

Serie Tecnología

William E.  
Camilo R.

Agosto 2005



Colección UNAPEC por un mundo mejor

El molino de viento, una solución eólica al  
problema energético dominicano.





**UNIVERSIDAD APEC**

Colección UNAPEC por un mundo mejor

Serie Tecnología No.1 - ISBN - 99934-812-7-0

La Colección “UNAPEC por un mundo mejor” es una publicación mensual de la Universidad APEC, constituida por las series Ensayo, Investigación, Artes y Comunicación, Turismo, Tecnología, Administración y otros. Su finalidad es proyectar la vida académica e intelectual de la Universidad, mediante las publicaciones de monografías portadoras de avances de investigaciones, estudios de áreas, propuestas de divulgaciones de las grandes ideas del mundo contemporáneo, análisis de la sociedad de la información, expresiones artísticas, y todo cuanto concierne a los saberes del mundo de hoy.

## **UNIVERSIDAD APEC**

### **COMITÉ DIRECTIVO UNAPEC**

*Dr. Luis Heredia Bonetti*  
Presidente

*Lic. Carmen Cristina Álvarez*  
Vicepresidente

*Lic. Julio Ortega Tous*  
Tesorero

*Lic. Frederic Eman-Zadé*  
Secretario

*Ing. Francisco Hernández*  
Miembro

*Lic. Lil Magali Esteva*  
Miembro

*Dra. Cristina Aguiar*  
Miembro

*Lic. Opinio Álvarez*  
Presidente de APEC

*Dr. Franklin Holguín Haché*  
Director Ejecutivo de APEC

*Lic. Dennis R. Simó*  
Rector

### **COMITÉ EDITORIAL Y ASESORES**

*Andrés L. Mateo*  
*Guillermo Piña Contreras*  
*Irene Pérez Guerra*  
*Carlos Sangiovanni*  
*Olga Basora*  
*Lourdes Concepción*  
*Teresa Hidalgo*

### **ASESORES**

*Mariano Lebrón Saviñon*  
*Mario Suárez*

# Presentación

---

El mundo de hoy depende mayoritariamente del uso de los combustibles fósiles, y esa fuente de energía es finita y no renovable. El reto de la humanidad es buscar alternativas a esta hegemonía del uso de los hidrocarburos, y propulsar el empleo racional de energías renovables, que la naturaleza y la técnica moderna ofertan como opción frente al predominio del petróleo.

En el caso particular de la República Dominicana esta realidad es todavía más apremiante. Somos una isla totalmente dependiente del consumo del petróleo. Nuestra economía se mueve merced a los vaivenes del mercado de los hidrocarburos, y la estrecha topografía de nuestra condición isleña no da señales, todavía, de que el petróleo brotará del subsuelo como un milagro inmensamente añorado. En cambio, somos abundantemente ricos en días de sol y vientos airados. Convivimos de tal forma con el viento y el sol, que el predominio de estos dioses sobre nuestro hábitat ha abolido el ciclo de las estaciones. Si algo somos es un país de sol y de viento durante todo el año. Si algo vivimos con intensidad es el mito de lo idéntico, porque, ciertamente, sol y viento nos han deparado un “eterno verano”.

Este libro del profesor William E. Camilo Reynoso nos llama la atención sobre el hecho de que la formación de nuestros estudiantes de Ingeniería Eléctrica no hace énfasis en el desarrollo de las competencias para el diseño, fabricación y explotación de fuentes productoras de energía eléctrica alternativas como la solar y la eólica. Partiendo del tronco común de la carrera de Ingeniería Eléctrica, y apelando, entre otros recursos, a la creatividad, el profesor Camilo Reynoso propone una transformación curricular, y una práctica docente que empinen al futuro ingeniero sobre su propia realidad. Y esta transformación no debe efectuarse exclusivamente

en el plano teórico. En su ejercicio docente, el profesor Camilo Reynoso ha construido varios aerogeneradores de tamaño mediano, impulsando la investigación en energía eólica entre los estudiantes de ingeniería de UNAPEC. Los Aerogeneradores Wilcapec han dado una sustentación práctica a sus preocupaciones, y se han convertido en un estímulo apreciable para la investigación en nuestra comunidad.

Este libro es, por lo tanto, el resultado de un ejercicio docente creativo, del trabajo y de la investigación; y nos place publicarlo en nuestra colección “UNAPEC por un mundo mejor”, como un paradigma consustancial a nuestros empeños de ofrecer la excelencia académica. Algunas de las ideas del profesor Camilo Reynoso son hoy temas de discusión cotidianas, porque el problema energético toca la médula de la vida económica del país, y quizás éste sea el camino, el que obliga a volcarse sobre la creatividad, el que impone la necesidad de mirar como fuentes alternativas de energía, lo que la naturaleza nos ha dado en abundancia: el viento y el sol llameante.

Dennis R. Simó

Rector de UNAPEC

# Ing. William Ernesto Camilo Reynoso

---

Nació en la ciudad de Salcedo. Realizó estudios en el Instituto Politécnico Loyola ( San Cristóbal ), en donde obtuvo el título de Perito en Electricidad Industrial, en 1973.

En 1978 obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Autónoma de Santo Domingo ( UASD ). En el 2005 termina: 1) La Maestría en Educación, Mención en las Ciencias de la Ingeniería, dentro del acuerdo UNAPEC-CAMAGUEY, y 2) La Maestría en Ingeniería Eléctrica, Mención Comunicaciones, dentro del acuerdo UNAPEC-MAYAGUEZ (UPRM).

Ha realizado numerosos seminarios y cursos especializados tanto en el país como en el extranjero, de los que se destacan: El workshop para la educación basada en el desarrollo de competencias profesionales en la Universidad de Texas, A&M, en 1988. El workshop para el diseño y fabricación de Robots, en la Universidad Tecnológica de Panamá, en el 2003. El workshop para el Sensado Remoto Satelital, Instrumentación y Tratamiento Digital de la Señal, en la Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez, en el 2005.

Se ha desempeñado como catedrático en UNAPEC, desde el 1986, en el área de la ingeniería eléctrica y electrónica.

Ha desarrollado proyectos de innovación e investigación a nivel nacional; siendo el diseñador y constructor del primer carro eléctrico energizado con energía solar construido en el país, el primer invertidor trifásico de potencia, el primer vehículo híbrido (eléctrico-gasolina) del país, como también el diseño y fabricación de varios robots educacionales, como de varios prototipos de generadores eólicos, desde el Centro de

Experimentación y Desarrollo de Energías Alternativas de UNAPEC.

Actualmente, es el coordinador del área de Investigación e Innovación Tecnológica del Decanato de Tecnología e Ingeniería de UNAPEC.

Ha intervenido en numerosos cónclaves internacionales como expositor conferencista, de los cabe destacar:

1) El XIX Congreso Copimera 2003 ( Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y ramas afines, con el trabajo “Diseño y fabricación de automóviles eléctricos”.

2) El primer Congreso Interdisciplinario sobre la Investigación e Innovación en la Educación Superior, auspiciado por la Secretaría de Estado Ciencia y Tecnología, Hamaca 2005, con el trabajo “El desarrollo de competencias en el diseño y fabricación de fuentes de energías alternativas”.

3) VI Conferencia Internacional sobre la Educación Superior y el Entrenamiento basado en la Tecnología de la Información”, auspiciado por la institución IEEE, y la Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez, Juan Dolio 2005, con el trabajo: “Curricular Proposal for the Development of Competitions in the Design and Operation of Alternative Power Plants”.

# El molino de viento una solución eólica al problema energético dominicano

---

## ***Introducción***

En este trabajo de investigación se aborda el aprendizaje significativo en el estudiante de ingeniería eléctrica, a través del desarrollo de competencias para el diseño, fabricación y explotación de fuentes productoras de energía eléctrica alternativas como la solar y la eólica, entre otras. El propósito del trabajo es elaborar una propuesta curricular con acciones tendientes a utilizar los mapas solares y eólicos disponibles, más el material recaudado en energías alternativas, con la certidumbre de que al desarrollar esas competencias potenciaríamos un aprendizaje significativo en nuestro egresado de ingeniería eléctrica. Los métodos de campo empleados entre otros son: la observación, la encuesta, la entrevista, el análisis estadístico, la experimentación, y el trabajo con las diversas fuentes documentales disponibles, además de la utilización de técnicas como la triangulación de las necesidades cognoscitivas, tomando en cuenta las deficiencias presentes en los egresados, que imposibilitan la correcta implementación de modelos energéticos alternativos. Los principales resultados a obtenerse son las competencias a desarrollarse a partir del nuevo currículo donde, además de lograrse el desarrollo cognoscitivo y productivo psicomotor, se obtenga un modelo energético económico, sostenible y viable.

Con la Propuesta curricular para la formación del ingeniero eléctrico con especialidad en el diseño y explotación de fuentes de energía alternativa no convencional; damos a conocer la problemática a investigar. Este proyecto refiere al plan de capacitación y desarrollo intelectual del mate-

rial humano en dominicana en el área eléctrica ; ( específicamente de la ingeniería eléctrica ),para el área de energía alternativa no convencional, en orden a definir y resolver el problema de las deficiencias en la generación y suministro adecuado de la energía eléctrica a la nación y sociedad dominicana, en sentido general.

El autor investiga el por qué de estas deficiencias, y destaca que el currículo prepara al Ingeniero Eléctrico sin contemplar el desarrollo de energías alternativas. Estas fuentes no convencionales no aparecen de manera preponderante en los planes de estudio. Por eso esta investigación parte de la realidad concreta de nuestro país, y pretende encontrar soluciones factibles.

### ***Soluciones factibles a la situación***

En vista de la situación de una formación profesional insuficiente en los egresados de ingeniería eléctrica en la República Dominicana, comenzaremos a investigar sus causas.

### ***Problema***

Insuficiencias en el currículo del ingeniero electricista que no posibilitan que los alumnos generalicen las competencias profesionales.

### ***Objetivo***

La meta queda delimitada al análisis del currículo del ingeniero electricista de la carrera de ingeniería eléctrica de la universidad APEC.

## ***Método***

Una metodología de diseño curricular desarrolladora basada en la generalización de las competencias profesionales que propicie que los alumnos den solución a las necesidades sociales referidas a la energía eléctrica.

## ***Campo***

Metodologías de diseño curricular desarrolladoras.

## ***Ideas a defender***

- Una propuesta curricular para la formación de un ingeniero eléctrico, que posibilite el desarrollo de competencias en el trabajo con fuentes alternativas no convencionales.

- Debe ser innovador en cuanto esta energía no es la tradicional que se emplea en el país.

- Debe partir del tronco común de la carrera de ingeniería eléctrica.

- Debe desarrollarse teniendo en cuenta la necesidad de que los alumnos sean emprendedores.

Nos proponemos implementar un programa de desarrollo de pequeños aerogeneradores para escala micro en la producción energética del orden de los 3 a 12 KVA, mismos que podrán ser adquiridos o fabricados por el grueso de la población, mitigando o resolviendo su problema de energía eléctrica.

Sobre la dimensión metodológica de nuestra propuesta de un modelo curricular para el desarrollo de competencias en el área de las energías

alternativas nos adentramos en el método problematizador heurístico, a través de estrategias educativas que observen el devenir de la revolución científico-técnica, y la necesidad imperativa de moldear nuestros modelos educativos con la dialéctica de la ciencia, la complejidad, el caos, la entropía y la poiética.

Iniciamos desentrañando esta línea de pensamiento para, a través de su cristal, descubrir, observar, argumentar, interpretar y explicar la novedad del quehacer científico educativo, sus interacciones y leyes; para elaborar una plataforma metodológica donde el norte sea aprender a aprender haciendo y rehaciendo la realidad que nos circunda.

Esta investigación conduce a la concreción de un modelo curricular novedoso, ya definidos los problemas a la luz de la metodología científica. Desde un currículo con tronco común en la ingeniería eléctrica; pero con ramificaciones o especialidades en potencia, controles y en energías alternativas, (esta última a implantarse como fruto de esta propuesta curricular).

Planeamos las enmiendas en la disciplina de nuestra carrera de ingeniería eléctrica en la Universidad UNAPEC, al reconocer los objetivos que queremos alcanzar en el área de la energía no convencional, tal como la eólica, la solar, la de la biomasa y la del hidrógeno.

Estas nuevas fuentes de energía servirían para generar energía eléctrica para el país, para la implementación de vehículos de tracción eléctrica, y además para el uso de elementos de energía eólica, solar o por celda de combustible de hidrógeno, para los inversores DC/AC, las comunicaciones, el sensado remoto satelital y la robótica educativa, entre otros.

## ***Referencia para nuestras nuevas disciplinas***

Hemos de tomar como punto de partida y referencia para nuestras nuevas disciplinas, los contenidos y metodologías de los modelos que funcionan en el área de las energías alternativas, a nivel de otras naciones, con sus propias características regionales y el estado de la ciencia en el momento y reacondicionarlos o reconstruirlos de acuerdo a nuestra realidad y necesidades sociales específicas, para poseer un currículo adecuado y resolver nuestra carencia energética, además aportar al conocimiento, la ciencia y la tecnología.

Es por ello que nos hemos embarcado en la investigación y construcción de varios aerogeneradores de tamaño mediano, su caracterización y diagnóstico; esos prototipos que se han estado desarrollando como elemento piloto en nuestra UNAPEC durante 2 años, para que del fruto de este trabajo podamos acopiar las experiencias y documentación necesarias, a partir del elemento tangible factoprensencial.

## ***Desarrollo de prototipos del modelo.***

En adelante nos proponemos exponer la tecnología básica, más un glosario de materiales imprescindibles para la producción de fuentes alternativas, en específico "de equipos eólicos", para disponernos a orientar sobre las metodologías desarrolladoras que debemos conseguir en nuestros estudiantes; las estrategias heurísticas, las operaciones de construcción, las acciones de ensamblaje, y las actividades, las tareas, las prácticas de toma de datos y documentación; así como las pruebas de campo para la puesta en marcha, el registro de mediciones, computo y comprobación de los resultados, para la reevaluación o aceptación del modelo del prototipo y de la eficacia de las competencias adquiridas a través del resultado obtenido del proyecto curricular.

Estas gráficas presentan una celda de combustible, un aerogenerador convencional y algunos paneles de energía solar típicos hoy en día:



## ***Desarrollo del proyecto***

A partir de la derivación de la investigación de campo realizada por el proyecto de aerogeneradores y otras fuentes alternativas en UNAPEC, más el acervo de otras fuentes documentales nacionales; procedemos a sugerir las nuevas disciplinas del currículo modificado para la especialidad de Ingeniero Eléctrico mención Energías Alternativas:

\* Disciplinas:

- 1.- Recursos energéticos alternativos
- 2.- Máquinas de energías alternativas
- 3.- Emplazamiento y explotación de fuentes de energías alternativas no

convencionales.

\*Temas de las nuevas disciplinas para derivar las asignaturas:

a) Recursos naturales energéticos de la República Dominicana y el Caribe

b) Potencial energético del sol, viento, agua, hidrógeno, biomasa

c) El trazado completo de los mapas eólicos y solares del País, como las gráficas de periodicidad, rendimiento, velocidad, rigurosidad, potencia y eficiencia del viento.

d) El sensado remoto satelital para la estratificación de los potenciales eólicos, temporadas, altitudes, etc.

e) Diseño mecánico de la torre, góndola, palas o hélices

f) Multiplicadores de velocidad

e) Veletas y medidores de viento

f) Automatismos para control de voltaje, potencia y velocidad y frenado de emergencia

g) Elementos de seguridad en elevaciones o alturas, prevención de accidentes, y elaboración de planes de contingencia para tormentas, y ciclones.

h) Proyectos eólicos, solares y de celdas de combustible entre otros

i) Estudios de casos para análisis de factibilidad económica

j) Seminarios de investigación sobre energías alternativas sustentables

k) Otros

## *Proyecto de investigación en energía eólica realizado en UNAPEC*





Aerogenerador **Wilcapec2** de 2 metros de diámetro en Aspas.



Aerogenerador **Wilcapec4** de 4 metros de diámetro en Aspas.

## ***Algunos detalles de nuestro proyecto de construcción eólico: "UNAPEC"***

Diseño de un aerogenerador de 4 Aspas de 1 metro de radio ( 2 metros de diámetro), tipo trébol de 4 hojas; y de un aerogenerador de 3 Aspas de 2 metros de radio ( 4 metros de diámetro ).

Resultados preliminares y bosquejos en borrador de la torre.

Detalles:

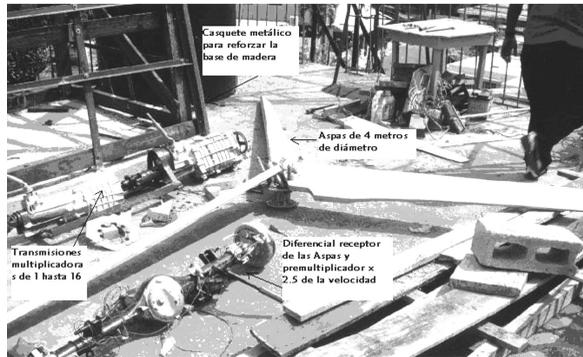
I.-) Diseño de un aerogenerador de 4 Aspas de 1 metro de radio ( 2 metros de diámetro), tipo trébol de 4 hojas

- 1) material de las Aspas de 2 metros de diámetro: Zinc calibre #20
- 2) inclinación de las aspas sobre su eje de sujeción de 45 grados.
- 3) Potencia esperada a velocidades de viento de 14 m/s 650 Watts.
- 4) Velocidad de viento promediada durante las corridas desde 2003-2005 de 4 m/s.
- 5) altura de esta torre 12 pies; montaje sobre una tercera planta de 45pies para un total de 57 pies ( 17.37 metros).
- 6) Relación del multiplicador de velocidad : 1 a 11.67
- 7) Velocidad angular promedio de entrada en las hélices o Aspas con carga: 60 RPM.
- 8) Velocidad angular promedio en el generador montado en la góndola: 700 RPM.
- 9) Corriente generada a 12 vdc, 20 Amperios.
- 10) Corriente generada a 24 vdc, 10 Amperios.

II.-) Para la torre de 23 pies en madera tratada, con altura sobre el piso de 20 metros y con generador de 4 metros de diámetro en las hélices, esperamos obtener potencias entre los 500 hasta los 3,500 Watts. ( observar curvas de diámetro de Aspa, y velocidad del viento más abajo) .



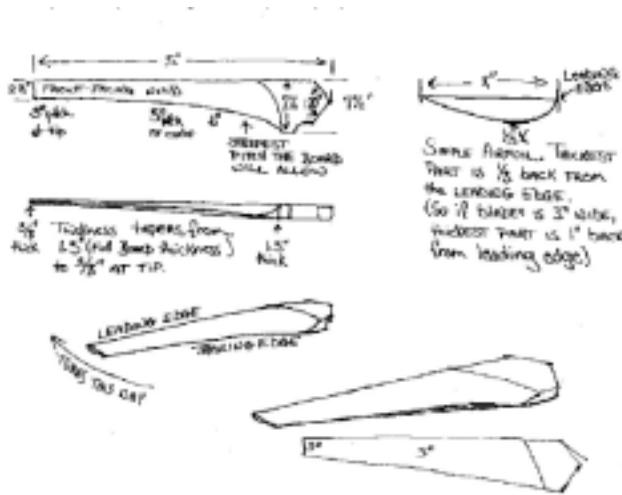
Detalles de la torre antes de montar el generador



Detalles del entorno de trabajo con los materiales a instalarse en la torre



Detalles sobre la fabricación de las Hélices o Aspas del tripala Wilcapec4.

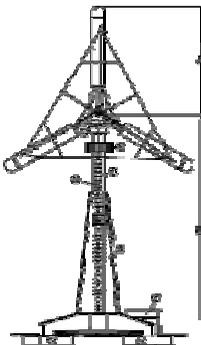


Diseño de la geometría de las Aspas

(Para ampliar rango debemos multiplicar las dimensiones por el factor de escala nuevo).

## ***Gráficas sobre generadores eólicos en plena función***

Este es nuestro modelo de referencia por excelencia para el diseño del Wilcapec.

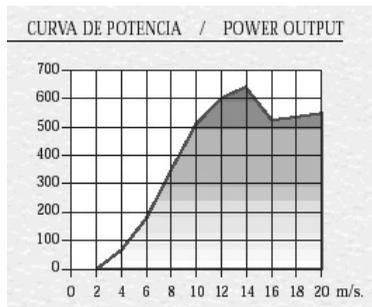


El innovador aerogenerador de Gedser de 200 kW (35 K JPEG) fue construido en 1956-57 por J. Juul para la compañía eléctrica SEAS en la costa de Gedser, en la parte sur de Dinamarca.

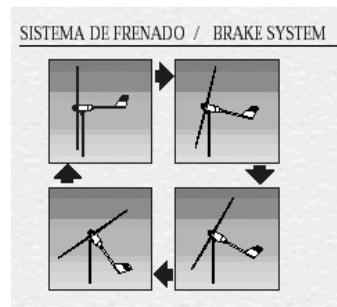
La turbina tripala con rotor a barlovento, con orientación electromecánica y un generador asíncrono fue un diseño pionero de los modernos aerogeneradores, aunque su rotor con cables de acero parezca actualmente algo pasado de moda.

La turbina disponía de regulación por pérdida aerodinámica, y J. Juul inventó los “anchor” frenos aerodinámicos de emergencia en punta de pala, que se sueltan por la fuerza centrífuga en caso de sobrevelocidad. Básicamente, el mismo sistema es hoy en día utilizado en las modernas turbinas de regulación por pérdida aerodinámica.

La turbina, que durante muchos años fue la más grande del mundo, fue increíblemente duradera. Funcionó durante 11 años sin mantenimiento.

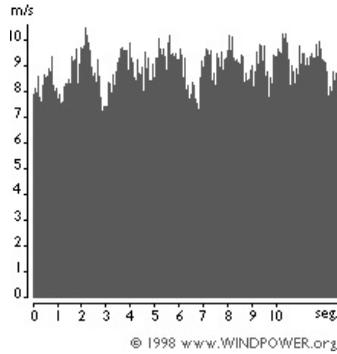


Datos para Wilcapec2 de 650watts



Variabilidad de la velocidad del viento  
Variabilidad del viento a corto plazo

## El molino de viento, una solución eólica al problema energético dominicano



DATOS TÉCNICOS		TECHNICAL DATA	
ROTOR		ROTOR	
Nº de hélices	2	Number of blades	
Diámetro	2 mts.	Diameter	
Material	Fibra de vidrio / carbono / Carbon / glass fibers	Material	
SISTEMA ELÉCTRICO		ELECTRICAL SYSTEM	
Tipo	Alternador trifásico de imanes permanentes Three phases permanent magnet alternator	Type	
Imanes	Ferrita / Ferrite	Magnets	
Pot. nominal	600 w	Nominal power	
Voltaje	12, 24, 48 v.	Voltage	
Regulador	100 Amp. = 12 v • 50 Amp. = 24, 48 v.	Regulator	
OPCIONAL		OPTIONAL	
Híbrido: freno y resistencia agua / Hybrid: brake and heat water resistance			

Cuadro de datos para generador **Wilcapec2** con 4 aspas metálicas de 2 metros de diámetro y curvas de potencia.

DATOS TÉCNICOS		TECHNICAL DATA																							
ROTOR		ROTOR																							
Nº de hélices	2	Number of blades																							
Diámetro	4 mts.	Diameter																							
Material	Fibra de vidrio / carbono / Carbon / glass fibers	Material																							
SISTEMA ELÉCTRICO		ELECTRICAL SYSTEM																							
Tipo	Alternador trifásico de imanes permanentes Three phases permanent magnet alternator	Type																							
Imanes	Neodimio / Neodymium	Magnets																							
Pot. nominal	3000 w	Nominal power																							
Voltaje	24, 48, 120, 220 v. 150 A.R = 24, 48 v	Voltage																							
Regulador	( Con freno / With brake )	Regulator																							
OPCIONAL Resistencia agua / Heat water resistance		OPTIONAL																							
FUNCIONAMIENTO: Velocidad del viento		PERFORMANCE: Windspeed																							
Para arranque	3,5 m/s.	For turn on																							
Para Pot. nominal	12 m/s.	For nominal power																							
Para frenado automático	14 m/s.	For automatic brake																							
Peso	125 Kg.	Weight																							
Embalaje	1 caja de madera - 210 x 54 x 74 - 1 wood box	Packets																							
SISTEMA DE FRENADO / BRAKE SYSTEM		CURVA DE POTENCIA / POWER OUTPUT																							
		<table border="1"> <caption>Data points for Power Output vs. Wind Speed</caption> <thead> <tr> <th>Wind Speed (m/s)</th> <th>Power Output (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>1000</td></tr> <tr><td>8</td><td>2000</td></tr> <tr><td>10</td><td>2500</td></tr> <tr><td>12</td><td>3000</td></tr> <tr><td>14</td><td>3500</td></tr> <tr><td>16</td><td>3200</td></tr> <tr><td>18</td><td>3000</td></tr> <tr><td>20</td><td>3500</td></tr> </tbody> </table>		Wind Speed (m/s)	Power Output (W)	0	0	3.5	0	6	1000	8	2000	10	2500	12	3000	14	3500	16	3200	18	3000	20	3500
Wind Speed (m/s)	Power Output (W)																								
0	0																								
3.5	0																								
6	1000																								
8	2000																								
10	2500																								
12	3000																								
14	3500																								
16	3200																								
18	3000																								
20	3500																								

Cuadro para generador **Wilcapec4** con tres palas de madera tratada con 4 metros de diámetro y curvas de potencia.

## ***Ejemplos de Sistemas eólicos sostenibles***

Las distintas fuentes de energía se clasifican en dos grandes grupos: renovables y no renovables.

- **Renovables:** Son aquellas fuentes que no desaparecen al transformar su energía en energía útil.

- **No renovables:** Es el sistema material que se agota al transformar su energía en energía útil.

## ***Fuentes de energía renovables***

- Agua almacenada en los pantanos (energía hidráulica)
- El Sol (energía solar)
- El viento (energía eólica)
- La biomasa
- Las mareas (energía mareomotriz)
- Las olas

## ***No renovables***

- Combustibles fósiles: Carbón, Petróleo, Gas Natural.
- Geotérmica
- Uranio (energía nuclear de fisión)

## ***Energía de los combustibles fósiles***

Es la energía asociada al uso del carbón, gas natural y petróleo.

La forma de energía que poseen los combustibles fósiles es energía interna, que podemos aprovechar a partir de las reacciones de combustión.

Se puede transformar en lo que habitualmente se denomina energía térmica (calefacción), energía eléctrica, energía cinética (a través de los motores de combustión interna), etc. Es utilizada en multitud de aplicaciones domésticas e industriales.

### ***Ventajas***

- Facilidad de extracción
- Tecnología bien desarrollada
- Además de fuente de energía, en los procesos de separación, se proporcionan materias primas para la industria química, medicina, alimentación,...

### ***Inconvenientes***

- No renovable. Se estima que, al ritmo de consumo actual, las reservas se agotarán en menos de 100 años.
- Transporte caro
- Difícil almacenamiento
- Provoca graves problemas ambientales: efecto invernadero, lluvia ácida...
- Es un desperdicio destinar a ser quemados materiales que son materias primas para la industria química, medicina, alimentación, etc

## **1. *Energía Hidráulica***

Es la energía asociada a los saltos de agua ríos y embalses

La forma de energía que posee el agua de los embalses es energía potencial gravitatoria, que podemos aprovechar conduciéndola y haciéndola caer por efecto de la gravedad.

Se puede transformar en energía mecánica en los molinos de agua y en energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas.

### ***Ventajas***

- Es una energía limpia
- No contaminante
- Su transformación es directa
- Es renovable

### ***Inconvenientes***

- Imprevisibilidad de las precipitaciones
- Capacidad limitada de los embalses
- Impacto medioambiental en los ecosistemas
- Coste inicial elevado (construcciones de grandes embalses)
- Riesgos debidos a la posible ruptura de la presa

## **1. *Energía Eólica***

Es la energía asociada al viento.

La forma de energía que posee es la energía cinética del viento, que podemos aprovechar en los molinos, en la navegación a vela,...

Se puede transformar en energía mecánica en los molinos de vientos o barcos de vela, y en energía eléctrica en los aerogeneradores.

### ***Ventajas***

- Limpia
- Sencillez de los principios aplicados
- Conversión directa
- Empieza a ser competitiva

### ***Inconvenientes***

- Intermitencia de los vientos
- Dispersión geográfica
- Impacto ambiental sobre ecosistemas
- Generación de interferencias
- Tecnología en desarrollo
- Dificultad de almacenamiento

## ***1. Energía Solar***

Es la energía asociada a la radiación solar.

La forma de energía que posee el Sol es energía nuclear interna, que se transforma en la energía que emite mediante procesos de fusión. El Sol emite sin cesar lo que se llama energía radiante o, simplemente, radiación.

Se transforma en lo que habitualmente se denomina energía térmica y en energía eléctrica. Se puede realizar directamente (fotovoltaica) o indirectamente.

### ***Ventajas***

- Limpia
- Sencillez de los principios aplicados
- Conversión directa
- Empieza a ser competitiva

### ***Inconvenientes***

- Grandes variaciones en el tiempo de irradiación
- Es aprovechable sólo en algunas partes del planeta
- Necesidad de grandes superficies de captación para su aprovechamiento a gran escala
  - Tecnología en desarrollo
  - Dificultad de almacenamiento

## ***1. Energía de la Biomasa***

Es la energía asociada a los residuos orgánicos generados en la transformación de productos agrícolas, forestales y a los residuos sólidos urbanos. Se trata de aprovechar la energía interna de estos residuos. También se cultivan grandes superficies específicamente para producir biomasa.

Se puede transformar en combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (alcohol y otros) y gaseosos (biogás). De su combustión se puede obtener energía eléctrica.

### ***Ventajas***

- Favorece el reciclaje de residuos urbanos
- Contribuye a una mejor limpieza de los bosques y como consecuencia previene incendios forestales
- Aprovecha ciertos terrenos que no son válidos para otros cultivos.

### ***Inconvenientes***

- Necesidad de grandes superficies de cultivo
- Tecnología en desarrollo

## ***1. Energía Mareomotriz***

Es la energía asociada a las mareas provocadas por la atracción gravitatoria del Sol y principalmente de la Luna.

Se transforma en energía eléctrica.

### ***Ventajas***

- Limpia
- Renovable

### ***Inconvenientes***

- Necesita construir presas y diques
- Posible impacto ambiental en ecosistemas
- Sólo es aprovechable en lugares muy concretos
- Corrosión de los sistemas

## ***Centrales Eólicas***

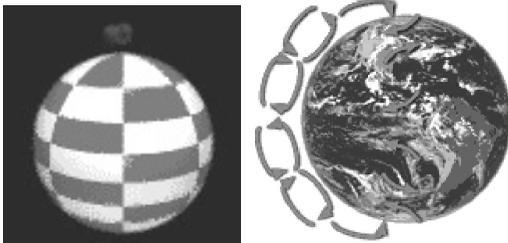
Las centrales eólicas se basan en la utilización del viento como energía primaria para la producción de energía eléctrica. La energía eólica ha sido un recurso empleado desde tiempos remotos en diferentes partes del mundo y para diversos propósitos.

## ***Origen de la Energía Eólica***

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), incluso la de los combustibles sólidos, provienen, en último término, del Sol. El Sol irradia  $10^{14}$  kw·h de energía hacia la Tierra. En otras palabras, si tenemos en cuenta que  $1 \text{ kw} \cdot \text{h} = 3.600.000$  julios y esta energía se transmite en una hora, la Tierra recibe del Sol  $10^{17}$  w de potencia.

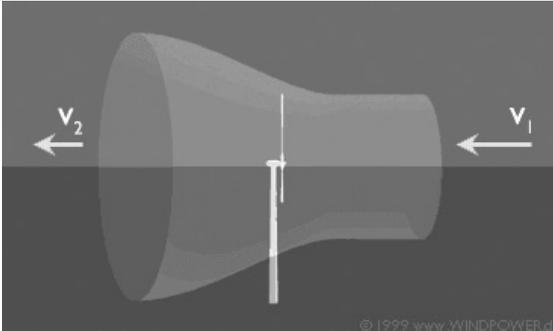
- Alrededor de un 1 a un 2% de la energía proveniente del Sol es convertible en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la Tierra.

- Imagen circulacoriolis



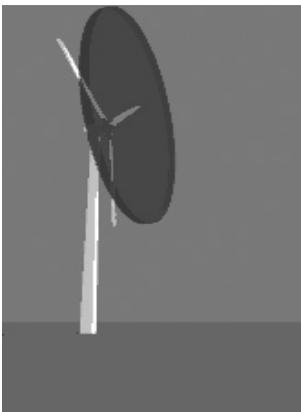
- Este modelo de circulación, todavía se ve perturbado por la formación de torbellinos que se generan en las zonas de interpolación de los diferentes ciclos. El componente transversal de la velocidad del viento genera unas olas, que poco a poco se van incrementando hasta que la circulación se rompe, produciéndose unos torbellinos que se mueven independientemente.

## ***Los aerogeneradores desvían el viento***



Un aerogenerador desviará el viento antes incluso de que el viento llegue al plano del rotor. Esto significa que nunca seremos capaces de capturar toda la energía que hay en el viento utilizando un aerogenerador. En la imagen de arriba tenemos el viento que viene desde la derecha y usamos un mecanismo para capturar parte de la energía cinética que posee el viento (en este caso usamos un rotor de tres palas, aunque podría haberse tratado de cualquier otro mecanismo).

## ***El tubo de corriente***



El rotor de la turbina eólica debe obviamente frenar el viento cuando captura su energía cinética y la convierte en energía rotacional. Esto implica que el viento se moverá más lentamente en la parte izquierda del rotor que en la parte derecha.

Dado que la cantidad de aire que pasa a través del área barrida por el rotor desde la derecha (por segundo) debe ser igual a la que abandona el área del rotor por la izquierda, el aire ocupará una mayor sección transversal (diámetro) detrás del plano rotor.

Este efecto puede apreciarse en la imagen superior, donde se muestra un tubo imaginario, el llamado *tubo de corriente*, alrededor del rotor de la turbina eólica. El tubo de corriente muestra cómo el viento moviéndose lentamente hacia la izquierda ocupará un gran volumen en la parte posterior del rotor.

El viento no será frenado hasta su velocidad final inmediatamente detrás del plano del rotor. La ralentización se producirá gradualmente en la parte posterior del rotor hasta que la velocidad llegue a ser prácticamente constante.

## ***Potencia desarrollada por un aerogenerador***

*o La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende, como hemos visto, de la densidad del aire, "d", del área de barrido del rotor, "A", y de la velocidad del viento, "v".*

*La energía cinética de una masa de aire, "m", moviéndose a una velocidad, "v", responde a la expresión:*

$$\text{o } E = 1/2 mv^2$$

*Si el volumen de aire que se mueve es "V" y tiene una densidad "d" su masa será;  $m = V \cdot d$ , con lo que su energía cinética será:*

$$E_c = 1/2 dVv^2$$

*La cantidad de aire que llegará al rotor de un aerogenerador en un*

tiempo “t” dependerá de: el área de barrido del rotor “A” y de la velocidad del viento.

El volumen del aire que llega al rotor será:

$$V = Avt$$

La energía cinética que aporta el aire al rotor en un tiempo “t” será:

$$E_c = 1/2 dAvt^3$$

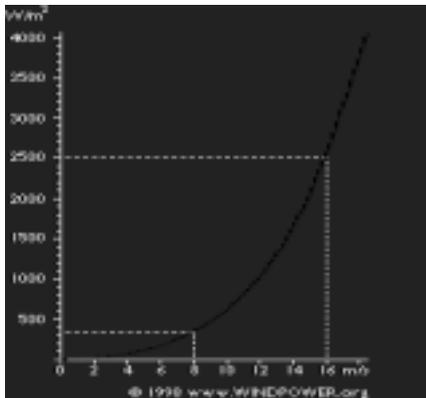
$$E_c = 1/2 dAtv^3$$

Y la potencia aportada al rotor será:

$$P_c = 1/2 dAv^3$$

- Como se observa, La potencia del viento es proporcional al cubo de la velocidad del viento

El gráfico muestra que con una velocidad del viento de 8 m/s obtenemos una potencia de 314 W por cada metro cuadrado expuesto al viento (viento incidente perpendicularmente al área barrida por el rotor). A 16 m/s obtendremos una potencia ocho veces mayor, 2.509 W/m<sup>2</sup>.



- Como también hemos visto anteriormente el aerogenerador ralentiza el viento al pasar por el rotor, hasta un 2/3 de su velocidad inicial. Lo que significa que no se aprovecha toda la energía cinética que el viento

aporta al rotor, existiendo una ley, llamada Ley de Benz que nos dice:

“Sólo puede convertirse menos de 16/27 (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador”.

### ***Potencia de la fórmula del viento***

La potencia del viento que pasa perpendicularmente a través de un área circular es:

$$P = 1/2 \rho v^3 \pi r^2$$

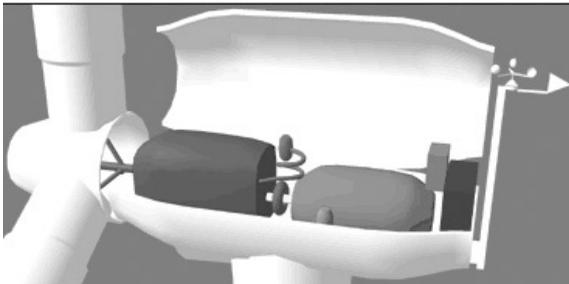
Donde P = potencia del viento medida en W (vatios).

$\rho$  = densidad del aire seco = 1.225 medida en kg/m<sup>3</sup> (kilogramos por metro cúbico, a la presión atmosférica promedio a nivel del mar y a 15° C).

v = velocidad del viento medida en m/s (metros por segundo).  $\pi$ =(pi)= 3.1415926535...

r = radio (esto es, la mitad de un diámetro) del rotor medido en m (metros).

### ***Componentes de un aerogenerador***



- **La góndola**

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. A la izquierda de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir las palas y el buje.

- **Las palas del rotor**

Capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. En un aerogenerador moderno de 600 kW cada pala mide alrededor de 20 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión.

- **El buje**

El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.

- **El eje de baja velocidad**

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira muy lento, a unas 19 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.) El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

- **El multiplicador**

Tiene a su izquierda el eje de baja velocidad. Permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad.

- **El eje de alta velocidad**

Gira aproximadamente a 1.500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

- **El generador eléctrico**

Suele ser un generador asincrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1.500 kW.

- **El controlador electrónico**

Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante modem.

- **La unidad de refrigeración**

Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

- **La torre**

Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 600 kW tendrá una torre de 40 a 60 metros (la altura de un edificio de 13 a 20 plantas). Las torres pueden ser bien torres tubulares (como la mostrada en el dibujo) o torres de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

- **El mecanismo de orientación**

Está activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta.

El dibujo muestra la orientación de la turbina. Normalmente, la turbina sólo se orientará unos pocos grados cada vez, cuando el viento cambia de dirección.

El anemómetro y la veleta

Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/S. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

Conclusión:

El autor pretende a través de un ejemplo de proyecto en investigación actual; brindar las líneas referente al diseño de aerogeneradores sostenibles para el País.

Además la derivación de las nuevas posibles disciplinas para conformar una especialidad en el área de las energías alternativas; temáticas para las asignaturas, una posible enmienda al currículo actual desde el tronco común de la ingeniería eléctrica de UNAPEC con las posibles nuevas asignaturas y un diseño de ejemplo apropiado para alguna de ellas que sirva como referencia en la concreción práctica definitiva de todas las materias en ingeniería eléctrica mención energías alternativas. Nos proponemos dejar de manera accesible como legado, los programas actuales del tronco común y las sugerencias al nuevo currículo.

## ***BIBLIOGRAFÍA :***

\* Gaceta Oficial Congreso Dominicano con la Ley Orgánica de Educación Nro.66 del 97 (artículo 8 ,acerca de las competencias el Estado) de la República Dominicana. 1997.

\* Notas de las Unidades suministradas por "UNAPEC" a través de su sitio Web para la capacitación docente bajo el acuerdo con la Universidad de "Camagüey", Cuba.

Portuondo Padrón, R. "Teoría del Diseño Curricular", RELUC, (Camagüey) (1):1-10, 2000.

Prigogine I.: ¿Tan Solo Una Ilusión? Una exploración del Caos al Orden. Tusquets Editores SA. Barcelona, 1993.

Prigogine I.: El Fin de las certidumbres. Editorial Andrés Bello. Santiago, 1997.

Prigogine I., Stengers I.: La nueva alianza: metamorfosis de la ciencia, Madrid, Alianza, 2ª. ed. 1990.

Copyright 1997-2003 Asociación danesa de la industria eólica  
Actualizado el 10 de mayo 2003  
<http://www.windpower.org/es/tour/design/concepts.htm>.

