Pa	P4 = Presión a la que se libera el aire		
		Trabajo utilizable		
167,717	kWh	← $W3=P3*V3*LN(P3/P4)*1/3600000$		← Gas ideal

Si ahora utilizamos tanques fabricados para soportar un máximo de 300 bares con una capacidad de 9 l y una tara de 4,9 kg cada uno, veremos que disponiendo de la misma cantidad de energía, bajaríamos sensiblemente la tara.

Como en lugar de 132 tanques de 36 l cada uno utilizamos 528 tanques de 9 l cada uno, obtendremos la misma cantidad de energía utilizando la misma cantidad de aire pero la diferencia estará en que bajará la tara en 1637 kg lo que redundará en un aumento de la autonomía.

		Datos conocidos	9	l ← Capacidad en tanque
4752	l	Capacidad de los tanques	528	← Cantidad de tanques
300	bares	Presión a la que se cargaron los tanques	4,9	kg ← Peso cada tanque
1,3	kg/m <sup>3</sup>	Peso del aire a presión atmosférica		
70	bares	Presión de salida de almacenamiento		
		Carga de los tanques	2587,2	kg ← Tara total tanques
1406,9	m <sup>3</sup>	V1 = Cantidad de aire utilizado		← V1=P2*V2/P1 Boyle
101330	Pa	P1 = Presión atmosférica		
4,752	m <sup>3</sup>	V2 = Capacidad de los tanques		
30000000	Pa	P2 = Presión de carga de los tanques		
1829,0	kg	Peso neto del aire comprimido	1829,0	kg ← Peso aire utilizado
			4416,2	kg Peso total
		Trabajo necesario		
-225,347	kWh	← W1=P1*V1*LN(P1/P2)*1/3600000		← Gas ideal
		Merma de la presión de trabajo		
4,752	m <sup>3</sup>	V2 = Cantidad de aire utilizado		
30000000	Pa	P2 = Presión de almacenamiento		
20,366	m <sup>3</sup>	V3 = Disponible de salida		← V3=P2*V2/P3 Boyle
7000000	Pa	P3 = Presión de salida de tanque		
		Trabajo perdido		
57,629	kWh	← W2=P2*V2*LN(P2/P3)*1/3600000		← Gas ideal
		Utilización del aire comprimido		
20,366	m <sup>3</sup>	V3 = Disponible de salida		
7000000	Pa	P3 = Presión de salida de tanque		
1406,888	m <sup>3</sup>	V4 = Volumen de aire liberado		← V4=P3*V3/P4 Boyle
101330	Pa	P4 = Presión a la que se libera el aire		
		Trabajo utilizable		
167,717	kWh	← W3=P3*V3*LN(P3/P4)*1/3600000		← Gas ideal

## Bottles for Self-Contained Breathing Apparatus

### Specifications :

- Filling pressure : 300 bar at 15°C
- Operating pressure : 354 bar
- Test pressure : 506 bar (according to 2014/68/EU)
- Burst :  $\geq 900$  bar
- Operating temperature : from -40°C to +65°C
- Thread M18x1,5 according to EN 144-1
- Exceed requirements of tests according to EN 12245 (burst pressure, fatigue, drop test, fire test...)
- Unlimited lifetime

### Available capacities :

V (L)	Ø (mm)	L (mm)	M (Kg)
1.7	118	320	1.6
3.0	118	472	2.4
4.7	162	400	3.4
6.0	162	498	3.6
6.8	162	535	4.0
9.0	181	560	4.9

<https://ullit.com/index.php/en/applications-en/scba-and-fire-extinguishing> (1)

Como tercer cálculo, podemos ver que si utilizamos los tanques de 36 l de capacidad que pesan 32 kg cada uno pero cargados al máximo posible de 700 bares, los números nos quedan de la siguiente manera.

El trabajo necesario para comprimir el gas W1 pasa de -225 kWh a -604 kWh.  
 El trabajo desperdiciado al usar el aire a 70 bares W2 pasa de 57 kWh a 212 kWh.  
 El trabajo aprovechable al usar el aire a 70 bares W3 pasa de 167 kWh a 391 kWh.

Como vemos, la suma del trabajo necesario, el trabajo perdido y el trabajo utilizable, es cero.

Como en estos dos casos se mantienen los tanques utilizados, se mejora en algo la energía específica que, en los 3 casos planteados, tiene los siguientes valores.

- Utilizando el aire a 70 bares de 132 tanques de 36 l que pesan 32 kg cargados a 300 bares
  - 167,717 KWh ← Energía almacenada aprovechable
  - 603,7812 MJ ← Energía almacenada aprovechable
  - 6053 Kg ← peso total
  - 0,0997 MJ/kg ← Energía específica
- Utilizando el aire a 70 bares de 528 tanques de 9 l que pesan 4.9 kg cargados a 300 bares
  - 167,717 KWh ← Energía almacenada aprovechable
  - 603,7812 MJ ← Energía almacenada aprovechable
  - 4416,2 Kg ← peso total
  - 0,1367 MJ/kg ← Energía específica
- Utilizando el aire a 70 bares de 132 tanques de 36 l que pesan 32 kg cargados a 700 bares
  - 391,34 KWh ← Energía almacenada aprovechable
  - 1408,824 MJ ← Energía almacenada aprovechable
  - 8491,6 Kg ← peso total
  - 0,1659 MJ/kg ← Energía específica

Como ejemplos de cuestiones similares, se pueden citar los CAES, que desde hace varios años utilizan algunas compañías proveedoras de energía eléctrica, y también Gorona del Viento, que aunque no trabajan con aire comprimido, muestran como es posible independizarse de la generación de energía no renovable.

<http://www.ricas2020.eu/> ← Research Infrastructure related to Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage

[https://www.swissinfo.ch/spa/economia/energ%C3%ADa-en-la-monta%C3%B1a\\_una-maxibateria-hecha-de-aire/42351794](https://www.swissinfo.ch/spa/economia/energ%C3%ADa-en-la-monta%C3%B1a_una-maxibateria-hecha-de-aire/42351794) ← Una maxibatería hecha de aire

<http://www.goronadelviento.es/index.php?accion=articulo&IdArticulo=70&IdSeccion=85> ← ¿Cómo funciona la Central Hidroeléctrica?

Aunque se suelen encontrar citas donde se afirma que el viento se comporta erráticamente, lo cual es cierto, la cuestión es que en el planeta han proliferado los electrogeneradores eólicos como prueba de que el resultado final es positivo. En un estudio (4) publicado, el Acad. Ing. Oscar Ferreño afirma:

En razón de las características geográficas de Uruguay, con abundantes llanuras y escasos obstáculos, tenemos que a 100 metros sobre el suelo el viento es prácticamente igual y cercano a los 8 m/s en todo el territorio de Uruguay. Un aerogenerador con la tecnología actual que permite alturas de buje en el entorno de los 100 m puede producir al 40 % de su potencia.

Por ejemplo, puede verse un estudio publicado sobre los vientos en Montevideo.

<http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2009/NZC09/NZC09.pdf> ← Evaluación del potencial eólico de Montevideo

A veces también imagino que es posible instalar un conjunto de molinos eólicos de bombeo mecánico al pie de una represa para volver a subir el agua cuando no hay condiciones de desbordamiento en el embalse de la represa en cuestión, ya sea está de corriente, de embalse o reversible de bombeo eléctrico. También a veces imagino construir un súper tanque, como si fuera una represa neumática, para almacenar aire comprimido para afrontar los períodos de calma chicha.

Sobre los artefactos eólicos, habitualmente llamados turbinas o molinos, se han construido con alturas de buje de 163 m, donde las palas superan los 230 m de altura por ser de eje horizontal. Incluyo unas palabras del Ing. Qco. Fernando Schaich:

“... en los últimos años en la energía eólica, es que se han aumentado básicamente los diámetros de rotor. Eso permitió que en lugares donde antes era bastante impensado poner un parque eólico porque el viento era mediano o bajo, hoy en día la tecnología logra, digamos, absorber toda esa energía del viento mediante ampliar la altura. Mayor altura y mayor diámetro de rotor. Incluso hace a veces que algún parque que está en un sitio de esos, casi que genere la misma energía que un parque que está en un sitio con mucho viento. Porque en un lugar con mucho viento, el aerogenerador tiene que ser mucho más robusto de diámetro más pequeño y a veces hasta más bajo lo cual se compensa la energía generada.”

<http://www.carve850.com.uy/2015/06/19/todo-lo-que-usted-queria-saber-sobre-la-energia-eolica/> (?)

Sobre alturas de buje:

Martes, 05 de julio de 2016

La máquina, que se encuentra sobre una torre de más de 160 metros de altura, ha sido erigida en el estado alemán de Renania-Palatinado. Del suelo al eje del rotor hay 164 metros. Cada pala mide 65,5 metros de longitud y la altura máxima que alcanza el extremo de cada una de ellas es de casi 230 metros.

<http://www.energias-renovables.com/articulo/nordex-instala-el-aerogenerador-mas-alto-del-20160705> ← Nordex instala el aerogenerador más alto del mundo

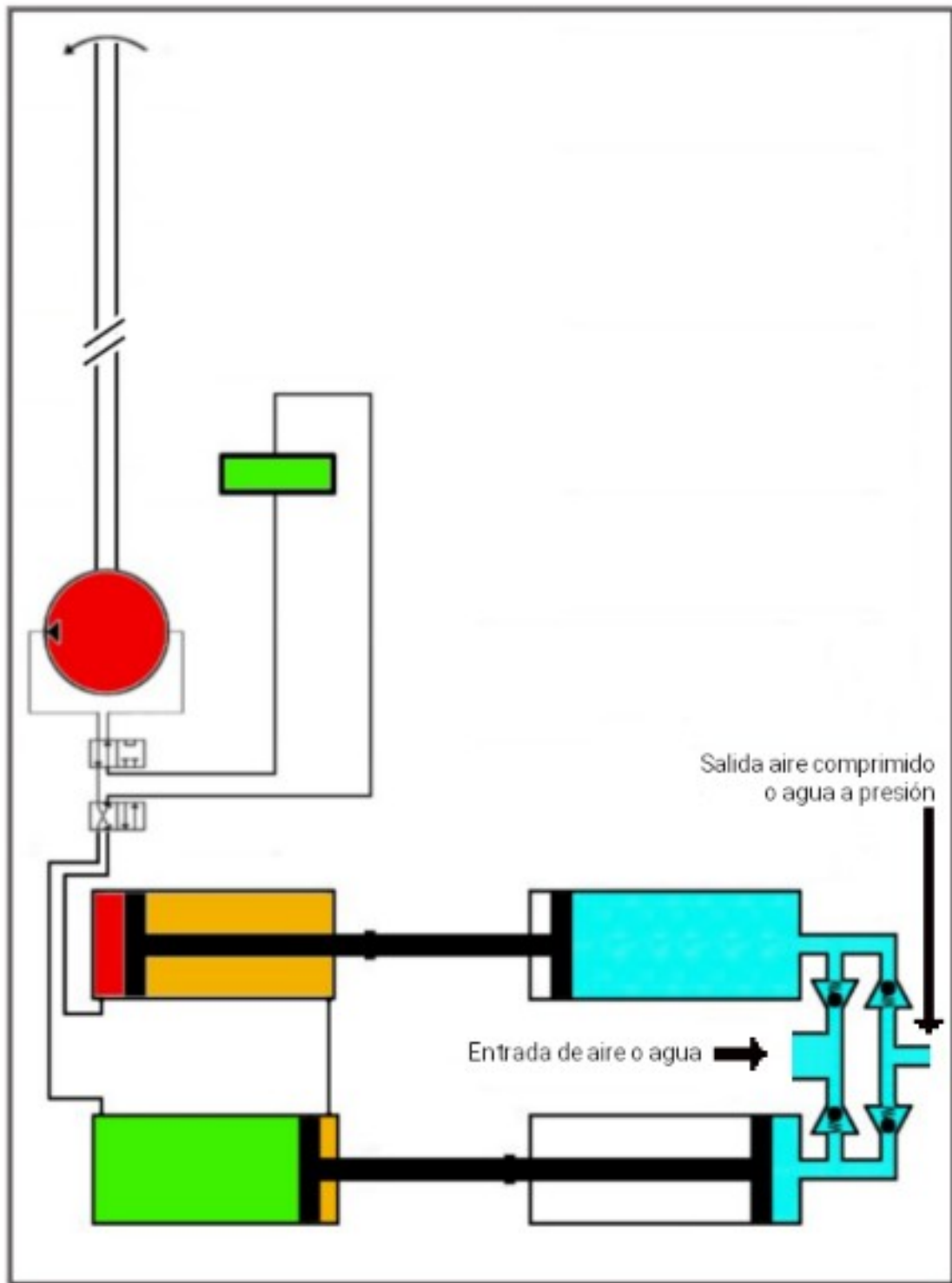
<http://dw.com/p/15yBc> ← Madera para las torres eólicas

Ecología - Madera en vez de acero para torres eólicas - **Fecha** 28.08.2012

La empresa Timber Tower GmbH construye la primera torre de madera para un aerogenerador. Con la madera se puede construir más alto que con metal o cemento, afirman los pioneros de Hannover.

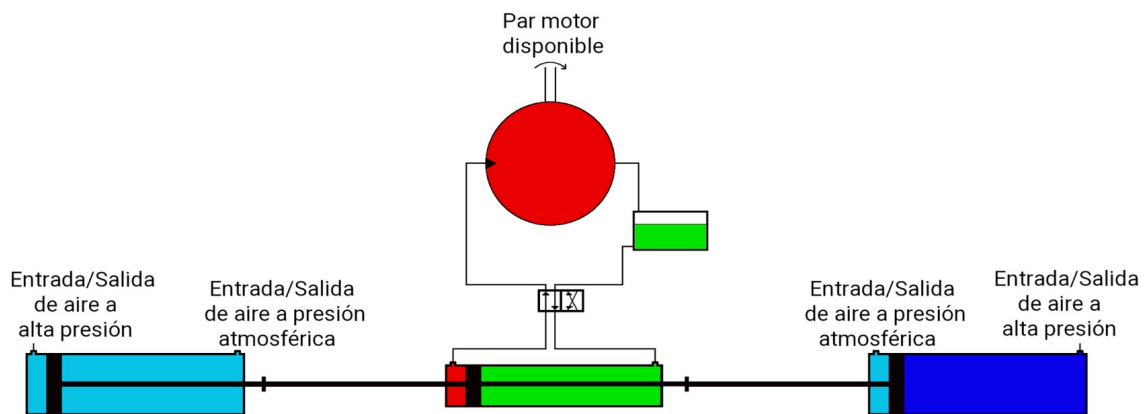
La torre mide ya 60 metros. Aún no ha sido concluida y los ingenieros constructores han revolucionado ya la construcción de aerogeneradores. La torre pasa desapercibida con una recubierta gris clara que no revela su alma de madera. La piel exterior es de plástico y esa cubierta la protege de oscilaciones climáticas, según Holger Giebel, director de la empresa Timber Tower GmbH. El interior de madera consiste en una construcción tipo entramado, montada sobre planchas de abeto. La torre medirá unos 100 metros y será totalmente de madera, con excepción del generador de 1,5 Megawatts y los rotores. El modelo de negocio de la empresa contempla vender la torre a grandes constructores de parques eólicos que se encargan de su instalación torres y turbinas. “Las torres de metal muy difícilmente pueden llegar a una altura de 110 metros y la razón es simple. El diámetro de ese tipo de torres está limitado a 4.20 metros, si fuera más amplio no pasaría bajo los puentes de autopistas”, afirma Holger Giebel.

El mecanismo que convirtiendo movimiento giratorio en movimiento lineal alternativo, puede usarse para elevar agua o comprimir aire:





El mecanismo para disponer de par motor partiendo de movimiento lineal alternativo:



Por supuesto que es trivial la construcción de un mecanismo combinado que recupere energía al reducir la marcha del bus.

[http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f10/ihfpv\\_newhouse.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f10/ihfpv_newhouse.pdf) ← LINCOLN COMPOSITES

- Over 45 years experience
- Over 80 configurations
- Liner types: aluminum, Inconel, titanium, carbon steel, stainless steel, rubber, plastic
- Fiber types: glass, aramid, carbon
- Type 2, Type 3, and Type 4 construction
- Over 180,000 pressure vessels in service
- Volumes from 65 cc to 8500 L
- Operating pressures from 35 bar to 1725 bar
- Burst pressures up to 3450 bar

<http://proyectos.lost-away.org/asimus/wp-content/uploads/2009/07/Tecnolog%C3%ADa-BRT- Esp.pdf> ← BRT: Beneficios ambientales y perspectivas tecnológicas

Medidas Ambientales



### ¿Qué sucede cuando se quema un litro de diesel?

– Se mezcla con 24 kg de aire en el proceso de combustión.

- Se liberan 10 Kw de energía.
- 4 kW son aprovechados para mover el vehículo.
- Esta energía es suficiente para mover un autobús urbano por 2 km.
- Aproximadamente 40 m<sup>3</sup> de gases son despedidos por el escape.

Volvo Autobuses México, Jorge A. Salazar  
Septiembre 2007

Así que transformemos esa cifra en kilovatios-año dividiéndola por 8.760, obteniendo 750 kilovatios-año. Así es como podemos ver inmediatamente que esta turbina anunciada como de 3 MW, es decir la llamada "turbina eólica de 3.000 kW", produjo electricidad con una potencia media de 750 kW ó 0,75 MW.

Lo que estoy proponiendo se puede ver como un acumulador de par motor cuando se comprime aire para luego expandirlo o, si utilizáramos únicamente una mitad del ciclo, estamos ante una eficiente forma de bombear líquidos.

Como colofón, al final aporto información sobre una propuesta similar formulado por el Ing. Ingo Valentin.

Lo siguiente está agregado en diciembre del 2024.

Y en esta ocasión la del estribo será, sin entrar en detalles, mencionar los adelantos que han habido en estos pocos años en los que la tecnología a avanzado a pasos agigantados, aunque sólo esté acelerando en la pista para poder levantar vuelo.

El hidrógeno es lo que está prometiendo maravillas dado que parece ser una fuente infinita de energía aunque en la naturaleza sólo se encuentra combinado con otros átomos y para separarlo es necesario aplicar energía. Sobre el cambio que provocaría el menor impacto permitiendo que el parque automotor siga funcionando con otro combustible líquido que provoca menos contaminación, el ChatGPT contesta:

#### Desafíos de los E-Fuels Basados en Hidrógeno

- **Costos de Producción:** Actualmente, los costos de producción de e-fuels son altos debido a la energía necesaria para la electrólisis y la captura de CO<sub>2</sub>.
- **Eficiencia:** El proceso de producción de e-fuels implica múltiples etapas de conversión energética, lo que puede resultar en una menor eficiencia global comparada con el uso directo de hidrógeno en celdas de combustible.

#### Conclusión

Sí, existen combustibles sintéticos basados en hidrógeno, como la e-gasolina y el e-diésel, que pueden ser utilizados en vehículos diseñados originalmente para gasolina o diésel. Estos combustibles ofrecen una solución intermedia hacia la descarbonización del transporte, permitiendo el uso de la infraestructura y tecnologías actuales mientras se reduce la huella de carbono. Sin embargo, la viabilidad económica y la eficiencia de estos combustibles aún son áreas en desarrollo y requieren avances tecnológicos y escalas de producción más amplias para ser competitivos con los combustibles fósiles convencionales.

En una nota publicada la semana pasada en DW <sup>(5)</sup>, aparece en segundo lugar el siguiente deseo:

#### 2º deseo: Descarbonización e innovaciones en almacenamiento

La expansión de las energías renovables es necesaria para frenar el cambio climático.

Los módulos solares y las turbinas eólicas serán cada vez más eficientes y rentables de aquí a 2025. También se están logrando avances alentadores en el almacenamiento del excedente de energía para garantizar un suministro energético estable e independiente del sol y el viento.

En el futuro, el almacenamiento químico (baterías convencionales, baterías de flujo redox, supercondensadores e hidrógeno) o el almacenamiento físico (volantes de inercia, almacenamiento por bombeo y aire comprimido) se impondrán como grandes sistemas de almacenamiento de energía.

Las primeras baterías de estado sólido, es decir, baterías de iones de litio con electrolitos sólidos, podrían llegar al mercado de la automoción en 2025. Son potentes, se cargan mucho más rápido, son más ligeras y duran más. Sin embargo, también serían deseables otros tipos de baterías que no dependieran de elementos escasos y caros como el litio y el cobalto. Las baterías de iones de zinc, magnesio o aluminio y las de zinc-aire siguen sin ser tan potentes como las de litio, pero requieren recursos ampliamente disponibles. Y ya se utilizan con éxito algunas baterías de sodio-azufre o de flujo redox.

Aún hay gente que aún pide utilizar baterías para aumentar el almacenamiento de energía eléctrica mientras el común de las centrales hidroeléctricas de todo el planeta, rinde no mucho más del 50% como afirma ChatGPT:

Por lo tanto, el rendimiento anual promedio de todas las centrales hidroeléctricas a nivel mundial se puede estimar entre un **55%** y un **60% de su capacidad máxima instalada**, dependiendo de las condiciones locales y de las características particulares de cada central.

Se estima que hay al menos un 40% de potencia anual ociosa que podríamos aprovechar antes de aumentar la potencia eléctrica almacenada.

La respuesta, está en el viento ...

Muchas gracias.

Joaquín Malaneschii Delgado (a) Giordano Bruno MCMLVII

(1) No he podido acceder a ullit.com en estos días.

(2) Cambió la dirección de la página de Radio Carve y no he podido encontrar la nota citada en la nueva página.

(3) [Parque Caracoles](#) ← Posibilidades de la Generación Eólica, ventajas comparativas de Uruguay para su desarrollo.

(4) [Renovables en la red](#) ← “Integración de las Energías Renovables No Convencionales a los sistemas Eléctricos Tradicionales.”

(5) [Seis deseos científicos para 2025 - Alexander Freund - 27/12/2024](#)

Otras propuestas similares que indican que esto no es descabellado, pueden verse en la página del Ing. Ingo Valentin:

<http://www.valentintechnologies.com/home> ← Advanced Hydrostatic Drivetrains

Ahí pueden verse, por ejemplo, molinos que utilizan también una bomba oleohidráulica en el eje para accionar un motor oleohidráulico en la base de la construcción. Es otra opción, pero recuerdo que el día que conocí a mi amigo León y salió el tema de “bombas”, me aclaró el tema diciéndome “Estas son las mejores bombas hidráulicas que hay” mientras señalaba un cilindro hidráulico.

El Ing. Valentin ha diseñado, siempre utilizando oleohidráulica, autos, locomotoras, helicópteros, molinos, barcos y bicicletas, lo que abona la verosimilitud de esta propuesta.

De las propuestas del Ing. Valentin, incluyo dos a modo de ejemplo: la “Locomotora con almacenamiento de energía” y la “Turbina eólica hidrostática”.

## Locomotora con almacenamiento de energía

Peso 80 toneladas

Iniciando el esfuerzo de tracción 25 toneladas

Longitud 52.5 ft ( 16 m )

Velocidad máxima 87 mph → ( 140 km/h )

Potencia de 2,730 CV ( 3 x 910 CV ) → ( 2.010 kW ( 3 x 670 kW ) )

Almacenamiento de energía 180 MJ ( 4.000 hp · min ) → ( 3000 kW · min )

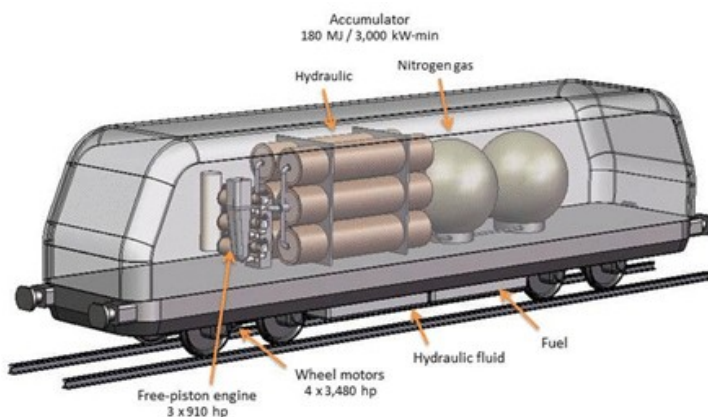
Potencia de tracción 13.920 hp ( 4 x 3.480 CV ) → 10.240 kW ( 4 x 2.560 kW )

Depósito de combustible 1.320 gal ( 5.000 l )

La facilidad de transmisión y almacenamiento de altas potencias, la construcción robusta y el bajo consumo del avanzado sistema de transmisión hidrostática para locomotoras, generan beneficios significativos en cuanto a rendimiento, características operativas y costos.

El sistema de accionamiento consta de tres motores de pistón libre de un solo cilindro, el conjunto acumulador y un motor hidráulico, uno en cada eje, que transmite el par a través de una caja de cambios de una sola etapa. El motor es el mismo que se utiliza en el vehículo de seguimiento, pero la velocidad se reduce para aumentar la vida útil. Seis acumuladores de pistón y dos recipientes esféricos para el gas de nitrógeno presurizado almacenan las energías para la conducción y el frenado.

El simple acoplamiento y desenganche de los motores y el control del par de torsión proporcionan una operación muy efectiva en una amplia gama (15: 1) de velocidad y fuerzas de tracción. El esfuerzo de tracción máximo se puede aplicar durante una parada sin recalentar los motores ya que el fluido hidráulico transmite la potencia y lubrica y enfría los motores. El uso reducido del sistema de frenado y la baja radiación térmica simplifican la estructura y el mantenimiento de la locomotora.



Locomotora hidrostática

La alta eficiencia del motor y la recuperación de la energía de frenado (Rendimiento Redondo 75% - 80%) reduce el consumo de combustible y las emisiones en más del 40%.

La carga del acumulador también se puede conseguir a través de un pequeño motor eléctrico simple que acciona una bomba hidráulica a velocidad constante. En esta configuración, los picos de potencia para acelerar o frenar son compensado por el acumulador y sólo se requiere una carga base más baja y constante de la red eléctrica. La capacidad de almacenamiento del acumulador se puede incrementar en un factor de dos (hasta 100 kW · h) sin exceder el tamaño de las locomotoras de potencia comparable.

Copyright Valentin Technologies, LLC

La imagen muestra la locomotora con sus componentes del tren motriz en escala.

En la propuesta del Ing. Valentin, se habla de una reducción del 40 % en el consumo de combustible y en la consecuente emisión de gases producto de la combustión. Nótese que en la propuesta que aquí se presenta, al utilizarse aire comprimido como vector energético, la reducción es total o, como también podría decirse, el consumo de combustible se reduce a cero por lo que, obviamente, también la emisión de gases producto de la combustión.

## Turbina eólica hidrostática

Power	5 MW			
Drive		RPM	Weight	Dimension
Pump (rotor)	5.0 MW	18 rpm	43,000 lbs. (19,500 kg)	Ø 98" x 78" (25 dm x 20 dm)
Motors	3.7 MW	1,800 rpm	1,120 lbs. (510 kg)	Ø 25" x 29" (63 cm x 73 cm)
	1.7 MW	1,800 rpm	595 lbs. (270 kg)	Ø 20" x 23" (50 cm x 58 cm)

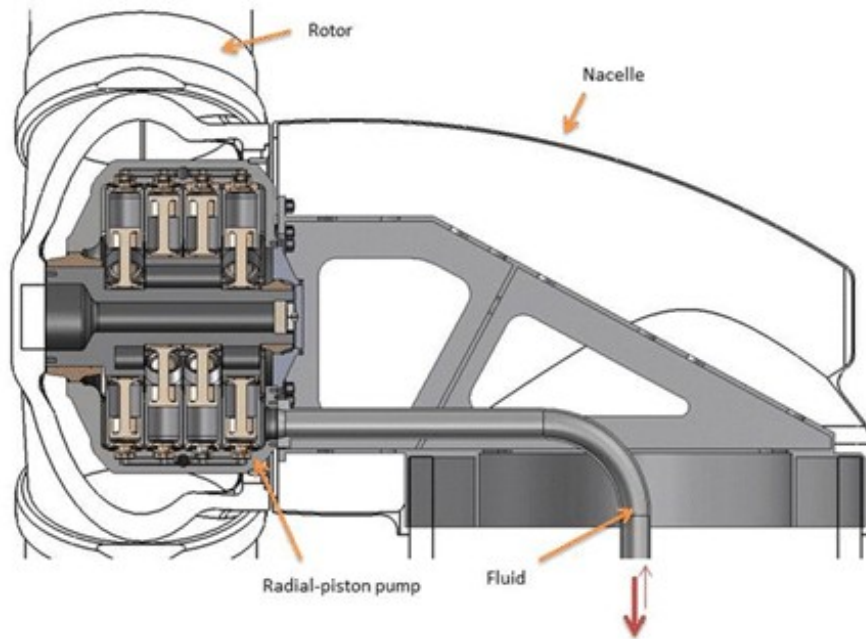
La alta eficacia, excelente controlabilidad, y la libertad de la organización de los componentes de transmisión hidrostática con independencia entre sí permiten una reducción significativa de los costes cuando la generación de energías renovables. El análisis de costos establecida del Departamento de Energía de EE.UU. (NREL- LWST COE) para la nueva transmisión hidrostática reduce los costos de la energía (\$ / kWh) de 21,7% si se compara con la turbina de la línea de base (2011). Beneficios adicionales notables se obtienen cuando se aplica en un nuevo tipo de instalación en alta mar.

Condiciones previas para la mejor utilización de la energía a partir del viento o el agua son una transmisión simple y eficiente de grandes potencias en baja, velocidades variables (rotor) en alta velocidad con número constante de revoluciones del motor de accionamiento (generador). Localmente separados de entrada de alimentación y salida simplifica la disposición del tren de transmisión y reducir el costo para fabricación, instalación y mantenimiento de la turbina. La nueva unidad hidrostática es insensible con respecto a la deformación y las vibraciones ya que todos los cojinetes son hidrostáticos autoajustables de extremadamente baja fricción. Cajas de engranajes y rodamientos de rodillos no se utilizan y la vida útil es ilimitada.

La nueva bomba de pistones radiales se encuentra en el cubo del rotor y transmite fluido hidráulico presurizado al motor hidráulico, impulsando el generador. La unidad del motor / generador y todas las instalaciones adicionales están situadas en un contenedor a nivel del suelo. Esto reduce los requisitos de mantenimiento, espacio, peso y resistencia a las condiciones climáticas, y se pueden utilizar componentes no específicos de la turbina.

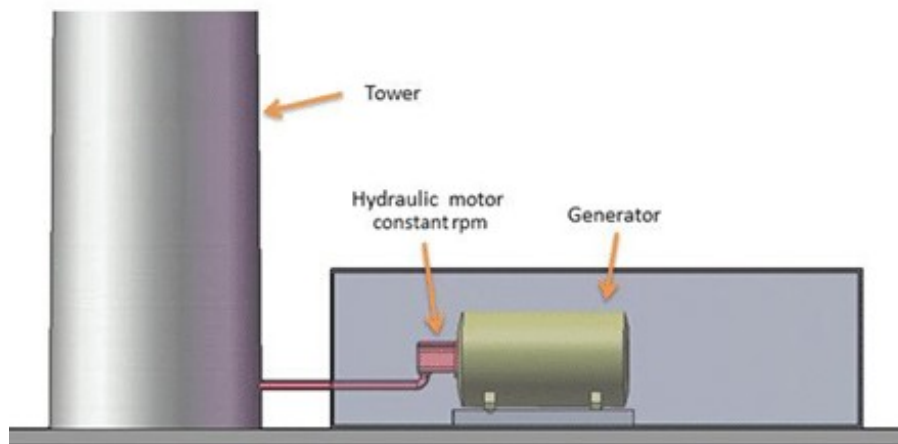
El concepto reduce el peso (rotor, góndola) sobre la torre de una turbina de 5 MW en un 50%, de 250 toneladas. a 120 toneladas y resulta en una torre y una instalación menos costosas.

Para reducir las pérdidas de energía y la tensión (deformación) de la turbina, el peso del rotor está soportado por cojinetes hidrostáticos autoalineables. Las fuerzas del pistón radial en el rotor / árbol de transmisión de la bomba están 100% equilibradas y no crean cargas adicionales del cojinete. Las bajas pérdidas internas y las mayores velocidades permitidas aumentan el rendimiento de energía del viento. El cálculo de las pérdidas para la bomba da como resultado una eficiencia del 96,5%, y para todo el tren motriz, desde el rotor hasta el eje del generador, en aprox. 89%.



Góndola

Los costos para la energía eólica se hacen más bajos con un tamaño creciente de la turbina. Sin embargo, las suposiciones actuales indican que, para una turbina de 12 MW, el peso sobre la torre excederá las 700 toneladas y hará que los grandes tamaños no sean rentables. El accionamiento hidrostático para una turbina de 12 MW (15 rpm) pesa aprox. 50 toneladas y reduce el peso para el rotor y la góndola en 300 toneladas (hasta aproximadamente 400 toneladas), permitiendo el uso de la corriente, construcciones de torre todavía transportables.



Concepto de estación terrestre.

Patente de EE.UU. Pendiente.

Las imágenes muestran la sección transversal de la bomba de pistón radial del cubo del rotor. La estación terrestre sólo se muestra como un concepto.

Nota: En la página original, el texto figura en alemán y en inglés. La traducción al español es la que ofrece el «translate» de google con algún mínimo retoque.