

Educación técnico-profesional



Generador eólico



λ Θ α Ψ δ Σ σ Ω φ

Serie: Recursos didácticos

Serie: Recursos didácticos

Tapa:
Imagen combinada de la Supernova Remnant captada
por el telescopio Hubble - NASA.

a u t o r i d a d e s

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Daniel Filmus

DIRECTORA EJECUTIVA DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. María Rosa Almandoz

DIRECTOR NACIONAL DEL CENTRO NACIONAL DE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Generador eólico

Esteban Curcio

Sergio Pizarro

Con la colaboración de:

Adriana Magni

Ana Casale

Colección Serie “Recursos didácticos”.

Director del Programa: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general: Haydeé Noceti.

Distribución de carácter gratuito.

Queda hecho el depósito que previene la ley n° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

La reproducción total o parcial, en forma idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico incluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información no autorizada en forma expresa por el editor, viola derechos reservados.

Industria Argentina.

ISBN 950-00-0530-1

Curcio, Esteban

Generador eólico / coordinado por Juan Manuel Kirschenbaum.

- 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2006.

140 p.; 22x17 cm. (Recursos didácticos; 21)

ISBN 950-00-0530-1

I. Energía Eólica.

I. Kirschenbaum, Juan Manuel, coord. II. Título

CDD 621.312 136

Fecha de catalogación: 3/01/2006

Impreso en MDC MACHINE S. A., Marcelo T. de Alvear 4346 (B1702CFZ), Ciudadela, en marzo 2006

Tirada de esta edición: 2.000 ejemplares

Serie: “**Recursos didácticos**”

- 1 Invernadero automatizado
- 2 Probador de inyectores y de motores paso a paso
- 3 Quemador de biomasa
- 4 Intercomunicador por fibra óptica
- 5 Transmisor de datos bidireccional por fibra óptica, entre computadoras
- 6 Planta potabilizadora
- 7 Medidor de distancia y de velocidad por ultrasonido
- 8 Estufa de laboratorio
- 9 Equipamiento EMA –características físicas de los materiales de construcción–
- 10 Dispositivo para evaluar parámetros de líneas
- 11 Biodigestor
- 12 Entrenador en lógica programada
- 13 Entorno de desarrollo para programación de microcontroladores PIC
- 14 Relevador de las características de componentes semiconductores
- 15 Instalación sanitaria de una vivienda
- 16 Equipamiento para el análisis de estructuras de edificios
- 17 Cargador semiautomático para máquinas a CNC de accionamiento electroneumático
- 18 Biorreactor para la producción de alimentos
- 19 Ascensor
- 20 Pila de combustible
- 21 Generador eólico
- 22 Auto solar
- 23 Simuladores interconectables basados en lógica digital
- 24 Banco de trabajo
- 25 Matricería. Matrices y moldes
- 26 Máquina de vapor
- 27 Sismógrafo
- 28 Tren de aterrizaje
- 29 Manipulador neumático
- 30 Planta de tratamiento de aguas residuales

LAS METAS, LOS PROGRAMAS Y LAS LÍNEAS DE ACCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

El Instituto Nacional de Educación Tecnológica -INET- enmarca sus líneas de acción, programas y proyectos, en las metas de:

- Coordinar y promover programas nacionales y federales orientados a fortalecer la educación técnico-profesional, articulados con los distintos niveles y ciclos del sistema educativo nacional.
 - Implementar estrategias y acciones de cooperación entre distintas entidades, instituciones y organismos –gubernamentales y no gubernamentales-, que permitan el consenso en torno a las políticas, los lineamientos y el desarrollo de las ofertas educativas, cuyos resultados sean considerados en el Consejo Nacional de Educación-Trabajo –CoNE-T– y en el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Desarrollar estrategias y acciones destinadas a vincular y a articular las áreas de educación técnico-profesional con los sectores del trabajo y la producción, a escala local, regional e interregional.
 - Diseñar y ejecutar un plan de asistencia técnica a las jurisdicciones en los aspectos institucionales, pedagógicos, organizativos y de gestión, relativos a la educación técnico-profesional, en el marco de los acuerdos y resoluciones establecidos por el Consejo Federal de Cultura y Educación.
 - Diseñar y desarrollar un plan anual de capacitación, con modalidades presenciales, semipresenciales y a distancia, con sede en el Centro Nacional de Educación Tecnológica, y con nodos en los Centros Regionales de Educación Tecnológica y las Unidades de Cultura Tecnológica.
 - Coordinar y promover programas de asistencia económica e incentivos fiscales destinados a la actualización y el desarrollo de la educación técnico-profesional; en particular, ejecutar las acciones relativas a la adjudicación y el control de la asignación del Crédito Fiscal –Ley N° 22.317–.
 - Desarrollar mecanismos de cooperación internacional y acciones relativas a diferentes procesos de integración educativa; en particular, los relacionados con los países del MERCOSUR, en lo referente a la educación técnico-profesional.
- Estas metas se despliegan en distintos programas y líneas de acción de responsabilidad de nuestra institución, para el período 2003-2007:

Programa 1. Formación técnica, media y superior no universitaria:

- 1.1. Homologación y validez nacional de títulos.
- 1.2. Registro nacional de instituciones de formación técnica.
- 1.3. Espacios de concertación.
- 1.4. Perfiles profesionales y ofertas formativas.
- 1.5. Fortalecimiento de la gestión institucional; equipamiento de talleres y laboratorios.
- 1.6. Prácticas productivas profesionalizantes: Aprender emprendiendo.

Programa 2. Crédito fiscal:

- 2.1. Difusión y asistencia técnica.
- 2.2. Aplicación del régimen.
- 2.3. Evaluación y auditoría.

Programa 3. Formación profesional para el desarrollo local:

- 3.1. Articulación con las provincias.
- 3.2. Diseño curricular e institucional.
- 3.3. Información, evaluación y certificación.

Programa 4. Educación para el trabajo y la integración social.

Programa 5. Mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia:

- 5.1. Formación continua.
- 5.2. Desarrollo de recursos didácticos.

Programa 6. Desarrollo de sistemas de información y comunicaciones:

- 6.1. Desarrollo de sistemas y redes.
- 6.2. Interactividad de centros.

Programa 7. Secretaría ejecutiva del Consejo Nacional de Educación Trabajo –CoNE-T–.

Programa 8. Cooperación internacional.

Los materiales de capacitación que, en esta ocasión, estamos acercando a la comunidad educativa a través de la serie “Recursos didácticos”, se enmarcan en el Programa 5 del INET, focalizado en el mejoramiento de la enseñanza y del aprendizaje de la Tecnología y de la Ciencia, uno de cuyos propósitos es el de:

- Desarrollar materiales de capacitación destinados, por una parte, a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos; y, por otra, a la integración de los recursos didácticos generados a través de ellos, en las aulas y talleres, como equipamiento de apoyo para los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el área técnica.

Estos materiales didácticos han sido elaborados por especialistas del Centro Nacional de Educación Tecnológica del INET y por especialistas convocados a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD– desde su línea “Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos”, a quienes esta Dirección expresa su profundo reconocimiento por la tarea encarada.

María Rosa Almandoz

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología

LAS ACCIONES DEL CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

Desde el Centro Nacional de Educación Tecnológica –CeNET– encaramos el diseño, el desarrollo y la implementación de proyectos innovadores para la enseñanza y el aprendizaje en educación técnico-profesional.

El CeNET, así:

- Es un ámbito de desarrollo y evaluación de metodología didáctica, y de actualización de contenidos de la tecnología y de sus sustentos científicos.
- Capacita en el uso de tecnología a docentes, profesionales, técnicos, estudiantes y otras personas de la comunidad.
- Brinda asistencia técnica a autoridades educativas jurisdiccionales y a educadores.
- Articula recursos asociativos, integrando a los actores sociales involucrados con la Educación Tecnológica.

Desde el CeNET venimos trabajando en distintas líneas de acción que convergen en el objetivo de reunir a profesores, a especialistas en Educación Tecnológica y a representantes de la industria y de la empresa, en acciones compartidas que permitan que la educación técnico-profesional se desarrolle en la escuela de un modo sistemático, enriquecedor, profundo... auténticamente formativo, tanto para los alumnos como para los docentes.

Una de nuestras líneas de acción es la de diseñar y llevar adelante un sistema de capaci-

tación continua para profesores de educación técnico-profesional, implementando trayectos de actualización. En el CeNET contamos con quince unidades de gestión de aprendizaje en las que se desarrollan cursos, talleres, pasantías, conferencias, encuentros, destinados a cada educador que desee integrarse en ellos presencialmente o a distancia.

Otra de nuestras líneas de trabajo asume la responsabilidad de generar y participar en redes que vinculan al Centro con organismos e instituciones educativos ocupados en la educación técnico-profesional, y con organismos, instituciones y empresas dedicados a la tecnología en general. Entre estas redes, se encuentra la Red Huitral, que conecta a CeNET con los Centros Regionales de Educación Tecnológica –CeRET– y con las Unidades de Cultura Tecnológica –UCT– instalados en todo el país.

También nos ocupa la tarea de producir materiales de capacitación docente. Desde CeNET hemos desarrollado distintas series de publicaciones –todas ellas disponibles en el espacio web www.inet.edu.ar–:

- *Educación Tecnológica*, que abarca materiales que posibilitan una definición curricular del área de la Tecnología en el ámbito escolar y que incluye marcos teóricos generales, de referencia, acerca del área en su conjunto y de sus contenidos, enfoques, procedimientos y estrategias didácticas más generales.

- *Desarrollo de contenidos*, nuestra segunda serie de publicaciones, que nuclea fascículos de capacitación en los que se profundiza en los campos de problemas y de contenidos de las distintas áreas del conocimiento tecnológico, y que recopila, también, experiencias de capacitación docente desarrolladas en cada una de estas áreas.
- *Educación con tecnologías*, que propicia el uso de tecnologías de la información y de la comunicación como recursos didácticos, en las clases de todas las áreas y espacios curriculares.
- *Educadores en Tecnología*, serie de publicaciones que focaliza el análisis y las propuestas en uno de los constituyentes del proceso didáctico: el profesional que enseña Tecnología, ahondando en los rasgos de su formación, de sus prácticas, de sus procesos de capacitación, de su vinculación con los lineamientos curriculares y con las políticas educativas, de interactividad con sus alumnos, y con sus propios saberes y modos de hacer.
- *Documentos de la escuela técnica*, que difunde los marcos normativos y curriculares que desde el CONET –Consejo Nacional de Educación Técnica– delinearon la educación técnica de nuestro país, entre 1959 y 1995.
- *Ciencias para la Educación Tecnológica*, que presenta contenidos científicos asociados con los distintos campos de la tecnología, los que aportan marcos conceptuales que permiten explicar y fundamentar los problemas de nuestra área.
- *Recursos didácticos*, que presenta contenidos tecnológicos y científicos,

estrategias –curriculares, didácticas y referidas a procedimientos de construcción– que permiten al profesor de la educación técnico-profesional desarrollar, con sus alumnos, un equipamiento específico para integrar en sus clases.

Desde esta última serie de materiales de capacitación, nos proponemos brindar herramientas que permitan a los docentes no sólo integrar y transferir sus saberes y capacidades, sino también, y fundamentalmente, acompañarlos en su búsqueda de soluciones creativas e innovadoras a las problemáticas con las que puedan enfrentarse en el proceso de enseñanza en el área técnica.

En todos los casos, se trata de propuestas de enseñanza basadas en la resolución de problemas, que integran ciencias básicas y tecnología, y que incluyen recursos didácticos apropiados para la educación técnico-profesional.

Los espacios de problemas tecnológicos, las consignas de trabajo, las estrategias de enseñanza, los contenidos involucrados y, finalmente, los recursos didácticos están planteados en la serie de publicaciones que aquí presentamos, como un testimonio de realidad que da cuenta de la potencialidad educativa del modelo de problematización en el campo de la enseñanza y del aprendizaje de la tecnología, que esperamos que resulte de utilidad para los profesores de la educación técnico-profesional de nuestro país.

Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional del Centro Nacional de
Educación Tecnológica.
Instituto Nacional de Educación Tecnológica

LA SERIE “RECURSOS DIDÁCTICOS”

Desde esta serie de publicaciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica, nos proponemos:

- Poner a consideración de los educadores un equipamiento didáctico a integrar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje del área técnica que coordinan.
- Contribuir a la actualización de los docentes de la educación técnico-profesional, en lo que hace a conocimientos tecnológicos y científicos.

Inicialmente, hemos previsto el desarrollo de veinte publicaciones con las que intentamos abarcar diferentes contenidos de este campo curricular vastísimo que es el de la educación técnico-profesional.

En cada una de estas publicaciones es posible reconocer una estructura didáctica común:

1 Problemas tecnológicos en el aula. En esta primera parte del material se describen situaciones de enseñanza y de aprendizaje del campo de la educación técnico-profesional centradas en la resolución de problemas tecnológicos, y se presenta una propuesta de equipamiento didáctico, pertinente como recurso para resolver esas situaciones tecnológicas y didácticas planteadas.

2 Encuadre teórico para los problemas. En vinculación con los problemas didácticos y tecnológicos que constituyen el punto de partida, se presentan conceptos

tecnológicos y conceptos científicos asociados.

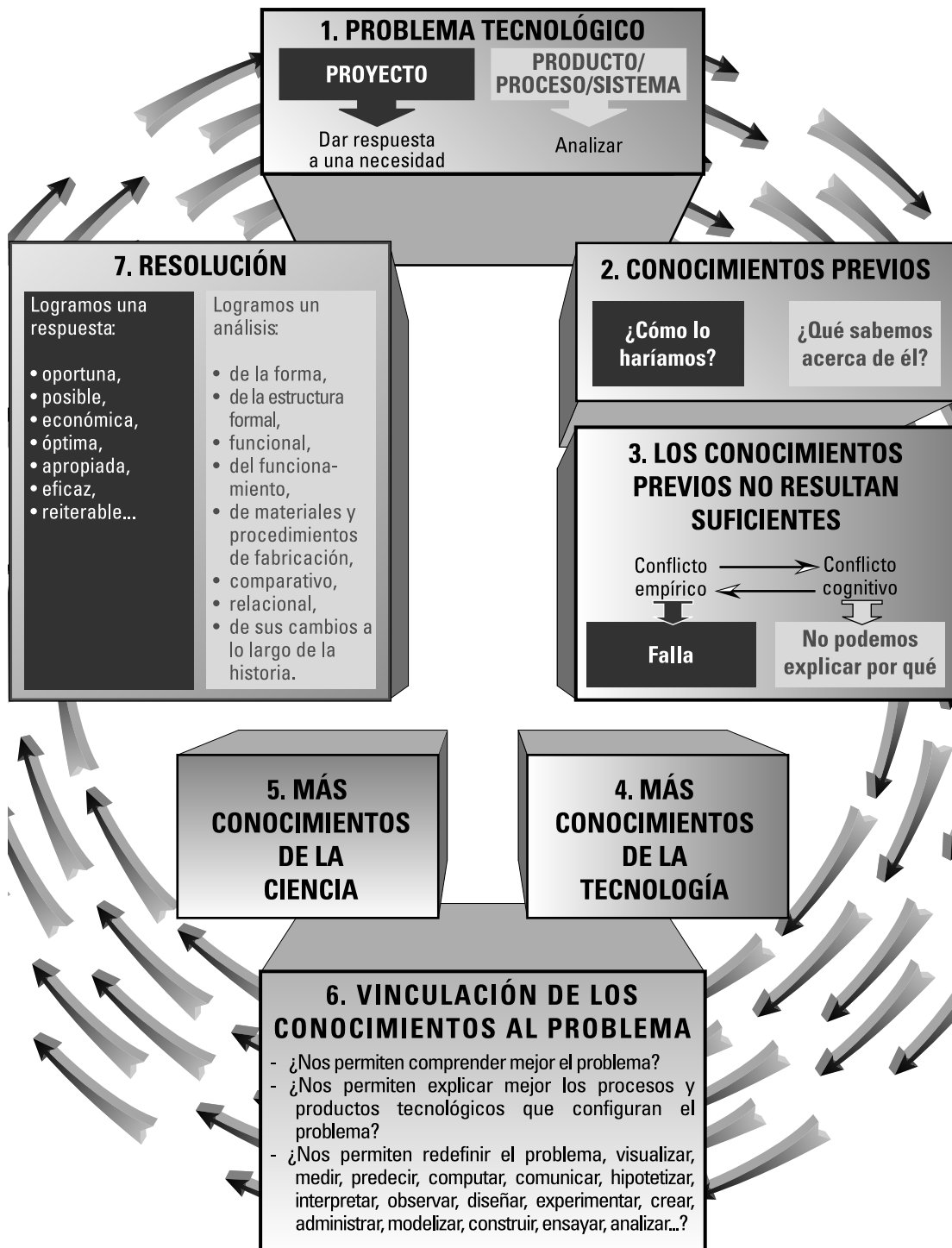
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.

Aquí se describe el equipo terminado y se muestra su esquema de funcionamiento; se presentan todas sus partes, y los materiales, herramientas e instrumentos necesarios para su desarrollo; asimismo, se pauta el “paso a paso” de su construcción, armado, ensayo y control.

4 El equipo en el aula. En esta parte del material escrito, se retoman las situaciones problemáticas iniciales, aportando sugerencias para la inclusión del recurso didáctico construido en las tareas que docente y alumnos concretan en el aula.

5 La puesta en práctica. Este tramo de la publicación plantea la evaluación del material didáctico y de la experiencia de puesta en práctica de las estrategias didácticas sugeridas. Implica una retroalimentación –de resolución voluntaria– de los profesores destinatarios hacia el Centro Nacional de Educación Tecnológica, así como el punto de partida para el diseño de nuevos equipos.

Esta secuencia de cuestiones y de momentos didácticos no es azarosa. Intenta replicar –en una producción escrita– las mismas instancias de trabajo que los profesores de Tecnología ponemos en práctica en nuestras clases:



Es a través de este circuito de trabajo (problema-respuestas iniciales-inclusión teórica-respuestas más eficaces) como enseñamos y como aprenden nuestros alumnos en el área:

- La tarea comienza cuando el profesor presenta a sus alumnos una **situación codificada en la que es posible reconocer un problema tecnológico**; para configurar y resolver este problema, es necesario que el grupo ponga en marcha un proyecto tecnológico, y que encare análisis de productos o de procesos desarrollados por distintos grupos sociales para resolver algún problema análogo. Indudablemente, no se trata de cualquier problema sino de uno que ocasiona obstáculos cognitivos a los alumnos respecto de un aspecto del mundo artificial que el profesor –en su marco curricular de decisiones– ha definido como relevante.
- El proceso de enseñanza y de aprendizaje comienza con el planteamiento de esa situación tecnológica seleccionada por el profesor y con la construcción del espacio-problema por parte de los alumnos, y continúa con la búsqueda de **respuestas**.
- Esta detección y construcción de respuestas no se sustenta sólo en los conocimientos que el grupo dispone sino en la **integración de nuevos contenidos**.
- El enriquecimiento de los modos de “ver” y de encarar la resolución de un problema tecnológico –por la adquisición de nuevos conceptos y de nuevas formas técnicas de intervención en la situación

desencadenante– suele estar **distribuida materialmente** –en equipamiento, en materiales, en herramientas–.

No es lo mismo contar con este equipamiento que prescindir de él.

Por esto, lo que intentamos desde nuestra serie de publicaciones es acercar al profesor distintos recursos didácticos que ayuden a sus alumnos en esta tarea de problematización y de intervención –sustentada teórica y técnicamente– en el mundo tecnológico.

➤ Caracterizamos como **recurso didáctico** a todo material o componente informático seleccionado por un educador, quien ha evaluado en aquél posibilidades ciertas para actuar como mediador entre un problema de la realidad, un contenido a enseñar y un grupo de alumnos, facilitando procesos de comprensión, análisis, profundización, integración, síntesis, transferencia, producción o evaluación.

Al seleccionar los recursos didácticos que forman parte de nuestra serie de publicaciones, hemos considerado, en primer término, su potencialidad para posibilitar, a los alumnos de la educación técnico-profesional, configurar y resolver distintos problemas tecnológicos.

Y, en segundo término, nos preocupó que cumplieran con determinados rasgos que les permitieran constituirse en medios eficaces del conocimiento y en buenos estructurantes cognitivos, al ser incluidos en un aula por un profesor que los ha evaluado como perti-

nentes. Las cualidades que consideramos fundamentales en cada equipo que promovemos desde nuestra serie de publicaciones "Recursos didácticos", son:

- Modularidad (puede adaptarse a diversos usos).
- Resistencia (puede ser utilizado por los alumnos, sin peligro de romperse con facilidad).
- Seguridad y durabilidad (integrado por materiales no tóxicos ni peligrosos, y durables).
- Adaptabilidad (puede ser utilizado en el taller, aula o laboratorio).
- Acoplabilidad (puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos).
- Compatibilidad (todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí).
- Facilidad de armado y desarmado (posibilita pruebas, correcciones e incorporación de nuevas funciones).
- Pertinencia (los componentes, bloques funcionales y sistemas son adecuados para el trabajo con los contenidos curriculares de la educación técnico-profesional).
- Fiabilidad (se pueden realizar las tareas preestablecidas, de la manera esperada).
- Coherencia (en todos los componentes, bloques funcionales o sistemas se siguen las mismas normas y criterios para el armado y utilización).
- Escalabilidad (es posible utilizarlo en proyectos de diferente nivel de com-

plejidad).

- Reutilización (los diversos componentes, bloques o sistemas pueden ser desmontados para volver al estado original).
- Incrementabilidad (posibilidad de ir agregando piezas o completando el equipo en forma progresiva).

Haydeé Noceti

Coordinadora de la acción "Conocimientos científico-tecnológicos para el desarrollo de equipos e instrumentos".
Centro Nacional de Educación Tecnológica



21. Generador eólico

Este material de capacitación fue desarrollado por:

Esteban Curcio, diseñador industrial.

Con la colaboración del diseñador industrial Sergio Pizarro, y Adriana Magni y Ana Lasala, estudiantes de Diseño Industrial.

Dirección del Programa:
Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinación general:
Haydeé Noceti

Diseño didáctico:
Ana Rúa

Administración:
Adriana Perrone

Monitoreo y evaluación:
Laura Irurzun

Diseño gráfico:
Tomás Ahumada
Karina Lacava
Alejandro Carlos Mertel

Diseño de tapa:
Laura Lopresti
Juan Manuel Kirschenbaum

Retoques fotográficos:
Roberto Sobrado

Con la colaboración
del equipo de profesionales
del Centro Nacional
de Educación Tecnológica



Índice

Las metas, los programas y las líneas de acción del Instituto Nacional de Educación Tecnológica.....	VIII
Las acciones del Centro Nacional de Educación Tecnológica.....	X
La serie “Recursos didácticos”.....	XII

1 Problemas tecnológicos en el aula.....	4
• El recurso didáctico que proponemos	
2 Encuadre teórico para los problemas.....	10
• Energía	
• Panorama energético	
• Situación actual de la energía eólica	
• Recurso eólico	
• Aerodinamia de un generador	
• Instalaciones	
• Generador eólico	
3 Hacia una resolución técnica. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del equipo.....	70
• El producto	
• Los componentes	
• Los materiales y las herramientas	
• Las estrategias de producción	
• Las vinculaciones	
• La construcción y el armado	
• El ensayo y el control	
4 El equipo en el aula.....	90
5 La puesta en práctica.....	100

1. PROBLEMAS TECNOLÓGICOS EN EL AULA

Le proponemos comenzar por el análisis de algunas problemáticas que colegas profesores plantean a sus alumnos de educación técnico-profesional. Están presentadas a modo de antecedentes de un contexto que permite

dimensionar y focalizar a la Tecnología como una actividad integradora de aspectos socio-culturales, interrelacionada con nuestra vida cotidiana y con el entorno productivo.

Es así. Desde mañana nos apagan la luz de la calle

Los alumnos de "Diseño tecnológico II. Energías" están trabajando en la resolución de un problema:

En la ciudad luz de El Chocón se está evaluando la realización de una conversión lumínica del alumbrado público de las calles¹ que implica cambiar todas las luminarias -porque las nuevas, además del beneficio de sus materiales irrompibles, integran transformadores distintos y lámparas de bajo consumo-.

Para evaluar esta decisión, se forma una comisión en la que participan vecinos; entre ellos, Michel -apodado "el loco", por las cosas raras que salen de su taller. Escuchemos su planteo:

- Yo pagaba 40 \$ y, ahora, 60 \$. ¡20 \$ más por alumbrar la calle!

Y este enojo inicial por pagar a la empresa mucho más de lo que antes le cobraba la Municipalidad, continúa:

- Nuestra ciudad tiene 10.000 viviendas; si ese costo representa, realmente, la energía consumida, estamos en condiciones de decir que: Si apagamos la luz de la calle, podemos darle energía eléctrica a 5000 viviendas más. Apaguemos la luz de la calle y nosotros les pagamos la energía eléctrica a esas casas...

En el momento de decidir, no todos los vecinos acuerdan quedarse sin luz de noche -por seguridad y por otros motivos, todos ellos justificables- y casi nadie se

detiene a pensar que 5000 familias no pagarían por el servicio.

Michel, impetuoso, insiste en plantear que el sistema de la iluminación pública es necesario pero injusto por todo el derroche que, noche a noche, requiere. Y, retruca, diciendo:

- De noche, en sus casas, ¿ustedes dejan todas las luces prendidas sólo por las dudas? Pensemos... Si hace falta estar sin luz, estaremos. Pero, ¿no se dan cuenta que tener iluminadas las calles es más caro que usar todos los electrodomésticos de la casa?

La reunión termina con Michel muy enojado; tan enojado, que propone a la comisión usar velas durante unos días, hasta encontrar una solución mejor.

Y la solución viene de la cola de un barrilete que ha quedado atrapada y que nuestro vecino ve moviéndose violentamente por el viento del lugar mientras piensa en voz alta:

- Es imposible! Nunca podremos por los costos... Si coloco generadores en cada torre de alumbrado público va a ser un lío; a ver si todavía queda alguien enganchado de las aspas... ¡Eso...! Una bicicleta...

Para Michel, todo tenía sentido.

¹ Bayer Andina (2002) "Una idea brillante: Luminarias de la calle impulsadas por energía renovable". <http://www.aspirina.com.ec/bayerand.nsf/0/e1af95a6d25f1e9c05256c30004cc71e?OpenDocument>

1. ¿En qué puede estar pensando Michel? Retomen las ideas sueltas de los generadores en cada torre, la bicicleta, la cola del barrilete y el viento.
2. Hagan rápidamente un boceto o croquis, antes de que la idea se vaya.
3. Es importante -y, estamos seguros de que él lo hizo-, conseguir una luminaria cualquiera; su análisis les servirá muchísimo para dimensionar adecuadamente los componentes y accesorios necesarios para resolver el problema de El Chocón.
4. Como ven, estamos en una situación interesante; con los bocetos y las pistas que acercó Michel podemos comenzar a desarrollar el proyecto tecnológico.
5. Al finalizar el proyecto, debemos contar con toda la documentación técnica necesaria y, por supuesto, con el prototipo de la luminaria.

¿Te parece? 200 años no son nada

Crecemos en un entorno artificial que nos pertenece. Pertenencia creada o pertenencia adquirida -sea cual sea-, ese entorno es nuestro. Y, tanto la creación como el consumo y todas las actividades que realizamos para pertenecer y mantenernos en él se basan en el consumo de combustibles fósiles. Todo lo que consumimos ha recibido una cuota de petróleo como fuente de energía en procesos o como materia prima en materiales.

Los alumnos de la asignatura "Energía en Industrias de procesos", leen:

El reciente auge de los precios del petróleo está teniendo repercusiones que trascienden las industrias que consumen grandes cantidades de energía, impulsando los costos de todo tipo de productos:

desde las tiendas de campaña militares en Irak a las muñecas Barbie en China y las empresas de alimentación en Brasil. (...) Aunque, hasta ahora, los consumidores han absorbido los mayores precios de la gasolina en las estaciones de servicio, se están viendo afectados en otras formas. En una conferencia reciente, el presidente de *Mattel Inc.*, Robert Eckert, dijo a analistas e inversionistas que, en enero, la fabricación de juguetes tuvo que adoptar 'un aumento de precios muy modesto' de entre el 2 % y el 4 % en sus productos, incluyendo las muñecas Barbie, para compensar parcialmente lo que ve como niveles de costos más altos a largo plazo para materiales y servicios clave ligados al crudo. Las Barbie se fabrican en China e Indonesia, y se distribuyen por todo el mundo.²

Así, quemamos combustibles de origen fósil por diversas necesidades y utilizamos derivados de ellos para la producción, en cada una de sus manifestaciones. Sí; esto sucede hasta cuando consumimos vegetales -sólo aquellos que son orgánicos, debidamente certificados, pueden salvarse de esta inclusión; obviamente, si miramos hacia otro lado cuando se trasladan los productos-.

- Profe... ¡Usted es un exagerado!
- A ver; decime un producto en el que no se haya utilizado algún derivado del petróleo para su producción o para su existencia en el mercado.
- Los huevos del gallinero de casa.
- Una pregunta, Juan: ¿Con qué alimentás a las gallinas?
- Y... con alimento balanceado.
- ¿Podrías afirmar que en la producción del alimento no se utilizó ningún derivado del petróleo?
- Hummmm.

² Aepfel, Timothy (2005) "Oil's Surge Ignites Cost Increases For Products From Plastics to Shoes". The Wall Street Journal. <http://www.crisisenergetica.org/article.php?story=20050323162324146>

Exportar el viento⁴

El uso de la energía eléctrica en un lugar determinado está condicionado a la existencia de tres partes del sistema: generación, transporte y distribución. El impacto ambiental en la generación es el de mayor envergadura y es fuertemente dependiente de la estructura del sistema de producción, de la tecnología que emplea y del tipo de combustible que utiliza. (...) La mayor parte de la energía eléctrica producida en el país es obtenida aprovechando el potencial químico de los combustibles fósiles, seguida por la hidroeléctrica. La cadena energética de transformación térmica en eléctrica incluye la conversión del potencial químico del combustible en energía térmica, de energía térmica en energía mecánica y de esta última en energía eléctrica. El eslabón más contaminante de la cadena es el primero, ya que requiere la combustión de los combustibles fósiles, lo que libera en el ambiente gases que producen efecto invernadero, acidificación, adelgazamiento de la capa de ozono estratosférica, producción de ozono troposférico, etc.³

La historia indica que, para la producción y la vida cotidiana, llevamos 200 años dependiendo de combustibles no renovables, y que podemos contar con reservas sólo para 50 o 75 años.

1. ¿Cuánto cuesta hoy el barril de petróleo?
2. ¿Cómo varió su precio en el último año?
3. ¿Cómo se preparan los países para su extinción?
4. ¿Cómo se prepara nuestro país?
5. ¿Cómo nos preparamos en la región?

³ Arena, A. P., Canizo, J. R., Sánchez, B. M. (2002) "Perfil ambiental de la generación termoeléctrica en la Argentina en el cuatrienio 1997/2000". En Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 6, N° 1. ASADES -Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente-. Buenos Aires. <http://asades.org.ar/averma/6-2002/art117.pdf>

Argentina tiene la capacidad de producir a gran escala hidrógeno, el petróleo del futuro. Puede obtenerse a través de la energía eólica, aprovechando los potentes vientos de la Patagonia y, además, es un producto de exportación.

En el sur está la clave. Los vientos de la Patagonia, de los más constantes y poderosos en el mundo, son una fuente inagotable de energía renovable. Y, transformada en hidrógeno, no sólo se puede almacenar; también, exportar.

Según Erico Spinadel, presidente de la Asociación Argentina de Energía Eólica y vicepresidente de la *World Wind Energy Association*, está demostrado que, instalados unos 6000 molinos, totalizando unos 10 GW de potencia nominal, en tan sólo 1000 kilómetros cuadrados en la provincia de Santa Cruz, se podría producir por día y exportar al Japón, por ejemplo, hidrógeno líquido con un equivalente energético a 48.000 barriles de petróleo. Es decir, se podría exportar el 3 % de la demanda diaria de energía de Japón, lo que será rentable una vez que el barril de petróleo supere el costo de los 40 dólares.

La energía primaria para la producción de hidrógeno por electrólisis, el viento, es gratuita, limpia y renovable; pero, para aprovecharla, se necesita inversión. "Si el país tuviera un rumbo claro -afirma Spinadel-, ya se estaría instalando en Santa Cruz la primera fábrica con tecnología eólica alemana, un proyecto a punto de concretarse en octubre de 2001, pero desactivado a causa de la situación actual. Esa planta, que demandaría una inversión de 600 millones de dólares, habría empleado a unas 600 personas". La energía eólica ya ha creado 30.000 puestos de trabajo en Europa.

⁴ Urien, Paula (2002) "Exportar el viento". Diario La Nación; 28 de julio. Buenos Aires. <http://www.lanacion.com.ar/221948>

¿Creen posible un futuro con algunas de las características planteadas? ¿Identifican algunas barreras que les impiden participar en la creación de ese futuro? ¿Cuáles? ¿Por qué?

Les propongo comenzar a derribar barreras:

1. Somos afortunados. Por creer que es posible, estamos en la oficina creativa de la empresa *Futuro SA* y el gerente, Mr. Ray Bradbury, se aparece con una serie de productos de uso cotidiano, de los últimos que están en la calle. Los que te imagines; hasta una olla que no cocina.
2. Ray abre la puerta de la oficina y dice: Pensemos todo esto dentro de 20 años; éste es nuestro proyecto desde hoy.
3. Otras variables de este proyecto son la tan hablada energía eólica y la del hidrogeno, de la cual necesitamos más información: cómo se obtiene, cuáles son sus ventajas, qué beneficios genera, etc.
4. Piensen en generadores eólicos propios. Se me ocurre también algo sobre micro-generadores eólicos; evalúen si es una tecnología posible. Dejo todo en muy buenas manos.
5. Elijan por lo menos 5 productos de los seleccionados de este presente y trabajen sobre la base de las consignas de Ray.

Los alumnos comienzan a trabajar en un proyecto de rediseño. Su trabajo se inicia con el análisis de algunos productos, acompaña-

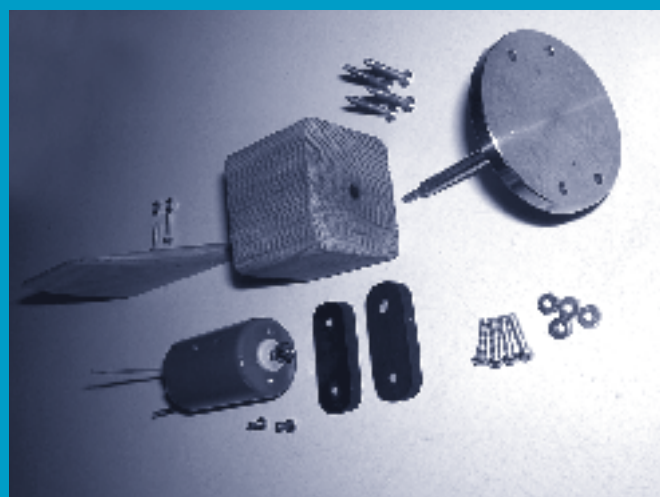
da de una investigación (I) importante, ineludible para el proyecto, concretada en un desarrollo (D). La acción de trabajo en I+D permite la aparición de nuevos productos; como toda acción de I+D, genera productos propios de nuestro entorno.

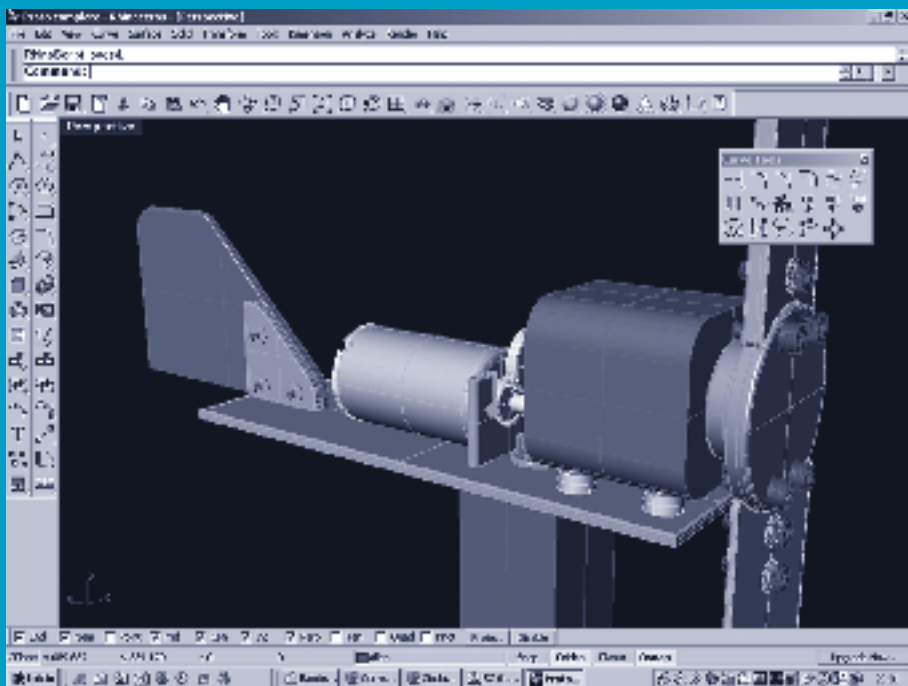
Los cinco productos seleccionados son consumidores de energía, marcados con un futuro de difícil acceso o inexistente producción. Con las diferentes intervenciones, el docente trata de focalizar la acción en la energía eólica, la cual es de esperar que surja como alternativa desde los alumnos.

El recurso didáctico que proponemos

Existen factores comunes en todas las situaciones planteadas. Uno, es el de las energías renovables; otro, más preciso, es la energía eólica y, por último, situaciones de referencia específica a un aerogenerador.

Porque, nuestra sugerencia es incluir en sus clases el recurso didáctico **generador eólico** para abordar directamente una experiencia en escala, con control de todas sus variables, desde las consideraciones ambientales del ámbito donde será emplazado, hasta el tamaño de sus aspas y varios aspectos constructivos para lograr energía eléctrica de origen eólico.





El recurso didáctico **generador eólico** le permitirá llevar al aula el conocimiento necesario para abordar los diferentes contextos planteados y disponer, así, de diversas situaciones de aprendizaje para que sus alumnos puedan apropiarse de dichos conocimientos, tanto generales como específicos, junto al desarrollo de una actitud particular frente a la resolución de los problemas y a su vinculación responsable con las energías renovables.

Sabemos que un proyecto tecnológico no implica sólo construir materialmente algo; también es la oportunidad para construir nuevos conocimientos y aprender. Porque, la Tecnología no está formada sólo por técnicas y materiales; por este motivo, desarrollamos a continuación una base de contenidos necesarios para la puesta en práctica de todos los problemas que plantea el recurso didáctico **generador eólico**.

2. ENCUADRE TEÓRICO PARA LOS PROBLEMAS

Le hemos presentado algunas situaciones escolares en las que resultaría oportuno integrar conocimientos de energía eólica. Ahora bien, ¿cuáles son esos conocimientos? Veamos...

ENERGÍA
Clasificación
Trabajo y potencia
Eficiencia
Energía eólica
PANORAMA ENERGÉTICO
Recursos energéticos
Lo cotidiano y los sistemas energéticos
Matriz energética
Recursos energéticos renovables
SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA
En el mundo
En la Argentina
Parques eólicos nacionales
Historia del recurso eólico
AERODINAMIA DE UN GENERADOR
Principios básicos
Geometría de los perfiles
INSTALACIONES
Emplazamiento
Estudio de impacto ambiental
Parques eólicos
GENERADOR EÓLICO
Componentes básicos
Principios de funcionamiento

Energía

La energía no puede ser creada ni destruida; pero, puede ser convertida o transformada de una forma en otra.

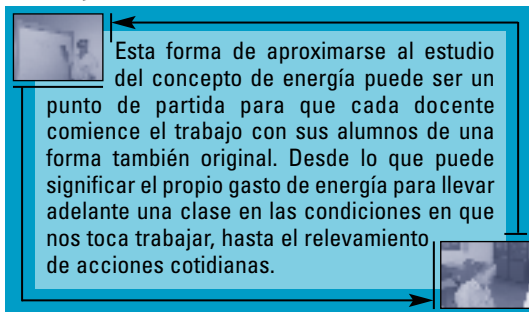
Y, seguramente, usted ha oído hablar de diversos tipos de energía: energía mecánica, energía térmica, energía eléctrica, energía química, energía nuclear, etc. Todas estas energías pueden transformarse continuamente una en otra. Así, la energía térmica puede transformarse en energía cinética, lo mismo que la energía mecánica puede transformarse en energía térmica, el calor puede transformarse en reacción química y, a la inversa, una reacción química puede procurarnos calorías. La energía eléctrica se transforma continuamente en energía mecánica, etc.

Entonces, la energía no se crea pero sí se utiliza, transformándose una forma de ella en otra. Para nuestro caso en particular, aprovechando la fuerza del viento, se convierte la energía cinética de éste en energía mecánica, la cual, luego puede ser energía eléctrica.

La energía puede cambiar de forma (no crearse ni destruirse), aunque la cantidad total de energía permanece constante. Este principio se denomina **principio de la conservación de la energía** en la naturaleza (primera Ley de la termodinámica) y se aplica solamente a los sistemas ideales.

Los sistemas ideales son sistemas en los que no ocurren pérdidas de energía. Por lo tanto, existen solamente en teoría; en sistemas reales se pierde energía al ambiente, principalmente como resultado de la fricción y el calor.

"A veces, resulta interesante mirar al mundo desde la cerradura de una teoría (...) Desde la cerradura de la termodinámica, lo único que ocurre en el Universo es una constante lucha de casi todo lo que 'es' contra el caos, contra el desorden. Es que para que algo 'sea', para que se constituya en algo más que un átomo suelto, requiere que se le aplique la energía que lo mantenga organizado en algo más complejo, es decir que evite la marcha creciente de la entropía, la tendencia al desorden, de la misma manera que mantener un cuarto ordenado requiere un esfuerzo perseverante. Ese inevitable camino hacia el caos es el que enuncia la segunda ley de la termodinámica. Y también dice, para colmo, que toda utilización de energía implica que una parte se pierda en calor; inútil e irre recuperable calor. Así visto, el mundo toma un aspecto particular. Puede darse un ejemplo para entender mejor esta perspectiva: para hacer una mesa hace falta, entre otras cosas, clavos. Para producir clavos es necesario gastar fuerza de trabajo humana, energía química, en buscar el metal que aparece en fragmentos, fundirlos, etc. En resumen, es necesario gastar energía para transformar un clavo que logre mantener los pedazos de madera unidos formando la mesa que se deseaba construir."⁵



⁵ Magnani, Esteban (2004) "Orden y termodinámica". Diario Página 12; 2 de octubre. Buenos Aires.
http://pagina12web.com.ar/suplementos/futuro/vernota.php?id_nota=954&zsec=13

Clasificación

Desde el punto de vista de la Física, la energía es definida como la cantidad de trabajo que un sistema es capaz de producir.

Cada vez que sobre un sistema determinado se realiza un trabajo acompañado de una modificación -sea de su posición, de su propio movimiento o, incluso, de su condición molecular-, esta realización procura a dicho sistema la capacidad de hacer el trabajo; es decir, le suministra energía.

En el aprovechamiento de la energía se pueden distinguir diversas fases de conversión y utilización.

La **energía primaria** es la energía aprovechada en forma directa de la naturaleza: el agua saliendo de una represa, el carbón recién sacado de la mina, el petróleo, el gas natural, el uranio natural, etc.; sólo en contadas ocasiones puede utilizarse esta energía primaria para proporcionar un servicio directo para su consumo al usuario final.



Para su uso práctico, la energía tiene que adoptar una forma que permita transportarla y distribuirla fácilmente. Hablamos, principalmente, de redes de distribución de electricidad, gas y calor. La energía primaria es convertida, entonces, en energía secundaria.

"La relativa facilidad para almacenar y, también, para transportar a grandes distancias el

carbón, el petróleo y el gas ha sido uno de los factores primordiales del desarrollo industrial en los últimos siglos. La popularización del uso del automóvil se basa, también, en la posibilidad de llevar consigo suficiente carburante para recorrer varios cientos de kilómetros. Sin embargo, la electricidad es la única forma de energía capaz de ser transformada casi totalmente en cualquiera de las otras formas y de ser transportada largas distancias desde los lugares donde es producida (¡En realidad, transformada!), a costo relativamente reducido. Actualmente, se trabaja en mejorar las pérdidas por calentamiento de las redes de alta tensión, que rondan el 10 %."⁶

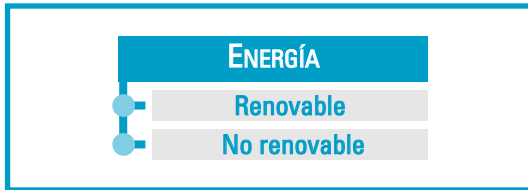
Esta conversión se produce de varias maneras, originando diversos sectores industriales -como las refinерías, que transforman el petróleo en nafta, kerosén y demás combustibles líquidos-. Es esta **energía secundaria** la que nos llega para su utilización; por ejemplo, para poner en funcionamiento todo tipo de servicios y aparatos en nuestra vida cotidiana (alimentar un motor de combustión interna, un horno a gas, una computadora o una lámpara eléctrica).



Torres para el transporte de energía eléctrica.
www.freefoto.com

⁶ Ghó, Carlos. "Electricidad: la forma más difundida para transportar energía". CNEA -Comisión Nacional de Energía Atómica-. http://cab.cnea.gov.ar/divulgacion/consumo/m_consumo_f5.html

Otra clasificación usual que se realiza en el momento de referirse a distintas fuentes de energía es la que considera dos grandes grupos: las energías renovables y las energías no renovables.



Dentro del primer grupo, el de las **energías renovables**, se encuadran todas aquellas que no se agotan con su utilización. Energías como la eólica, la solar y la hidráulica bajo ciertas condiciones, son las principalmente estudiadas.

Para el grupo de **energías no renovables** encontramos a todas aquellas que están disponibles en cantidades limitadas; por lo tanto, se agotarán en función de su utilización por parte del hombre. El ejemplo más claro es el uso que hacemos de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural).



Refinería de petróleo en Fawley,
Hampshire. Reino Unido.
www.freefoto.com

Trabajo y potencia

La energía es la capacidad de realizar un trabajo.

Trabajo es la aplicación de una fuerza a través de una trayectoria. La cantidad de trabajo realizado durante un intervalo de tiempo dado, se define como **potencia**.

La potencia puede ser medida en cualquier instante de tiempo, mientras que la energía debe ser medida durante un cierto período (por ejemplo, durante horas).

La potencia es, entonces, transferencia de energía por unidad de tiempo. Suele medirse en vatios (W), kilovatios (kW), megavatios (MW), etc.

La energía eléctrica obtenida a partir del uso de generadores eólicos se puede medir, por ejemplo, en kilovatios-hora (kWh). Si sólo habláramos de una medición en kilovatios (kW), nos estaríamos refiriendo a una unidad de medición de potencia.

Que un generador eólico tenga una potencia nominal (generalmente, indicada en la ficha técnica, por su fabricante) de, por ejemplo, 1000 kW, significa que puede producir 1000 kilovatios (kW) de potencia por hora cuando trabaja a su máximo rendimiento.

Si bien, en la jerga diaria, estos términos - potencia y energía- se utilizan indistintamente, cuando hablamos de sistemas de utilización de energía es importante tener en claro sus diferencias conceptuales.

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia}$$

$$L = F \cdot t$$

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{Unidad de tiempo}$$

$$E = P \cdot t$$

$$\text{Potencia} = \text{Trabajo} / \text{Tiempo}$$

$$\text{Potencia} = \text{Energía} / \text{Tiempo}$$

$$P = \frac{L}{t}$$

$$P = \frac{E}{t}$$

Donde: L = Trabajo; E = Energía; P = Potencia; t = Tiempo y F = Fuerza.

Unidades de medición y equivalencias

La unidad científica más utilizada **para energía** es el joule (**J**). Otras unidades que también designan valores para energía son: caloría, toneladas de carbón equivalente (**TCe**) y *British Thermal Unit* (**BTU**).

La unidad **para potencia** es el watt (**W**); corresponde a 1 joule sobre segundo (**J/s**). Otras unidades que se usan frecuentemente son el caballo de fuerza o *Horse Power* (**HP**) y el Caballo Vapor (**CV**).

1 HP = 76 kgm/s (kilográmetros) o 0,746 kW

1 CV = 75 kgm/s (kilográmetros) o 0,736 kW

1 HP = 0,986 CV (potencia mecánica)

1 kW (potencia eléctrica) = 1,359 CV o 1,341 HP (potencia mecánica)

Un J o un W son medidas muy pequeñas, comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por esta razón, se aplican múltiplos de 1000.

1 kilowatt (kW) = 1000 watt

1 megawatt (MW) = 1.000.000 watt

1 gigawatt (GW) = 1.000.000.000 watt

1 terawatt (TW) = 1.000.000.000.000 watt

El término *Horse Power* (HP) o caballo de fuerza surgió en Inglaterra, a fines del siglo XVIII, con la aparición de las máquinas a vapor que comenzaban a reemplazar el uso de los caballos en distintas aplicaciones agrícolas. Se estableció, entonces, que la potencia de uno de estos animales es igual a 76 kilográmetros por segundo (es decir, igual a poder mover, en un metro, una carga de 76 kilogramos en el lapso de un segundo). Así se tenía una forma gráfica para comenzar a hacer entender lo que significaba el uso de una máquina respecto de los posibles animales que reemplazaría.

Una situación similar -ahora situados en Francia- dio origen al término Caballo Vapor (CV); aunque, el valor asignado a esta unidad es de 75 kgm/s.



La trochita (Esquel, Chubut), locomotora a vapor Henschel & Sohn de origen alemán, fabricada en el año 1922; posee una caldera tubular y funciona a fuel-oil. www.latrochita.org.ar


Eficiencia

Cuando utilizamos la expresión "pérdida de energía" (lo cual es imposible, según definimos al comienzo del capítulo), queremos decir que parte de la energía de la fuente no puede ser utilizada directamente en el siguiente eslabón del sistema de conversión de

energía porque ha sido convertida en calor. Es decir, una forma de energía se convierte en otra que ya no podemos aprovechar.

Cuando se quema una madera, la energía química contenida se convierte en térmica -o sea, en calor-, la que se puede aprovechar; pero, luego se dispersa en el ambiente y no se puede utilizar nuevamente.


"Otro ejemplo es quemar combustibles líquidos o gaseosos (nafta, gasoil, gas, etc.) en el cilindro de un automóvil. Esto provoca una explosión con expansión violenta de los gases que aumentan mucho su temperatura y su presión, y mueven un pistón. El movimiento del pistón se utiliza para hacer andar al vehículo, gracias a un complicado mecanismo de levas, transmisiones y engranajes. En este caso, se comienza con energía química; después, se produce energía calórica y se obtiene energía cinética. Una parte del calor producido calienta al motor que, a su vez, se refrigera mediante el radiador del auto."⁷



Así, para el ejemplo específico del generador eólico, la energía cinética producida por el movimiento del aire que choca con las aspas del rotor es convertida en energía rotacional que, a su vez, puede ser convertida en energía eléctrica por el generador conectado al rotor de las aspas del generador eólico.

Pero, sólo un pequeño porcentaje de la energía eólica es realmente convertido a energía eléctrica.

La energía calórica producida por la fricción entre las diversas piezas mecánicas que componen el rotor del generador eólico reduce en un menor aprovechamiento de la energía inicialmente recibida por el generador eólico, para transformarla en energía eléctrica.



⁷ Bressan, Oscar; Gho, Carlos. "¿Cuán eficientes pueden ser las máquinas térmicas?" CNEA -Comisión Nacional de Energía Atómica-. http://cab.cnea.gov.ar/divulgacion/consumo/m_consumo_f10.html

La eficiencia es una relación, de modo que no tiene unidades. Por lo tanto, el valor máximo que puede alcanzar es de 1. Este valor significa que la potencia invertida es igual a la potencia derivada. Esta situación sólo puede hallarse en los sistemas ideales en los que no ocurren pérdidas de energía; en los sistemas reales, sí ocurren pérdidas -principalmente, con el calentamiento o la fricción-, de modo que la eficiencia es siempre menor que uno.

La eficiencia es, en la práctica, la manera de medir el nivel de calidad de funcionamiento de un sistema; es decir, la relación entre la energía útil entregada por un sistema y la energía que le fue suministrada.

$$\text{Eficiencia} = \text{energía utilizable} / \text{energía utilizada}$$

Cuanto más alta sea la eficiencia de un sistema, menos energía se pierde.

"Durante mucho tiempo se pensó que esta pérdida era consecuencia de procedimientos deficientes; pero, que algún día podrían inventarse nuevos artefactos donde se evitarían las pérdidas de calor. Lamentablemente, se comprobó que no es así, lo cual dio origen a la llamada Segunda Ley de la Termodinámica. (...) Es decir que siempre habrá una parte del calor que se 'desperdiciará' (...) que el rendimiento máximo de un proceso donde interviene el calor sea menor que 1 es una limitación importante de todas las máquinas térmicas y que, lamentablemente, es inevitable. En el caso de un automóvil, el rendimiento sobrepasa en muy poco al 30 %. Quiere decir que casi el 70 % de la energía química de la nafta o gasoil que se usa se pierde en la atmósfera a través del

radiador y sólo un 30 % se usa para mover las ruedas y producir electricidad en el alternador."⁸

Sistema / Equipo	Eficiencia promedio (%)
Estufa a leña	12 al 30
Motor diesel	30 al 45
Motor eléctrico	80 al 95

Energía eólica

Es la energía que nos preocupa conocer y desarrollar en este módulo de capacitación docente. Veamos algunos conceptos...

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del Sol.

El Sol irradia 174.423.000.000.000 kWh de energía hacia la Tierra ($1,74 \times 10^{17}$ W de potencia).

Alrededor del 1 o 2 % de la energía proveniente del Sol es convertida en energía eólica.

El viento es una consecuencia de la radiación solar. La diferencia de insolación entre distintos puntos del planeta genera zonas térmicas; las distintas temperaturas entre estas zonas se traduce en variaciones de presión atmosférica (las regiones alrededor del Ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el Sol más que las zonas del resto del globo);

⁸ Bressan, Oscar; Gho, Carlos. Op. Cit.

y, el aire, como cualquier gas, se mueve de los centros de alta presión a los de baja presión.

El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que sube hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km, y se extiende hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase el aire, simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur para, posteriormente, descender y volver al Ecuador.

La energía cinética (energía de movimiento) del viento es la que puede ser transformada en energía eléctrica mediante el empleo de aeroturbinas especialmente diseñadas para este propósito.

La energía eólica es lo que ya, en tiempos remotos, era; y, así, fue aprovechada desde entonces. Pero, no debemos pasar por alto cómo, una vez más, la actividad humana, complica este campo: Como su principio de emergencia se sustenta en un fenómeno climático, no podemos ignorar la influencia que significa para nuestro estudio todo lo relacionado con el cambio climático que estamos viviendo.

El contexto para el desarrollo de la industria ligada directamente a la obtención de energía eléctrica por medios eólicos se ve influenciado por debates de gran alcance como son, por una parte, todos los relacionados con el cambio climático global (afectando, en consecuencia, la emisión de las radiaciones solares) y, por otra parte, la implementación de políticas energéticas orientadas a la búsqueda de reemplazos de los combustibles fósiles.

Podemos leer con cierta frecuencia, en medios periodísticos, el peligro que representa el calentamiento global -que, por otra parte, parece estar cada vez más cerca de consolidarse-.

"Según un grupo de expertos de la ONU, el cambio climático está ya en marcha y el aumento de la temperatura mundial para 2100 podría oscilar entre 1,4 y 5,8 grados. Incluso, si se aplica en su totalidad, Kyoto recortará el previsible aumento de las temperaturas en tan sólo 0,1 grados centígrados para 2100, según las proyecciones de la ONU. Un aumento de la temperatura acarreará el deshielo de glaciares y, por ende, el aumento de las aguas del mar con la consiguiente inundación de islas y zonas costeras, la desaparición de zonas agrícolas fértiles, y de especies de la fauna y la flora, además del surgimiento de nuevas enfermedades de consecuencias imprevisibles para la supervivencia humana."⁹



**Planta productora de cromo.
Eaglescliffe, Reino Unido.
www.freefoto.com**

⁹ "Regirá desde hoy el mayor pacto ecológico de la historia" (2005) Diario La Nación; 16 de febrero.
<http://www.lanacion.com.ar/680036>

Protocolo de Kyoto

Artículo 2. Con el fin de promover el desarrollo sostenible, cada una de las partes, al cumplir los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones, aplicará y/o seguirá elaborando políticas y medidas de conformidad con sus circunstancias nacionales; por ejemplo, las siguientes:

- fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional;
- protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente;
- promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación;
- promoción de modalidades agrícolas sostenibles, a la luz de las consideraciones del cambio climático;
- investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono, y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;
- reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la Convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado;
- fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes, con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal;
- medidas para limitar y/o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en el sector del transporte;
- limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos, así como en la producción, el transporte y la distribución de energía.

Las partes procurarán limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por los combustibles del transporte aéreo y marítimo internacional. (Kyoto. 11 de diciembre de 1997)

Las energías alternativas comienzan a cobrar relevancia por estos motivos. Y, en particular, la energía eólica se posiciona claramente a escala mundial en el sector de la energía, según los distintos planes, programas y actividades en curso (tanto para actores gubernamentales como privados), por la ventaja de muchos de sus aspectos a favor de lo que se quiere mitigar.

La búsqueda de un ahorro generalizado en el consumo de energías, la diversificación de las fuentes de generación y la protección del medio ambiente, entre otros objetivos, están permitiendo que el mercado de generación de energía eólica tenga pautas de alcance inmediato para lograr una participación, por ejemplo en países líderes en estas tecnologías como es España, con el 10 % del mercado energético.



Granja eólica ubicada en la localidad de Cornwall, Reino Unido, con 15 turbinas de 400 kW instaladas. www.freefoto.com

Panorama energético

Recursos energéticos

Cada período de la producción industrial y cada modelo socio-económico se caracterizan por el uso de distintas fuentes de energía.

Podemos reconocer el uso del carbón como principal fuente de energía para casi todo el siglo XIX (la energía liberada al quemar carbón o madera fue potenciada con la aparición de las primeras máquinas de vapor, y su constante desarrollo y evolución tecnológica).

"El simple hecho de enjaezar los bueyes, por ejemplo, multiplicó la potencia disponible para el ser humano por un factor de 10. La invención de la rueda hidráulica vertical incrementó la productividad por otro factor de 6; el motor de vapor la volvió a aumentar en otro orden de magnitud. El uso de vehícu-

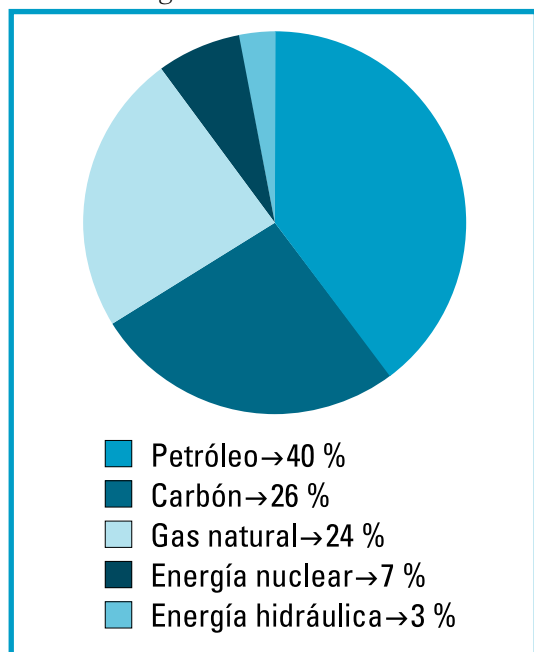
los a motor redujo notablemente los tiempos de desplazamiento y amplió la capacidad humana para transportar las mercancías a los mercados. En la actualidad, la disponibilidad de energía asequible y abundante permite que mucha gente disfrute de un confort, movilidad y productividad sin precedentes. En los países industrializados, las personas consumen 100 veces más energía, en términos per cápita, que los seres humanos antes de que aprendiesen a utilizar el potencial de la energía del fuego."¹⁰

A partir de 1920, el petróleo y el gas natural comienzan a desplazar al carbón como principal proveedor de energía. La explotación inicial de los yacimientos petrolíferos a bajo costo comienza a cubrir en altos porcentajes la demanda energética de los países más industrializados. Sea por el descubrimiento de grandes yacimientos de petróleo como por el desarrollo de los métodos de producción y utilización de la energía eléctrica, el desarrollo industrial y tecnológico, junto al crecimiento económico que estos países industrializados alcanzaron, incrementó la demanda de energía por parte de un sistema productivo de bienes y servicios cada vez más grande, complejo y automatizado.

"El 90 % de la energía que el planeta consume es fósil. Del consumo energético mundial, el petróleo representa alrededor de un 40 %; el carbón, un 26 %, y el gas natural, un 24 %. La energía nuclear (7 %) y la hidráulica (3 %) cubren el resto. El 66 % del petróleo que se extrae se quema para mover más del 90% de los medios que se emplean

¹⁰ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE (2001) "Informe Mundial de Energía". Madrid. http://www.idae.es/documentacion/ficheros_informes/fovervie.pdf

hoy para transportar personas y mercancías. La llamada revolución verde, que ha cuatriplicado la productividad agrícola, consume el 17 % de la producción mundial de oro negro: los campos se han convertido en esponjas en las que se derraman fertilizantes y pesticidas para hacer crecer alimentos. Literalmente, comemos petróleo: para producir un kilo de carne vacuna se consumen siete litros de crudo. Y el que no se gasta en transporte o alimentos se utiliza para fabricar plásticos, productos químicos o farmacéuticos, para mover la maquinaria industrial, calentarse o generar electricidad."¹¹



A comienzos de los '70 se hace evidente que los combustibles fósiles -que durante tanto tiempo habían sido la base del balance energético del mundo moderno- iban a quedar agotados en un futuro no demasiado

lejano. Más allá de lo apocalíptico de esta afirmación -frente a la creciente y sostenida demanda global de energía, se presentaba la perspectiva realista del agotamiento de esos recursos a producirse durante la próxima generación-, lo que sucedía era que, por primera vez, se invertía la relación entre el ritmo de descubrimiento de reservas y el de crecimiento del consumo. Aunque esta situación afectó el crecimiento económico de todos los países importadores de energía, quedó en claro que el principal problema fue la volatilidad de los precios del barril de crudo.

"La curva de descubrimientos alcanzó su máximo en los 60 y, a pesar del gran esfuerzo realizado a partir de los 70 aplicando las más modernas técnicas de exploración sísmica, nunca se volvieron a alcanzar los éxitos del pasado. Desde 1980, cada año se consume más petróleo del que se encuentra, y llegará un momento en que los costes de exploración superen el valor esperado de los descubrimientos."¹²

Esto es importante de tomar en cuenta ya que puede ocurrir también que, por ejemplo, los precios del crudo se generen con independencia de los costos de producción.

Hace décadas que se vienen realizando estudios sobre la disponibilidad a largo plazo de los recursos energéticos, principalmente petróleo y gas. Todo indica que estos recursos podrían durar otros 50 a 100 años aproximadamente (incluso, tomando en cuenta avances en la tecnología de extracción). Otros recursos, como el carbón y los materiales nucleares son tan abundantes que no preocupa en lo inmediato determinar el umbral de agotamiento.

¹¹ Coderch, Marcel (2004) El fin del petróleo barato". *Foreign Policy* N° 5; octubre/noviembre. Edición Española. Madrid.
http://www.fp-es.org/oct_nov_2004/story_5_19.asp#autor

¹² Coderch, Marcel (2004) Op. Cit.

Pero, los problemas para la economía mundial no empezarán cuando se acabe el petróleo, sino cuando ya no se pueda aumentar más la producción y ésta empiece a declinar. Volviendo a la mirada apocalíptica sobre este tema, las consecuencias de la disminución continua e irreversible de la extracción de petróleo pueden imaginarse como un colapso económico y alimenticio sin precedentes.

El geofísico M. K. Hubbert, ya en el año 1956, predijo que la producción de petróleo en los Estados Unidos alcanzaría un máximo entre los años finales de la década del '60 y los primeros de los '70. La denominada curva de Hubbert es la representación gráfica de este estudio. La premisa básica para estas predicciones está basada en considerar que, para poder extraer petróleo, primero hay que descubrir un yacimiento. De esta forma, la curva de la producción es un reflejo de la de los descubrimientos; pero, con 40 años de retraso, es decir, cuando ya se ha extraído la mitad de lo que hay en el yacimiento.

Aplicando este modelo de estudio a cuantificar las reservas de crudo mundiales, las previsiones nos sitúan en el 2008 como año pico de producción.

Pero, aún con la crisis de precios del petróleo y las medidas tomadas para reducir su consumo no disminuyó el lugar de los combustibles fósiles como principal fuente de energía.

1973 marca el comienzo del aumento de precio del barril de crudo que, durante ese año, se triplica para alcanzar, a comienzos de la década siguiente, un valor 10 veces superior respecto del precio anterior a la crisis.

Basándonos en los estudios más recientes el suministro de energía primaria a escala mundial (principalmente, a partir de los combustibles fósiles) está asegurado para unos 50 años más; pero, al incorporar la variable de solamente mantener las tasas de crecimiento de consumo energético actuales, el sistema se vuelve insostenible en el corto plazo.

El sistema energético actual, entonces, no está preparado para soportar un crecimiento económico generalizado que incorpore a la tercera parte de la población mundial (unos 2000 millones de personas) que hoy en día no tiene acceso a los combustibles básicos ni a la electricidad.

También tenemos que tomar en cuenta las variaciones de precio que se producirán, en el mejor de los casos, como desfase entre las necesidades de inversión para hacer rentables y masivos nuevos recursos que reemplacen al uso de los combustibles fósiles en relación con el aumento de la demanda que mencionáramos.

"Los precios del crudo aumentaron cerca del 50 % en el último año. Algunos analistas creen que podría tocar los 100 dólares el barril si el abastecimiento sufriera alguna alteración como resultado de algún acontecimiento, por ejemplo otra guerra en el Medio Oriente (...) Ajustados por inflación, los precios del petróleo no han llegado a los niveles de 1981, cuando el crudo aumentó a un equivalente de casi 80 dólares el barril. Y las economías actuales están mejor protegidas contra los precios altos porque redujeron el uso de petróleo de muchos sectores, sustituyéndolo por energía nuclear, gas y hasta

carbón (...) Mientras tanto, el mundo está consumiendo petróleo a un ritmo récord, agotando la capacidad de los productores y refinadores para proveer gasolina. Este año, se espera que la demanda mundial crezca un 2,2 % (1,81 millones de barriles diarios) hasta llegar a 84,3 millones de barriles. El crecimiento estimado del año pasado fue de 4 %."¹³

Así como el punto de partida del debate actual sobre el tema energía es la imposibilidad de satisfacer las necesidades energéticas mundiales si se continúa explotando en las mismas condiciones un número demasiado limitado de recursos energéticos, la situación se agrava al considerar el impacto ecológico planetario en el caso de lograr obtenerla por los medios actualmente en uso.

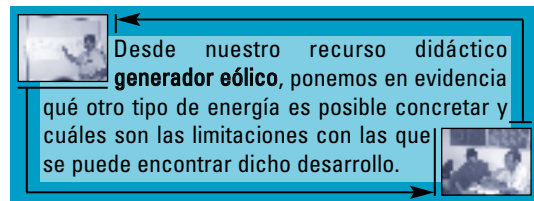
Si continúa la tasa de crecimiento mundial de alrededor del 2 % del uso de energía primaria, se doblará el consumo energético para el año 2035, con respecto al de 1998, y se triplicará para el 2055¹⁴. Y, si quisiéramos cambiar la relación de que el 75 % de la población mundial consume el 25 % de la energía y viceversa, el 25 % de los ricos consume el 75 % restante, entonces las necesidades energéticas se multiplicarían entre 4 y 9 veces.

Esta situación desemboca, entonces, en un proceso de transición energética que va acompañado de un incremento de los costos. Es decir, se pasa de vivir épocas de energía barata y de bajos precios del petróleo a afrontar no sólo mayores precios de esta energía sino, también, la dificultad de conseguirla.

¹³ "¿Quién puede parar al crudo?" (2005) Clarín; 20 de marzo. Buenos Aires. <http://www.clarin.com/suplementos/economico/2005/03/20/n-01001.htm>

¹⁴ "Informe Mundial de Energía" (2001) Op. cit.

La realidad hasta aquí planteada, es un problema que nos compete a todos. A pesar de que desconozcamos completamente los aspectos científicos y técnicos que encierra esta realidad, es oportuno entenderla, en busca de superar equivocaciones (Por ejemplo, sostener que "Realizar una nueva exploración de petróleo y perforar, es renovar el recurso").



Lo cotidiano y los sistemas energéticos

Se denomina **sistema energético** a todo sistema que, a partir de una entrada o suministro de energía, puede transformarla, mediante el empleo de tecnología, para su uso final.

Ya hemos comentado sobre energías primarias y secundarias. Esta transformación es la que realiza un sistema energético con el objetivo de proporcionar al consumidor final una forma distinta de acceso a la fuente de energía primaria. El acceso a la energía en esta última instancia es lo que comúnmente se denomina **servicio energético**.

Un ejemplo cotidiano es el uso que hacemos de los servicios energéticos en nuestros hogares. La energía eléctrica para todos nuestros artefactos eléctricos (iluminación, refrigeración, comunicaciones, etc.), el gas para calefacción o para cocinar parte de nuestros

alimentos, etc. Algo similar, aumentado por su escala, se registra en el medio industrial (mayores consumos eléctricos y de gas para, por ejemplo, sistemas de calentamiento y enfriamiento, potencia motriz para transportes, etc.).

"Los servicios energéticos son, entonces, necesarios para, prácticamente la totalidad de las actividades comerciales e industriales. La cadena energética que proporciona estos servicios comienza con la extracción y el procesamiento de la energía primaria que, en una o varias etapas, es convertida en energía final, como la electricidad o el gasoil, listos para su consumo o utilización final. Los equipos de uso final de la energía (luminarias, calefactores, cocinas, maquinaria, etc.) convierten la energía final en energía útil, lo cual proporciona los beneficios deseados: los servicios energéticos."¹⁵

La infinidad de intereses en juego en todo tema relacionado con la energía ha llevado a distintos debates sobre qué sistema energético es mejor que otro o, en el marco del Protocolo de Kyoto, cuál genera menos daño ambiental, por ejemplo. Hoy en día, se están estudiando los diversos sistemas de producción energética para determinar sus ventajas y desventajas, tratando de tener una medida común para realizar esta comparación.

"A lo largo de la historia de la humanidad, los sistemas energéticos se han seleccionado teniendo en cuenta, básicamente, dos parámetros: la disponibilidad técnica y la viabilidad económica. Únicamente en las últimas décadas los impactos ambientales han

aparecido como un tercer factor a tener en cuenta. Ya que, efectivamente, las actividades de captación, transformación, transporte y uso de la energía, así como los desechos que se derivan de estas actividades y de la construcción de las plantas de generación, provocan impactos ambientales significativos."¹⁶

A través de estos estudios se busca, también, la optimización en todas las instancias del ciclo productivo o de transformación de la energía. Es decir, comenzar a considerar al proceso industrial "desde la cuna hasta la tumba" (extracción de materiales, procesos de transformación de materias primas, transporte, disposición final de residuos, evaluación de impactos en cada etapa del proceso y sus posibles medidas de mitigación, cadena de comercialización, etc.); es decir, su ciclo de vida completo, para poder detectar en las distintas etapas de dicho ciclo cuándo se producen las acciones que generan el daño ambiental. Todo consumo elevado de recursos y/o de energía es estudiado desde una perspectiva ambiental (generación de emisiones contaminantes directas o indirectas; agotamiento de recursos naturales, impactos sobre la salud humana, disminución de la calidad en el entorno humano, etc.). Comienzan a utilizarse nuevos términos como el análisis *energy payback ratio*, tasa de energía retornada. Este concepto define la relación entre "la energía producida durante el tiempo de vida estimado de cada sistema de producción, dividida por la energía requerida para la construcción, el mantenimiento y el aporte de combustible para el equipo de generación."¹⁷

¹⁶ "Energía eléctrica: de la cuna a la tumba" (2002) *Ecotropía*. <http://www.ecotropia.com/n1021102.htm>

¹⁷ "Energía eléctrica: de la cuna a la tumba" (2002) Op. Cit.

¹⁵ "Informe Mundial de Energía" (2001) Op. cit.

Matriz energética

Hemos planteado que el desarrollo industrial y los avances en tecnología están ligados históricamente con un mayor consumo de energía en relación directa con una mejora en la calidad de vida.

La posibilidad de acceso de un número mayor de la población mundial a estas situaciones de confort depende, entonces, del aumento de la producción de energía.

El problema se genera al continuar con este tipo de modelo energético (de generación y consumo) y en sostener sus escasas posibilidades de respuesta, frente al modelo de crecimiento mundial que demanda mejores condiciones de vida para mayores sectores de la población.

Uno de los caminos planteados para avanzar en la resolución de este problema es el de encontrar nuevas fuentes de energía. Pero esto debe ocurrir, simultáneamente, con la transición hacia una diversificación de la matriz energética, no dependiente de recursos agotables.

Esta transición depende tanto del acceso a los conocimientos y a la tecnología relacionada para su desarrollo, implementación y uso, como de la instrumentación de normas y mecanismos que mejoren las condiciones económicas para concretar estos avances. Es decir, el problema es tanto de orientación de la inversión en la producción y desarrollo tecnológico en las nuevas fuentes de energía como de lograr una mejor utilización de los recursos energéticos y de ser autosuficientes.



Granja eólica en Lambrigg, Cumbria, Reino Unido. Con una potencia instalada de 6,5 MW abastece de electricidad a 4.000 hogares.
www.freefoto.com

El consumo de energía reproduce casi exactamente los perfiles del actual sistema económico mundial. Las proyecciones estimadas en relación con el aumento de la población mundial y la demanda de energía indican que, para el año 2050, habitarán el planeta unos 11.000 millones de personas que demandarán 4 veces el consumo energético actual.

Pero si, por una parte, podemos considerar como instalado el tema de la crisis energética mundial y de sus efectos desiguales -tanto en países industrializados como en los que se encuentran en vías de industrialización-, por otra parte es un error considerar que el planeta carece de recursos energéticos. Lo que está en crisis es el consumo de combustibles líquidos como el petróleo; y, mientras se mantenga su constante demanda (o ésta se acreciente), seguiremos enfrentándonos a las consecuencias directas de su explotación y uso: disminución de las reservas, aumento de precio, contaminación ambiental.

Los países en vías de industrialización presentan una relación sumamente desequilibrada en la ecuación que vincula el desarrollo social de las personas, el consumo energético y las posibilidades tecnológicas de producir energía por cualquier medio que fuere, lo que hace más necesario aún planificar el crecimiento energético.

La Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible propone "Implementar el uso en la región de, al menos, un 10 % de energía renovable del porcentaje total energético de la región para el año 2010"; también dirige sus acciones futuras a "establecer un sistema de incentivos económicos para proyectos de transformación productiva e industrial que conserven los recursos naturales y energía."¹⁸

En este contexto, la energía eólica tenía instalados:

- a comienzos de 2002, 25.000 MW en todo el mundo;
- a fines de 2003, 40.000 MW.

Con tasas de crecimiento de alrededor del 25 % anual, más de 55.000 aerogeneradores que proveen electricidad a más de 35 millones de personas y un mercado valuado en 5.000 millones de euros, esta energía se perfila como la de mayor potencial para satisfacer nuevas demandas energéticas, con la

ventaja de ofrecer un recurso energético libre de contaminantes.

"En el año 2020 se habrá alcanzado una potencia instalada de 1.260 GW (1,26 millones de MW), con una producción anual capaz de cubrir el 12 % de la demanda eléctrica estimada por la AIE, *Agencia Internacional de Energía*. Más allá del 2020, el desarrollo continuará a un ritmo de unos 150.000 MW anuales. Su penetración en el mercado seguiría la típica curva en S, alcanzando el punto de saturación en un plazo de entre 30 y 40 años, cuando se mantendría un volumen mundial de unos 3.000 GW de potencia eólica. Con el tiempo, una proporción mayor de la nueva potencia se destinará a reemplazar las turbinas antiguas. Se asume, así, que los aerogeneradores tendrán una vida útil media de 20 años, lo que supondrá sustituir cada año el 5 % de la potencia instalada."

La energía eólica es, en general, más valiosa aportando a los sistemas de redes eléctricas que si es consumida o producida a escala individual. La gran mayoría de la potencia instalada de aerogeneradores en el mundo está conectada a la red; es decir, las turbinas suministran su electricidad directamente a una red eléctrica pública (aportando así a la diversificación de la matriz energética).

Los elevados costos de producción de los grandes generadores, junto con la inconstancia del recurso eólico (veremos más adelante el carácter de recurso intermitente que tiene la energía eólica), son tenidos en cuenta para

¹⁸Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2002) "Informe final de la Primera Reunión Extraordinaria del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe en ocasión de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible". Johannesburgo. <http://www.rolac.unep.mx/foralc/esp/smfrepoe-InformeFinal.pdf>

¹⁹Asociación Europea de Energía Eólica EWEA (2002) "Viento Fuerza 12". http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Viento_Fuerza_12_Final.pdf

definir lo que los especialistas denominan **factor de penetración**, el valor máximo posible para incorporar la generación eólica de electricidad a cualquier red eléctrica, urbana o regional, chica o grande.

El ingeniero Erico Spinadel del Grupo de Energías No Convencionales GenCo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, cuantifica este factor en un 15 %.

Este factor se traduce en un límite concreto para definir el tamaño, por ejemplo, de un parque eólico. A medida que nos acercamos al límite teórico del 15 %, por ejemplo, instalando más generadores eólicos, éstos introducen cierto desorden en la red, causando variaciones de tensión o frecuencia, con el resultado para el usuario de lámparas y/o electrodomésticos quemados.

Las distintas estrategias y políticas a implementar para contar con una matriz energética diversificada, equilibrada y sustentable en el tiempo, buscan un uso más eficiente de la energía, que significaría contar con servicios energéticos menos costosos y con una reducción de la contaminación y de las emisiones relacionadas con la energía. Se estima que durante los próximos 20 años la cantidad de energía primaria necesaria para un determinado nivel de servicios energéticos se podría reducir de forma rentable entre un 25 y 35 % en los países industrializados.

Actualmente, la eficiencia energética mundial de convertir la energía primaria en energía útil es, aproximadamente, un tercio. En otras palabras, dos tercios de la energía primaria se disipa en los procesos de conversión; principalmente, en forma de calor de baja temperatura.

Y aunque la búsqueda de soluciones alternativas está orientada a incrementar el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, no debemos hacer de éste el único camino sino comenzar ahora mismo con un uso racional de los sistemas energéticos actuales, con una optimización constante en cuanto a rendimiento y con una interacción paulatina con las nuevas fuentes de recursos energéticos.

"Acosada por la escasez de petróleo de los años '70, Francia se embarcó en una vasta tarea encabezada por el Estado para que su economía prescindiera todo lo posible del petróleo. Bajo el lema nacional de aquel momento ("No tenemos petróleo pero tenemos ideas"), aceleró el reemplazo de la producción de electricidad -reactores nucleares en vez de las centrales alimentadas con petróleo-, aumentó los impuestos a la nafta a un equivalente de un dólar por litro, alentó la venta de autos diesel y ofreció rebajas de impuestos a las industrias de gran consumo energético como la del aluminio, el cemento y el papel para que reemplazaran el petróleo por otros combustibles. Y funcionó. A diferencia de los EE.UU., donde el consumo de petróleo cayó al principio pero luego terminó subiendo un 16 % entre 1973 y 2003, en Francia, pese a un aumento en los últimos años, el empleo de petróleo es un 10 % menor hoy que hace tres décadas, según la Administración de Información Energética estadounidense. Alemania ostenta un logro igual."²⁰

²⁰ "El arte de ahorrar petróleo" (2004) Diario Clarín; 10 de octubre. Buenos Aires. <http://www.clarin.com/suplementos/economico/2004/10/10/n-01001.htm>

Contar con una matriz diversificada es parte de una estrategia para el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos. No se trata de descubrir un nuevo combustible o de reemplazar por éste todo el consumo establecido sobre la base de los hidrocarburos, de la noche a la mañana. Podemos comenzar por utilizar mejor lo que tenemos.

Recursos energéticos renovables

Al comienzo del capítulo anterior mencionamos una de las clasificaciones más comunes de la energía; renovables y no renovables. Profundizaremos, ahora, el concepto de energías renovables, ya que consideramos a éstas como una alternativa mitigadora real a la problemática hasta aquí planteada.

Hemos definido como recurso energético renovable a toda fuente de energía disponible cuyo potencial es inagotable (de renovación constante) y posible de ser aprovechada por el hombre y transformarla en energía útil para satisfacer sus necesidades. Principalmente, son todas aquellas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra desde el Sol.

La diferente distribución de la energía solar en la atmósfera contribuye al movimiento de las masas de aire. Como ya vimos en títulos anteriores, cuando el aire se calienta tiende a subir y es rápidamente sustituido por aire más frío, generándose así el origen de los vientos (energía eólica). Otra parte de la

energía solar penetra la atmósfera y es absorbida por las plantas para su crecimiento, almacenándola en forma de energía química (primer paso para el aprovechamiento de la energía de la biomasa).

El agua de mar también recibe la energía solar. Esto produce vapor que pasa a la atmósfera y que, después de cierto tiempo, vuelve a caer por ejemplo, en forma de lluvias, acumulándose a diferentes alturas sobre la superficie terrestre. Estas masas de agua situadas a cierta altura poseen energía potencial que se libera al caer las masas de agua hacia una altura inferior, posibilitando entonces el aprovechamiento de su energía cinética (energía hidráulica).

Aunque con un origen no tan directo a partir de la energía solar, la energía contenida en el interior de la Tierra (energía geotérmica) es igualmente considerada como renovable, debido a la continua disipación de calor por la fricción de las rocas internas de la corteza terrestre. Este flujo es considerado prácticamente inagotable.

Las fuentes de energías renovables tienen la ventaja de proporcionar servicios energéticos con emisiones nulas o casi nulas, tanto de contaminantes atmosféricos como de gases de efecto invernadero; se convierten

El carácter descentralizado de este tipo de energías genera posibilidades de acceso en zonas rurales o alejadas de los grandes suministros energéticos, favoreciendo una mejor integración del territorio.

así en una manera muy eficaz para estar en concordancia con los objetivos del Protocolo de Kyoto.

Actualmente, las fuentes de energías renovables se encuentran en una etapa de su desarrollo tecnológico que les permite dar respuestas a la demanda global de energía. Datos del último Informe Mundial de Energía indican que aportan el 14 % de la demanda total de energía en el mundo (la potencia hidroeléctrica a gran escala, actualmente, suministra el 20 % de la electricidad mundial).

Es decir, el aprovechamiento de las energías renovables aparece en cualquier tipo de escenario energético prospectivo con una importancia considerable. Así como para el uso de las energías renovables no es necesario considerar su futuro agotamiento, sí es necesario contar con una cierta estabilidad del sistema económico, ya que su costo depende, principalmente, de la inversión inicial (luego, amortizada por la larga vida de los diferentes tipos de instalaciones).

Los recursos energéticos renovables están distribuidos más uniformemente que los recursos fósiles y nucleares; pero, su potencial económico se ve afectado por obstáculos tales como la utilización del suelo, la cantidad y duración de la radiación solar (intermitencia de la fuente de energía), las cuestiones medioambientales y los regímenes de viento.

La penetración de las energías renovables en el mercado mundial de la energía va en constante aumento; y, a la cabeza de

este crecimiento, está la energía eólica. Para que este movimiento no se detenga, es necesario avanzar también en aspectos no tecnológicos como son la eliminación de obstáculos legales, administrativos y fiscales. En dirección contraria debemos tener presente el también constante aumento del consumo bruto de energía. De seguir éste al ritmo en que lo hace en la actualidad, serán necesarias medidas más ambiciosas para hacer alcanzables los objetivos propuestos.

Los recursos renovables:

- son aprovechables en el lugar donde se generan (se minimizan las pérdidas por transporte),
- contribuyen a la descentralización del abastecimiento energético, llegando a zonas de difícil acceso o alejadas (contribuyendo al desarrollo regional),
- son modulares respecto de su crecimiento, permitiendo una gran flexibilidad al momento de satisfacer nuevas demandas de consumo,
- ocasionan un impacto ambiental muy pequeño, dando lugar a un mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes,
- al permitir combinar diversos tipos de fuentes, favorece la seguridad del suministro (diversidad energética) y permite desarrollar políticas sustentables, reduciendo el consumo de combustibles fósiles.

Situación actual de la energía eólica

En el mundo

La energía eólica ha ido ganando espacio en el mundo; desde sus inicios orientados a satisfacer necesidades en segmentos de demandas bajas (por ejemplo, localidades aisladas y sin acceso a las redes eléctricas convencionales), llegando en la actualidad a participar con valores que van desde un 25 a 60 % en el abastecimiento directo en algunas regiones.

En el *Wind Energy Annual Report 2003*²¹, último informe elaborado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE), se vuelcan los datos relativos al panorama mundial de la energía eólica y posiciona a ésta con 40.000 MW instalados. El informe, que recopila cifras aportadas por cada país participante, indica que la potencia instalada en el 2003 fue de 8.300 MW. Marca, también, un claro desarrollo de los parques *off-shore* (nuevos parques más grandes y más alejados de las costas) y el reemplazo de antiguos generadores eólicos por otros nuevos y de mayor potencia.

En el mundo hay más de 150 millones de hogares que reciben el suministro de energía eléctrica generado gracias al viento. Esta industria viene con un crecimiento sostenido entre el 25 al 30 % anual en los últimos cinco años. Con más de 55.000 aerogeneradores instalados en el mundo, esta industria emplea 70.000 personas y factura más de 5.000 millones de euros.

Distintos gobiernos están implementando políticas al respecto. Inglaterra habla de una nueva revolución industrial pero ecológica, mientras asigna fondos millonarios para el desarrollo de este tipo de tecnologías con el

objetivo de alcanzar el 10 % de generación eléctrica por medios eólicos a fines del 2010. Brasil ya fabrica, con licencias extranjeras, sus propios generadores eólicos. España tiene un potencial eólico técnicamente aprovechable de 43.000 MW y prevé un plan de infraestructura energética para alcanzar 13.000 MW eólicos en el 2011.

Si bien los costos de la energía eólica han disminuido dramáticamente (se estima que ya se produjo una baja de costos de un 400 % en el período de 1981 a 1998²²), en función de alcanzar una penetración en el mercado de la generación eléctrica superior al 10 % para el año 2020, se impone reducir aún más esta estructura de costos entre un 30 a 50 %.

"El informe resume que el resultado de la investigación y del desarrollo permitirá:

- Aumentar el valor de energía eólica, permitiendo la predicción de disponibilidad de electricidad con una anti-

La empresa Shell abrió un nuevo departamento llamado "Shell Renovables", para el cual anunció inversiones para los próximos 5 años de un billón de dólares en energía solar y eólica.

²¹ El informe completo está disponible en idioma inglés en el sitio web de la IAE: "Wind Energy Annual Report 2003" (2004) International Energy Agency. <http://www.ieawind.org/>

²² Agencia Internacional de Energía (2000) "Acuerdo de Implementación para la cooperación en Investigación y Desarrollo del sistema eólico (IEA R&D Wind)".

pación de 6 a 48 horas.

- Facilitar la integración de las redes, paso esencial para satisfacer la demanda.
- Proporcionar información para prever las reacciones públicas y el impacto visual ocasionados por la distribución de la energía eléctrica de origen eólico.

(...) Y concluye:

- Será necesario, para satisfacer áreas de gran demanda de energía eléctrica, optimizar el sistema eólico, permitiéndole interactuar con los sistemas convencionales.
- Una mejora en las técnicas de almacenamiento de energía eléctrica eólica (en escalas que van de minutos a meses) aumentará su participación de mercado entre un 15 % a un 20 %.²³

Pero, el futuro de la energía eólica pasa también por desarrollar nuevos marcos normativos. La diferencia principal entre los países que han desarrollado la tecnología para el aprovechamiento de este tipo de energía y los que siguen sin darle importancia radica en la clara voluntad de impulsar su desarrollo de los primeros.

La reciente puesta en vigencia del Protocolo de Kyoto para evitar mayores problemas ambientales, el continuo crecimiento de la demanda mundial en el consumo energético, las previsiones sobre el fin del petróleo (reservas agotadas para mediados del siglo en curso) y el correlativo aumento del precio del barril de crudo darán un nuevo impulso al valor de las energías renovables en general y a la utilización de la energía eólica en particular.

Potencia total instalada en el mundo²⁴

Región	Inicios de 2005 (MW)	Total instalado en 2004 (MW)	Inicios de 2004 (MW)	Total instalado en 2003 (MW)	Inicios de 2003 (MW)	Total instalado en 2002 (MW)
Pacífico	1.300	379	880	168	710	248
Europa	34.464	5.722	28.845	5.461	23.332	6.135
América del Norte	7.181	513	6.691	1.768	4.921	450
Asia	3.527	830	2.697	508	Sin datos	- -
Latinoamérica	208	42	166	7	Sin datos	- -
Medio Oriente y África	241	170	170	1	Sin datos	- -
Total mundial	46.853	7.565	39.489	8.111	31.228	6.868

²³ Eco2site. "Nuevo Informe de la IEA". <http://eco2site.com/informes/eol.asp>

²⁴ EWEA European Wind Energy Association- (2005) AWEA "Windpower 2005 Conference"

En la Argentina

Actualmente, más del 90 % de nuestro consumo energético proviene de fósiles, es decir, de energías no renovables. Entre los años 1996 y 2001 se incrementó la capacidad de generación de electricidad por medios eólicos de 10 a 21 megavatios, aproximadamente.

Lo invitamos a comparar estos 21 MW con los 12.000 de Alemania o con los 4.830 MW de España.

Si de energía eólica estamos hablando, la cita obligada es en nuestra Patagonia, con velocidades promedio de 9 metros por segundo (Se considera que una buena velocidad para aprovechar el recurso eólico es de 6 a 7 metros por segundo) y con vientos constantes (recordemos que tanto la energía eólica como la solar son recursos energéticos intermitentes) de unos dos de cada tres días.

La Patagonia, por sí sola, estaría en condiciones de generar suficiente energía como para abastecer a todo el Mercosur y exportar un importante excedente al mundo entero.

El ingeniero Erico Spinadel -integrante del GenCo, presidente de la Asociación Argentina de Energía Eólica y vicepresidente de la *World Wind Energy Association*- considera que la energía eólica puede utilizarse en Argentina de tres formas distintas, en relación con la potencia a instalar:

- Mientras hablemos de **kW**, es recomendable para zonas aisladas; por ejemplo, para

una chacra rural, orientando su uso a la carga de baterías o como complemento de grupos electrógenos que funcionan con diesel.

- Si pensamos en **MW**, estamos en el terreno de lo que es una instalación de parque eólico. Como veremos más adelante en los ejemplos de parques instalados en nuestro territorio, éstos suministran electricidad a poblaciones medianas; incluso, de haber excedente, lo pueden incorporar a la red pública del interconectado nacional.
- Llegando ya a los **GW**, es posible la exportación del viento. ¿Cómo es esto? Produciendo hidrógeno, obtenido a partir de electrólisis, proceso generado en el consumo de energía eléctrica suministrada por generadores eólicos.

Parte del lento crecimiento que este tipo de tecnología tiene entre nosotros está explicada por la escasa financiación. Aún superando la última crisis financiera del país, siguen sin reglamentarse leyes nacionales y provinciales que subsidiarían los kW generados de manera eólica, como una forma de competir con el gas barato -que sigue siendo una de las mejores alternativas para la producción de electricidad-.

Los principales fabricantes de automóviles están en pleno desarrollo de diversos prototipos alimentados con hidrógeno como combustible (el residuo que queda luego de su combustión es, simplemente, vapor de agua).



Confirmando los buenos vientos sureños, probamos nuestro generador eólico. Aquí se lo ve girando, gracias a ráfagas de viento de 74 km/h (unos 20 m/s) en las afueras de la ciudad de Viedma

De todos modos, a fines de 1998 se aprobó el Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar (Ley 25.019). Su finalidad es rembolsar, a quien invierta en la generación de electricidad por medios eólicos o solares, un centavo por cada kW de energía así obtenido. Pero, el precio de la electricidad en el mercado mayorista es de 2,8 centavos y el costo de generación de energía eólica todavía está en más de cuatro centavos.

Igualmente, algunos municipios han emprendido nuevas inversiones. La Cooperativa de Servicios de Comodoro Rivadavia, en la provincia de Chubut, tiene instalados molinos de origen danés (de la empresa Micon®) que rinden aproximadamente 3 veces más que si estuvieran operando en las costas del Mar Báltico.

El parque de la municipalidad de Pico Truncado, Santa Cruz, uno de los primeros parques eólicos instalados en nuestro país, acaba de cambiar todos sus generadores y adquirir productos de la marca alemana Enercon® fabricado por Wobben en Brasil, considerados como unos de los equipos más avanzados disponibles en el mercado.

Así como un mismo equipo fabricado en Europa termina rindiendo, gracias a las características del viento patagónico, 2 o 3 veces más que si estuviera instalado en el suelo europeo, a la vez se encuentra más exigido, por lo que puede verse reducida su vida útil.

Potencia del viento²⁵

m / s	W / m ²	m / s	W / m ²	m / s	W / m ²
0	0	8	313,6	16	2508,8
1	0,6	9	446,5	17	3009,2
2	4,9	10	612,5	18	3572,1
3	16,5	11	815,2	19	4201,1
4	39,2	12	1058,4	20	4900,0
5	76,5	13	1345,7	21	5672,4
6	132,3	14	1680,7	22	6521,9
7	210,1	15	2067,2	23	7452,3



Reinstalación, tras realizarle el servicio técnico, de una de las primeras turbinas fabricadas por INVAP, la IVS 4500, en su vieja versión tripala. www.invap.net

Parques eólicos nacionales

Dos mil kilómetros al sur de la ciudad de Buenos Aires, al noreste de la provincia de Santa Cruz, está Pico Truncado.

A mediados del 2004, el municipio realizó una inversión de un millón y medio de dólares en la compra de dos nuevos molinos eólicos a una empresa brasileña que produce generadores eólicos con licencia alemana. Con estos dos generadores eólicos duplicará la capacidad de generación de energía eléctrica de su parque eólico de 2,4 MW.

Esta cantidad de MW representa, para el mercado local, un abastecimiento cercano al 60 % de la demanda de energía eléctrica.

Actualmente, la Argentina cuenta con nueve parques eólicos y uno que se inaugurará próximamente en La Pampa, de mano de la *Cooperativa de Servicios Públicos de General Acha* (Cosega). Esta instalación podrá brindar un suministro eléctrico cercano al tercio del consumo que realizan sus habitantes.

Un proyecto malogrado hace poco fue el de ampliación de su potencia instalada encarado por la *Cooperativa de Servicios de Comodoro Rivadavia* que quiso llegar a los 20 MW de capacidad; pero, el barco que traía los nuevos molinos se incendió y se dañaron los

²⁵ Los valores de la presente tabla se generan considerando una densidad del aire de 1,225 kg/m³ (correspondiente al aire seco, a la presión atmosférica estándar, al nivel del mar y a 15 °C). La fórmula para el cálculo de la potencia en W por m² es = 0,5 x 1,225 x v³, donde v es la velocidad del viento en m/s.

equipos. En Comodoro Rivadavia el 10 % de la energía eléctrica es de origen eólico; su parque eólico es el más grande en cantidad de aerogeneradores y en capacidad instalada. En 1994, se instaló allí un equipo Micon® M530 de 250 kW y, en 1997, otros ocho equipos M1500 de 750 kW. El proyecto en curso, para aumentar su capacidad, tiene por objetivo la instalación de 16 aerogeneradores Gamesa® G-47 de 660 kW.

El costo por MW instalado para un parque eólico en la Argentina ronda el millón de pesos.

Pero no sólo el sur existe... para el aprovechamiento de sus vientos. La provin-

cia de Buenos Aires tiene una capacidad eólica similar a la de Alemania que, como ya hemos visto, es el país con mayor potencia eólica instalada.

La firma Enarsa® (Energías Argentinas SA), empresa española con aporte de capitales de los líderes ibéricos de la electricidad, Endesa y Elecnor, planteó un plan de inversiones en la Argentina para instalar sus tres primeros parques eólicos en Puerto Madryn (Chubut), Cutral-Có (Neuquén) y Bariloche (Río Negro) entre 2001 y 2002, con el objetivo de llegar, en diez años, a 3000 MW de potencia eólica instalada que produciría electricidad para el consumo de más de 2,5 millones de argentinos.

Distribución de los parques eólicos por provincia²⁶

Provincia de Chubut	Potencia total instalada: 17.460 kW		
Antonio Morán (17.060 kW)	Marca	Cantidad / Potencia	Fecha / Comitente
	MICON M530	2 / 250 kW	19/01/94
	MICON NM750	8 / 750 kW	12/09/97 - SCPL
	Gamesa G47	16 / 660 kW	20/12/02 - SCPL
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 11,2 m/s		Distribución: Red pública local
Rada Tilly (400 kW)	Marca	Cantidad / Potencia	Fecha / Comitente
	MICON NM750	1 / 400 kW	18/03/96 - COAGUA
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 10,8 m/s		Distribución: Red pública local
Detalle de siglas: Sociedad Cooperativa Popular Limitada (SCPL), Cooperativa de Servicios de Rada Tilly (COAGUA)			
Provincia de Buenos Aires	Potencia total instalada: 5.700 kW		
Punta Alta (2.200 kW)	Marca	Cantidad / Potencia	Fecha / Comitente
	MICON NM750	1 / 400 kW	17/02/95 - Pehuen Co
	AN BONUS 600	3 / 600 kW	10/12/98 - Bajo Hondo
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,3 m/s y 7,8 m/s		Distribución: Red local

²⁶ONG Eco-Sitio. www.eco-sitio.com.ar/parque_eolico_en_argentina.htm

Provincia de Buenos Aires		Potencia total instalada: 5.700 kW	
Tandil (800 kW)	Marca MICON NM750	Cantidad / Potencia 2 / 400 kW	Fecha / Comitente 26/05/95 - CRETAL
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,2 m/s		Distribución: Red pública local (rural) y red pública regional
Darregueira (750 kW)	Marca MICON NM750	Cantidad / Potencia 1 / 750 kW	Fecha / Comitente 12/10/97 - Coop. Elec.
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,3 m/s		Distribución: Red pública local y excedentes a la red regional
Mayor Buratovich (1.200 kW)	Marca AN BONUS 600	Cantidad / Potencia 2 / 600 kW	Fecha / Comitente 22/10/97 - Coop. Elec.
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,4 m/s		Distribución: Red pública local y excedentes a la red regional
Claromecó (750 kW)	Marca MICON NM750	Cantidad / Potencia 1 / 750 kW	Fecha / Comitente 26/12/98 - Coop. Elec.
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,3 m/s		Distribución: Red pública local
Detalle de sigla: Cooperativa Eléctrica de Tandil Azul Ltda. (CRETAL)			
Provincia de Santa Cruz		Potencia total instalada: 1.200 kW	
Pico Truncado (1.200 kW) Nota: reemplazan equipos de 1998	Marca Enercon E-40/6.44	Cantidad / Potencia 2 / 600 kW	Fecha / Comitente 10/02/01 - Municipalidad
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,21 m/s		Distribución: Red pública local
Provincia de La Pampa		Potencia total instalada: 900 kW	
General Acha (900 kW)	Marca NEG MICON NM52/900	Cantidad / Potencia 1 / 900 kW	Fecha / Comitente Dic. 02 - COSEGA
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,21 m/s		Distribución: Red pública local
Detalle de sigla: Cooperativa de Servicios Públicos de General Acha Ltda. (COSEGA)			
Provincia del Neuquén		Potencia total instalada: 400 kW	
Cutral Co (400 kW)	Marca MICON NM750	Cantidad / Potencia 1 / 400 kW	Fecha / Comitente 20/10/94 - COPELCO
Otros datos	Velocidad promedio del viento: 7,2 m/s		Distribución: Red pública local
Detalle de siglas: Cooperativa Eléctrica de Cutral Co (COPELCO)			

Historia del recurso eólico

Al buscar antecedentes históricos de los molinos de viento, nos encontramos con las primeras menciones del aprovechamiento del recurso eólico para la navegación a vela. Aunque las referencias iniciales sobre máquinas eólicas que aprovechan el viento para otro tipo de actividades datan del siglo II a. C., en la antigua Persia del siglo VII a. C. ya existieron los primeros molinos de viento con carácter utilitario. Los chinos también utilizaban, desde tiempos remotos, molinos de viento; aunque, en este caso, su aplicación es para el bombeo de agua -a diferencia del molino persa, que trituraba granos-. Ambos responden a la configuración de un molino de eje vertical.

Igualmente, apoyándonos en documentación histórica gráfica, en los siglos XI y XII, advertimos que se comienza a hablar de un uso concreto y generalizado de los molinos de viento. Se estima que los primeros molinos son introducidos en Europa por quienes retornan de las cruzadas.

"El molino más antiguo pudo ser el que se construyó en Rexpoede cerca de Dunkerque, en el siglo X, y que todavía existía hasta tan sólo algunas décadas atrás. El primer molino del que se disponen pruebas documentales se construyó en Francia en 1180; y, a partir de esta fecha, parece que se extienden rápidamente. En el 1190 se construyó el primer molino inglés; en 1222 se conoce de otro en la ciudad de Colonia y en 1237 aparece el primer molino italiano del que hasta ahora se tiene referencia. El famoso molino del Monasterio de Koninsgvelden Delf (Holanda)

se construyó en 1229."²⁷



Molinos de viento en Kinderdijk, Holanda. Alrededor del año 1740 se habían construido aquí 19 molinos de viento. Aunque su principal uso era en la molienda de grano, también resultaban muy útiles al momento de ayudar a bombear el agua de las áreas bajas.
www.freefoto.com

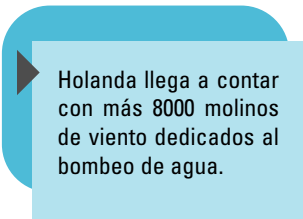
Desde el punto de vista tecnológico, los molinos no evolucionaron demasiado durante siglos; pero, fueron ampliando su campo de aplicación, utilizándose como fuerza motriz en el desarrollo de industrias como la textil, la metalúrgica, la de la fabricación de papel. Y, probablemente, la transformación de los molinos de eje vertical en eje horizontal debió ser consecuencia de la necesidad de adaptar estas máquinas eólicas al bombeo de agua (la posibilidad de tomar la fuerza directamente del eje de rotación, sin necesidad de incluir un engranaje para cambiar de dirección, es favorecida por este último tipo de construcción).

El principal problema tecnológico a enfrentar es, entonces, el de la orientación de las palas a favor de la dirección del viento. Gran parte de la estructura que contiene el eje principal,

²⁷ Cádiz Deleito, Juan Carlos (1984) *La energía eólica. Tecnología e historia*. Hermann Blume. Madrid.

el rotor y las palas, es la que gira para mejorar su posición, lo que se realiza por medio de un sistema de palancas. Pero, los problemas de peso y roce hacen, de esta tarea, algo poco efectivo.

Los holandeses son de los primeros en modificar la tecnología del eje vertical y, a partir del 1.350, comienzan a cons-



Holanda llega a contar con más 8000 molinos de viento dedicados al bombeo de agua.

truir máquinas de eje horizontal y con cuatro palas formadas por un eje central; a éstas se les adosa una trama de listones de madera que, recubiertos de tela, generan la superficie que capta al viento.

El desarrollo de las ciencias y, en particular, de la mecánica durante el Renacimiento es el contexto claro para avanzar en varios aspectos técnicos. Los sistemas hidráulicos y los sistemas eólicos se constituyen en las principales fuentes de energía motriz.

"A finales del siglo XVI los molinos de viento se utilizaban para las aplicaciones más diversas. En Francia e Inglaterra se emplean en la obtención de la sal, facilitando la evaporación del agua del mar. En 1582 se construye en Holanda el primer molino de aceite; y, cuatro años más tarde, el primero dedicado a moler pasta de papel. En 1592 se construye la primera serrería holandesa impulsada por energía eólica."²⁸

Comienzan a diseñarse dos líneas de molinos de viento identificados con el tipo de estruc-

tura que los soporta:

- los molinos de trípode y
- los molinos de torre.

El trabajo sobre las **estructuras trípode** permite transformaciones hacia un mayor tamaño de los molinos de viento, debido a su buen sistema de apoyo. Luego, estas estructuras terminan recibiendo un cerramiento que se constituye incluso, en la vivienda del encargado de operar el molino.

La otra línea de desarrollo es la que utiliza una **torre** -generalmente, de sección circular- construida de ladrillos o piedras; sobre ella se asienta una estructura de madera que contiene el eje principal y el conjunto de engranajes que transmite el movimiento.

Para ambos casos, el problema a resolver sigue siendo la posibilidad de orientar las palas a favor del viento. Recién en el siglo XVII se encuentran antecedentes de resoluciones mecánicas al problema de la orientación de las palas. En 1745, Edmund Lee patenta el timón que orienta automáticamente el molino en la dirección del viento.

Este hecho permite, luego, tomar partido a favor de continuar el desarrollo de los molinos de viento de ejes horizontales -que, a igual posibilidad de regulación y control del funcionamiento, resultan más eficientes-.

Durante el siglo XVIII, el reemplazo de la madera y la piedra como principales materiales de construcción de los molinos a favor de algunos metales, trae mejoras en el diseño propiamente dicho, aligerando su peso y mejorando las condiciones de rozamiento

²⁸ Cádiz Deleito, Juan Carlos (1984) Op. Cit.

entre piezas. Se comienza, también, con las publicaciones de los primeros tratados teóricos sobre el tema que comprenden no sólo relevamientos detallados como los que se realizan en el Renacimiento, sino también completos estudios sobre aerodinamia de las palas y desarrollos de sistemas automáticos de orientación.

Este desarrollo tecnológico se mantiene constante hasta la mitad del siglo siguiente; pero, no debemos olvidar que el contexto en el cual se desarrollan es una industria netamente artesanal y que una de sus principales limitaciones para el aprovechamiento de la energía eólica es la necesidad de utilizar *in situ* la potencia que se genera (el transporte de energía -aunque existen sistemas para esto- es realizado, en ese entonces, con grandes pérdidas).

A partir de mediados del siglo XIX, la Revolución Industrial trae aparejado un nuevo período de cambios para los molinos de viento.

Con nuevos diseños, más simples y pensados para su producción en serie bajo los conceptos de la revolución en curso, comienza a expandirse su instalación a zonas rurales para el trabajo de bombeo de agua.

Esta especialización en su utilización -principalmente, en EEUU- permite, por una parte, grandes series de producción y, por otra parte, limita las investigaciones a desarrollos específicos para esta funcionalidad.

Conceptualmente, Europa entiende la explotación del recurso eólico en forma más amplia. El país que marca una clara dirección en la investigación y el desarrollo, dando los primeros pasos para la obtención de energía

eléctrica a partir de la energía eólica, es Dinamarca. Ya en 1890, en el ámbito gubernamental, se inicia un programa de desarrollo eólico que lleva al Ingeniero Lacour a convertirse en uno de los pioneros y referentes principales de esta tecnología. Los generadores daneses son, hoy, los más avanzados tecnológicamente y contamos con varios de ellos en los parques eólicos argentinos (por ejemplo, en Comodoro Rivadavia).



Parque eólico en Zeeland Kreekrak, Países Bajos. A lo largo de todo el margen de la represa están instaladas 26 turbinas bipalas.
www.freefoto.com

En lo que más tarde se convertiría en una planta y centro de investigación, Lacour construye el primer prototipo de un generador eólico que produce electricidad. Con una altura de 24 metros para la torre, el generador situado en su base y un rotor de 4 palas de 25 metros de diámetro, puede desarrollar potencias entre los 5 a 25 kW.

Con los primeros pasos de la aeronáutica, a comienzos del siglo pasado, se llega a contar, en las décadas siguientes, con información específica de perfiles aerodinámicos posibles de aplicarse al diseño y a la construcción de las palas de los molinos de viento.

El volcado de recursos de la industria

aeronáutica permite, entonces, avanzar esta tecnología en todos los aspectos posibles.



Dos de los aerogeneradores de prueba del Instituto de Askov Folk, Askov (Dinamarca), en 1897. Este instituto, fundado por P. Lacour todavía existe, manteniendo los molinos de viento en su estado original. Danish Wind Industry Association. www.windpower.org

"En 1927, el holandés Dekker construyó el primer rotor provisto de palas con sección aerodinámica, capaz de alcanzar velocidades en punta de pala 4 o 5 veces superiores a la del viento incidente. Hasta ese momento, las velocidades típicas más elevadas que se habían alcanzado con los multipalas era de dos veces la del viento. Los molinos clásicos habían funcionado con velocidades de rotación inferiores a la del viento."²⁹

Este crecimiento encuentra su principal escollo en el cada vez más masivo uso de los combustibles fósiles; particularmente, en el uso del petróleo. Así, podemos advertir que los ciclos de mayor desarrollo de las tecnologías de generación eólica toman nuevos impulsos cada vez que enfrentamos una crisis energética por la dependencia de los combustibles fósiles (sea por precio, guerras o escasez) y decaen una vez superados estos problemas.

Aerodinamia de un generador

Principios básicos

Para diseñar una máquina eólica, en el siglo XVI no se cuenta con los conocimientos de una teoría aerodinámica sino que se trabaja aplicando conocimientos empíricos y de manera artesanal.

En la actualidad, en cambio, es posible acceder a conocimientos suficientes y, sobre todo, a métodos de cálculo y de simulación que nos permiten determinar con precisión todos los aspectos relacionados con el diseño de un generador eólico. Porque, los generadores eólicos actuales toman prestados del campo aeronáutico conceptos y tecnología ya conocidos y probados, adaptándolos a las características particulares de su propio funcionamiento.

En la tierra o en el espacio, cada elemento se nos presenta en tres estados según los cuales se lo clasifica como sólido, líquido, o gas. Al estudio del comportamiento de los elementos sometidos a una fuerza que actúa sobre ellos se lo denomina **dinámica**.

Y el estudio de la dinámica se divide, básicamente, en tres grandes especialidades: dinámica de sólidos, dinámica de líquidos y dinámica de gases. En esta última división, el estudio particular de la dinámica del aire está encarado por la **aerodinámica**.

La aerodinámica, entonces, es el estudio de las fuerzas ejercidas por el aire sobre un objeto. Estas fuerzas se vuelven activas cuando un objeto se mueve a través del aire.

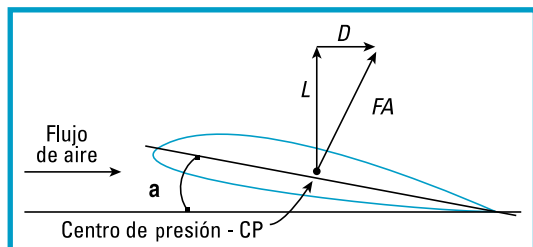
²⁹ Cádiz Deleito, Juan Carlos (1984) Op. Cit.

Para su mejor funcionamiento, las aspas de los grandes aerogeneradores son optimizadas, diseñándose sobre la base de perfiles alares.

Veamos el comportamiento básico de uno de estos perfiles...

La fuerza aerodinámica es la fuerza resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el perfil alar. Un **perfil alar** aplicado en la construcción de las alas de un avión involucra cuatro fuerzas que pueden ser medidas y comparadas: sustentación, resistencia, empuje y peso. Si descomponemos la fuerza aerodinámica según la dirección del flujo de aire recibido, obtenemos una componente perpendicular **L** denominada sustentación (que empuja hacia arriba el peso del perfil) y otra componente **D**, paralela a la corriente de aire, denominada resistencia (que se opone al empuje necesario para que pueda desplazarse el ala). Alfa es el ángulo de ataque con que el perfil enfrenta la corriente de aire (Veremos más adelante la importancia de la posición del perfil al recibir el flujo de aire).

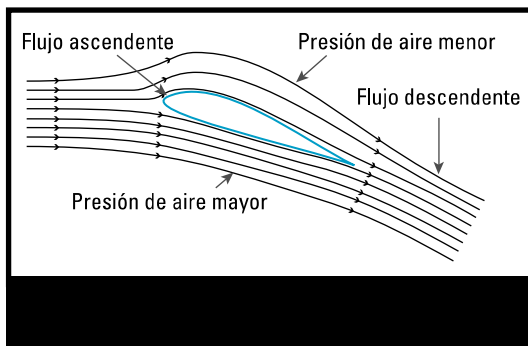
Para que el avión vuele, entonces, la fuerza de sustentación debe ser mayor o igual al peso, y la fuerza de empuje debe ser mayor o igual a la fuerza de resistencia.



**FA = Fuerza aerodinámica, L = Sustentación,
D = Resistencia, α = Ángulo de ataque**

El deslizamiento del aire por sobre la superficie superior de un perfil alar que se mueva horizontalmente lo hará más rápidamente que el aire que se desliza por la superficie inferior. Esto genera una presión más baja en la superficie superior (debido al teorema de Bernoulli³⁰), recibiendo el empuje hacia arriba de la presión mayor que se generó en la cara inferior del perfil, lo que crea el fenómeno de la **sustentación**.

Pero, si ya estamos en vuelo y pretendemos descender, necesitamos disminuir la sustentación derivada de la baja presión en la superficie superior del ala, es decir, perder sustentación. Esta acción -que se conoce, también, como "entrar en pérdida"- se produce debido al desprendimiento de la corriente de aire de la superficie superior y a la formación de turbulencias en su parte posterior.



Continuando con el ejemplo de un perfil de ala de avión, esto se consigue variando el ángulo de ataque. A medida que el ala

³⁰ Recordemos que el teorema de Bernoulli enuncia que, cuando un fluido circula por un conducto, la presión disminuye al aumentar la velocidad y viceversa. En nuestro caso, como el camino recorrido por la parte superior del perfil es mayor que el recorrido por la parte inferior (por la forma del perfil y/o por el ángulo de ataque), entonces la presión en la parte superior del perfil es inferior a la presión en la parte inferior.

aumenta su ángulo de ataque respecto de la dirección de la corriente de aire que recibe, comienza a aumentar también la fuerza del empuje generada en su cara inferior; pero, esto es hasta alcanzar cierto valor, ya que luego el flujo de aire en la superficie superior deja de estar en contacto con ésta ocasionando, además, que el aire gire en forma desordenada o turbulenta.

Podemos confirmar esto con una experiencia muy simple: Al sacar la mano por la ventanilla de un automóvil en movimiento, si la mano se mantiene perfectamente plana y paralela al camino, podemos sentir la resistencia del aire en ella. Si, ahora, giramos levemente la mano hacia arriba, rápidamente sentiremos cómo el aire empuja la mano hacia arriba. Es decir, al aumentar el ángulo de ataque, aumentamos la sustentación.

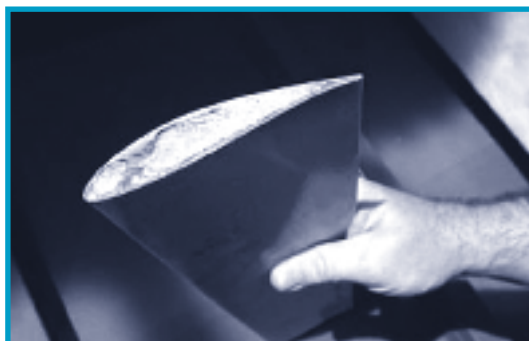
Hemos mencionado hasta aquí el fenómeno de sustentación relacionado al perfil de un ala de avión y su ángulo de ataque. Sin embargo, los diseñadores de aviones no sólo se preocupan por la sustentación para elevarse y por cómo entrar en pérdida de sustentación para descender. También se preocupan de la otra componente que mencionáramos antes: la **resistencia del aire** o resistencia aerodinámica.

La resistencia aerodinámica, normalmente, aumenta si el área orientada en la dirección del movimiento aumenta. Depende, básicamente, de la forma del ala y, nuevamente, de su ángulo de ataque.

Aunque en los molinos antiguos la sección de las aspas es, generalmente, plana y constante, la elección del perfil más adecuado

para construir un aspa para un generador eólico actual, teniendo en cuenta estas características aerodinámicas, nos lleva a considerar un diseño que permita, para cada sección del ala, un ángulo de ataque óptimo. Por esta razón, algunos modelos de aspas tienen forma alabeada, con el fin de que el ángulo de ataque sea el óptimo a lo largo de toda su longitud.

Sin embargo, esto complejiza el proceso productivo y encarece el producto final y, aunque contemos con un aspa diseñada para obtener el mayor rendimiento posible a una determinada velocidad del viento, cuando esta última varíe dejaremos de trabajar en el régimen óptimo. Una solución intermedia a este problema es la de mantener el mismo ángulo de ataque a lo largo de toda la sección del aspa y hacer girar toda el aspa, para adaptar dicho ángulo a las condiciones de la corriente de aire que reciba. Esta situación, claro está, redundará en un menor rendimiento aerodinámico.



Sección de aspa del equipo IVS 4500 fabricado por INVAP; está hecha de una sola pieza de plástico reforzado, con interior de espuma de poliuretano; un par de nervaduras internas refuerza el borde de ataque.
www.invap.net

Hasta aquí hemos notado cómo las fuerzas aerodinámicas en las aspas de un generador eólico, se comportan de forma similar a las del ala de avión. Pero, debemos agregarle otro factor a los ya considerados y es la velocidad que se produce a causa de la rotación de las aspas.

El viento que llega a las palas del rotor de un aerogenerador no viene de la dirección en la que el viento sopla en el entorno, es decir, de la parte delantera de la turbina. Esto es debido a que las propias palas del rotor se están moviendo. Dado que la mayoría de las turbinas tiene una velocidad de giro constante, la velocidad a la que se mueve la punta de la pala (velocidad periférica) suele estar alrededor de los 64 m/s, mientras que en el centro del buje es nula. A un cuarto de la longitud de la pala, la velocidad es, entonces, de 16 m/s.

Geometría de los perfiles

Hemos estado hablando de la necesidad de hacer girar un rotor gracias al diseño de las aspas y a la velocidad del viento que éstas puedan recibir.

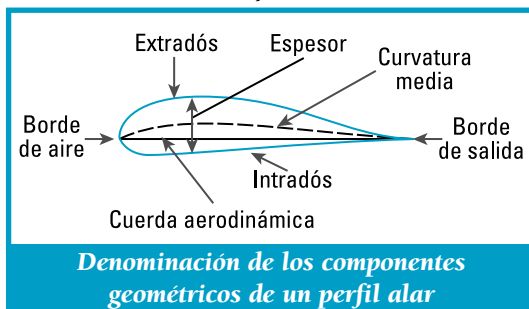
La velocidad del aire y la forma del perfil que utilicemos en la construcción del aspa del generador eólico determinan la aparición de las fuerzas aerodinámicas que podemos aprovechar para lograr la transformación de la energía.

Básicamente, un perfil se traza a partir de una línea recta que puede estar dentro o fuera de él. Y se emplea un sistema de coordenadas X-Y para ir definiendo el perfil, punto a

punto, con toda la precisión que deseemos.

Enumeramos a continuación sus partes principales:

- Borde de ataque: Punto central de la parte delantera de un perfil.
- Borde de salida: Punto central de la parte trasera de un perfil.
- Cuerda: Línea recta que une el borde de ataque con el borde de salida.
- Espesor: Máxima distancia entre el extradós y el intradós.
- Extradós: Parte superior de un perfil.
- Intradós: Es la parte inferior de un perfil.
- Curvatura media: Es la línea equidistante entre el extradós y el intradós.



Hoy existe una gran variedad de formas en perfiles aerodinámicos ensayados en túneles de viento. Un ejemplo característico son los catálogos NACA -National Aeronautics Committee Administration-. En particular, para aplicaciones eólicas, se suelen utilizar perfiles de la serie NACA 23 o 44.

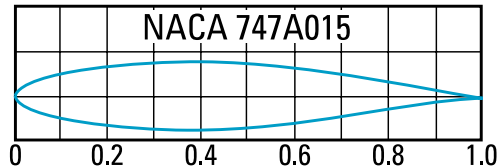
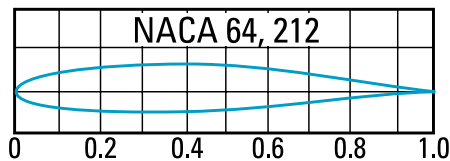
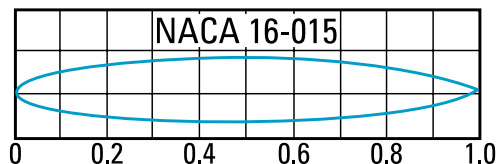
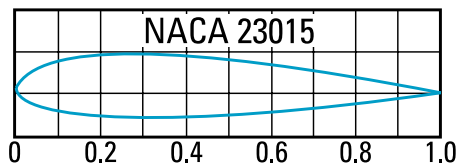
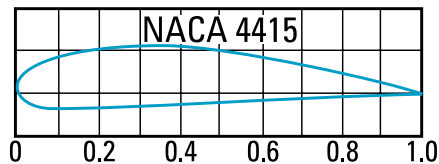
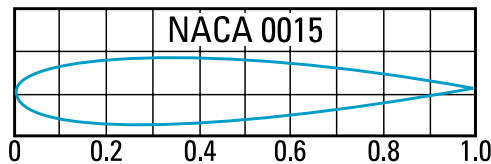
El sistema NACA considera un perfil constituido por dos parámetros:

- un perfil de base biconvexo simétrico,
- una línea media recta.

Sobre este perfil base, curvando la línea media y variando las dimensiones de las otras variables (espesor, radio del borde de ataque, etc.) se van logrando las distintas configuraciones. Estas variaciones en la configuración quedan, luego, establecidas por el número que las designa y representan porcentajes de la magnitud que se determine a la cuerda.

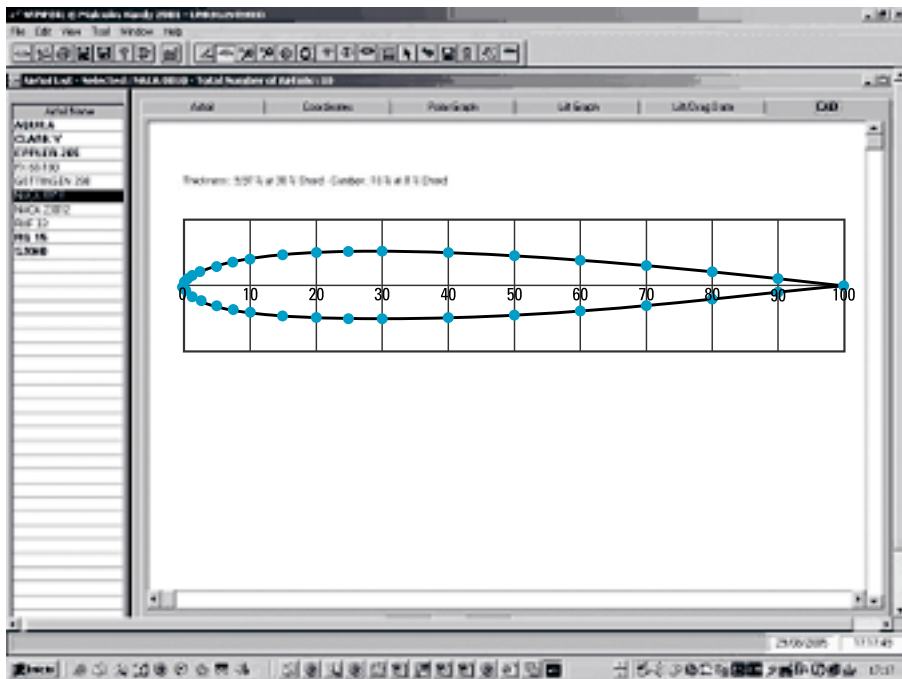
Por ejemplo, un perfil NACA denominado 4415 tiene una curvatura máxima del 4 % de la cuerda, situada a una distancia del 40 % del punto inicial de la cuerda (se mide desde el borde de ataque hacia la derecha) y con un espesor máximo del 15 % de la cuerda. El perfil NACA que comienza con la denominación 00 es un perfil simétrico (de curvatura 0).

Para avanzar en este punto, podemos contar con algunos programas de diseño de perfiles fácilmente accesibles desde la web; por ejemplo, el Winfoil³¹ es una herramienta para el diseño y el análisis de perfiles aeronáuticos. Orientado a la obtención de planos de partes constructivas para aviones a radiocontrol, posee una interfase muy simple y viene cargado con algunos perfiles como modelos. El trazado de un nuevo perfil según requerimientos particulares es similar al trabajo que puede necesitarse realizar utilizando un programa de modelado 2D y permite tanto la impresión directa del diseño obtenido como su exportación en archivo digital hacia otros programas.



Ejemplos de perfiles NACA; las series de más de cuatro dígitos responden a perfiles más complejos de diseñar, orientados al desempeño en altas velocidades de flujo de aire

³¹ En el sitio web del software Winfoil www.winfoil.com se puede descargar una versión demo totalmente operable, con la única limitación de poder grabar 20 trabajos.



Captura de pantalla del diseño de un perfil NACA con el software Winfoil 2

Instalaciones

Emplazamiento

Si tenemos en cuenta que el viento es nuestro principal factor energético para hacer funcionar un generador eólico, podemos considerar que, en principio, un lugar adecuado para su instalación es aquel en el que la velocidad con la que soplan los vientos es elevada.

Pero, como la velocidad del viento no siempre es constante, la cantidad de energía que nos provee varía continuamente. Estas fluctuaciones dependen tanto de las condiciones de la superficie y de los obstáculos del

entorno elegido como de las variaciones de temperatura -que pueden generar turbulencias y cambios de dirección en el flujo del aire-.

La topografía del emplazamiento es muy importante al momento de determinar la mejor zona para el aprovechamiento del recurso eólico. Desde montañas que pueden constituirse en obstáculos hasta el tipo de superficie del terreno, deben ser tenidos en cuenta a la hora de una completa evaluación del lugar.

No es difícil imaginar que las montañas constituyen un importante obstáculo al desplazamiento del aire (se considera que reducen en un 30 a un 50 % de la velocidad que se ten-

dría en iguales condiciones moviéndose en un espacio libre); pero, un efecto similar de frenado puede producirse, también, en zonas sin obstáculos.

Veamos a continuación los principales factores que inciden de manera directa al momento de tener en cuenta el logro máximo de rendimiento de una instalación eólica, en relación con el lugar de su emplazamiento.



Fuerza de Coriolis. En el título "Energía" mencionamos cómo se generan los vientos globales a partir de la energía recibida del Sol. Recordemos brevemente esto.

Cuando el viento sube desde el Ecuador, y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera, hay un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo que atrae a los vientos del norte y del sur; en los polos, hay altas presiones debido al aire frío.

Debido a la rotación del globo, cualquier movimiento en el hemisferio sur es desviado hacia la izquierda, visto desde arriba (en el hemisferio norte es a la inversa). Este fenómeno es conocido como **fuerza de Coriolis**.

La fuerza de Coriolis es un fenómeno visible. El agua desagotándose de una pileta es el clásico ejemplo (observemos el sentido del giro en el remolino que se forma).

- En el hemisferio norte, el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj (visto desde arriba) cuando se acerca a un área de bajas presiones.
- En el hemisferio sur, el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones.



Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios, la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo.

Rugosidad. Aproximadamente a un kilómetro de altura de la superficie terrestre, el viento apenas sufre influencia alguna por el tipo de suelo. A medida que nos acercamos a éste, en las capas más bajas de la atmósfera, la velocidad del viento ya comienza a ser afectada por la fricción con la superficie terrestre; es decir, comienza a ser influenciada por los obstáculos y por la vegetación que la componen.

A esta influencia de la superficie terrestre

sobre la velocidad del viento (efecto de frenado) se la define como **rugosidad**.

Obviamente, los bosques o una configuración urbana restan mucha más velocidad al viento que la superficie de un espejo de agua -como puede ser un lago-. Una carretera o una pista de hormigón tienen una influencia distinta que una zona de pastos altos y arbustos.



El pastoreo de animales permite mantener una superficie con baja rugosidad.
www.windpowerphotos.com

Las ovejas se han convertido en buenas amigas al momento de elegir un lugar para la instalación de un aerogenerador; el pastoreo de un rebaño permite mantener la superficie de un terreno con vegetación de pocos centímetros de altura.

La rugosidad es cuantificada con un número:

- Una alta rugosidad se corresponde con un paisaje con muchos árboles y/o edificios; se le asigna un valor numérico de 3 o 4 puntos.
- El espejo de agua que mencionáramos anteriormente o una pista de aeropuerto se corresponden con una superficie de rugosidad cercana al valor 0.

Otro aspecto a considerar dentro del concepto de rugosidad es la longitud de ésta. Nos referimos a la distancia sobre el nivel del suelo a la que, teóricamente, la velocidad del viento debería ser nula.

Tabla de clases y de longitudes de rugosidad³²

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad m	Índice de energía (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua.
0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa; por ejemplo, pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colinas suavemente redondeadas.
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura, con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura, con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura, con una distancia aproximada de 250 m.
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado, y muy desigual.
3,5	0,8	18	Ciudades más grandes con edificios altos.
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

³² Atlas Eólico Europeo (1991).

Obstáculos. Los obstáculos no sólo pueden disminuir la velocidad del viento sino, también, cambiar su dirección y generar turbulencias.

Los obstáculos deben considerarse tanto en alto como en ancho.

El efecto de frenado del viento que un **obstáculo** produce aumenta con su altura y con su longitud. Obviamente, el efecto es más pronunciado cerca del obstáculo y cerca del suelo.

La distancia entre el obstáculo y el generador eólico es muy importante porque, en general, el efecto del abrigo disminuye conforme nos alejemos del obstáculo. En un terreno con una rugosidad muy baja (por ejemplo, el espejo de superficie de un lago), el efecto de los obstáculos (una isla) puede medirse hasta 20 km más allá del obstáculo.

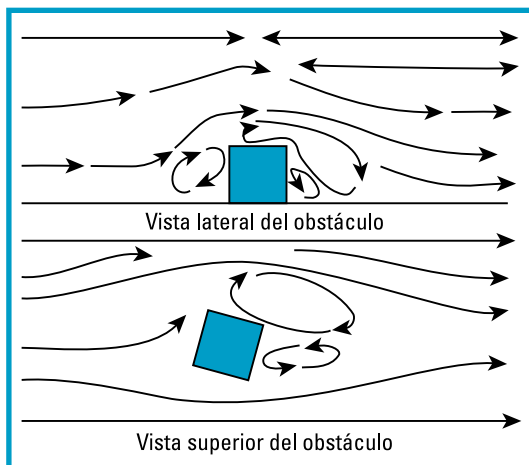
Dependiendo de la geometría exacta del obstáculo, la distancia aproximada a considerar para ubicar un generador eólico respecto de éste no debe ser inferior a 5 veces la altura del obstáculo en cuestión.

Cuanto más alto es el obstáculo, mayor será el abrigo. El obstáculo no debe sobre pasar en alto la mitad de la altura del eje de giro de las aspas del generador eólico.

A mayor altura sobre la parte superior de un obstáculo, menor será el abrigo o reparo del viento que produzca. Sin embargo, el abrigo puede extenderse hasta una altura cinco veces superior a la del obstáculo, a una cierta distancia.

Los obstáculos disminuyen la velocidad del viento, según sea su densidad. Una pared es un obstáculo sólido mientras que un árbol tiene más o menos espacio libre para el paso del viento entre su follaje. Esto es lo que se considera como **porosidad** en un obstáculo; es decir, la facilidad con que el viento puede atravesarlo.

Un edificio, una pared, tienen porosidad nula; un árbol en invierno -desprovisto de todas sus hojas- es mucho más poroso que una pared (aunque, igualmente, puede disminuir hasta en un 40 % la velocidad del viento que lo atraviese). Los árboles con un espeso follaje tienen un efecto de frenado intermedio.



Esquema de las líneas de flujo que identifican la turbulencia que puede generar un obstáculo al paso del viento. Danish Wind Industry Association. Danish Wind Industry Association. www.windpower.org

Turbulencia. Así como vimos la influencia de las distintas superficies de terrenos en la velocidad del viento, los obstáculos que ésta enfrente generan turbulencias en el flujo de aire que puede recibir un generador eólico instalado.

Un viento con flujos de aire irregulares que genere remolinos, turbulencias y cambios de dirección disminuye la posibilidad de utilizar la energía del viento en todo su potencial, agregando a esto que la incidencia en forma de ráfagas de distinta velocidad termina haciendo funcionar al generador de manera irregular, creando fatiga, rotura o problemas de rozamiento en algunas piezas.

Cizallamiento. A medida que nos alejamos de la superficie terrestre, la velocidad del viento aumenta, lejos ya de las distintas influencias que le restan velocidad. Pero, a medida que nos acercamos al nivel del suelo, el viento disminuye su velocidad. Este efecto se denomina **cizallamiento** del viento.

El cizallamiento del viento es otro factor a considerar para el diseño de un generador eólico. Cuanto más alto se ubique un generador eólico y cuanto más grande sea éste, podemos encontrar variaciones en la velocidad del viento que reciben las aspas.

Estas variaciones se evidencian según sea su ubicación en distintos instantes de su giro. Cuando un aspa está en su posición más alta, recibe mayores cargas debidas a una mayor velocidad del viento que incide sobre ella; esta incidencia es menor cuando el aspa está en su posición más baja.

Si, por ejemplo, tomamos las dimensiones de un generador eólico ubicado a más de 60 metros de altura cuyos rotores pueden llegar a cubrir 40 metros de diámetro, nos damos cuenta de lo importante de este efecto.

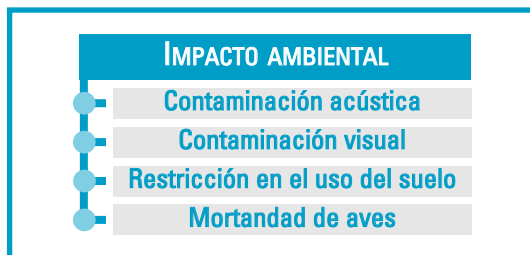
Estudio de impacto ambiental

La principal defensa que se realiza a favor de la utilización de generadores eólicos para el abastecimiento de electricidad es la falta de emisión de CO₂ (anhídrido carbónico o dióxido de carbono) a la atmósfera. Los generadores eólicos no emiten gases, por lo que no contaminan el aire y no contribuyen al efecto invernadero. Esta enorme ventaja puede ser, por sí sola, un factor determinante al momento de considerar la utilización de esta tecnología para la producción de energía eléctrica.

Pero, el emplazamiento de un parque eólico requiere, igualmente, un estudio de impacto ambiental.

Aunque, para su instalación y funcionamiento, se comienza por tener en cuenta, básicamente, un espacio alejado de zonas pobladas o de zonas turísticas, existe un impacto ambiental. Cuantificable claro, pero mínimo, localizado y de fácil mitigación.

¿Cuáles son los aspectos principales a tener en cuenta durante el estudio de impacto ambiental para este tipo de aprovechamiento de recursos naturales? Veamos los siguientes:



Contaminación acústica. El ruido es ocasionado por la velocidad de giro de las aspas más las piezas involucradas en los mecanismos.

mos del generador eólico (ruido mecánico: producido por las piezas móviles que conforman el generador).

El ruido aerodinámico es el producido por el pasaje del aire a través de las aspas.

A modo de ejemplo podemos citar que una turbina grande a 250 metros de distancia de un observador genera un ruido que, al llegar a sus oídos, es equivalente al ruido producido por el compresor de un refrigerador doméstico estándar. Claro que, si de parques eólicos estamos hablando, debemos tener en cuenta también la cantidad de generadores que lo componen.

El nivel sonoro disminuye aproximadamente en 6 decibeles (dB) cada vez que doblamos la distancia a la fuente de sonido.

Una persona situada a 150 metros de un generador eólico que produzca 100 dB mientras funciona, percibe menos de la mitad de este sonido (aproximadamente 45 dB).

Tengamos en cuenta que, al hablar de un parque eólico, no debemos multiplicar estos decibeles percibidos por la cantidad de generadores instalados, debido a que la suma de dos niveles sonoros similares proporciona un nivel sonoro 3 dB mayor (cuatro generadores dan 6 dB más; 10 generadores lo aumentan en 10 dB).

¿Cómo mitigar este impacto? Comenzando por mejorar los diseños tanto de las aspas como de los componentes mecánicos, considerando los materiales y ajustes entre piezas en función de lograr una disminución del ruido total, una vez puesto en funcionamiento el generador.

Con la elaboración de un modelo de dispersión de ruidos para estudiar el problema, podemos realizar las correcciones necesarias.

Al intentar medir el sonido producido por los aerogeneradores nos encontramos frente a un problema: ningún paisaje brinda un silencio absoluto. A velocidades del viento aproximadas a 8 metros por segundo (por otra parte, velocidad necesaria para el correcto funcionamiento de un generador eólico), el ruido de fondo -alrededor de unos 30 dB-, dificulta la medición aislada sobre el generador, que debe ser unos 10 dB superior, para poder registrarse adecuadamente.

La percepción de un sonido como agradable o molesto no deja de ser una cuestión subjetiva. Así como dijimos que alguno de nosotros puede disfrutar de la visión de un parque eólico funcionando a pleno, el sonido producido en él puede ser parte, también, de nuestra agradable percepción, o llegar a nuestros oídos como un simple y molesto ruido.

Igualmente, el sonido producido por este tipo de instalaciones está considerado como un ruido blanco aleatorio -similar al que producen, por ejemplo, las olas del mar-; es decir, un sonido percibido por nuestro cerebro que no necesita ser analizado continuamente para ser discernido -en contraposición a lo que puede ser el proceso mental de escuchar música-.

Para que tengamos una idea de los niveles de sonido que se producen en diversas circunstancias, la siguiente tabla es considerada como uno de los estándares internacionales de comparación:

Escala de ponderación para sonidos débiles

Nivel de sonido	dB (A)	Nivel de sonido	dB (A)
Umbral de audibilidad	0	Tráfico urbano	90
Susurro	30	Concierto de rock	120
Conversación	60	Reactor a 10 m	150

También debemos considerar que el sonido se propaga en el aire; pero, por suerte, esta propagación tiene su ley: La energía de las ondas sonoras (y, por tanto, la intensidad del sonido) disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente sonora. Es decir, si nos alejamos 200 metros de un aerogenerador, el nivel de sonido es un cuarto del que teníamos a 100 metros.

En su ficha técnica, un generador eólico moderno puede tener indicados entre 90 y 100 dB de nivel sonoro a pleno funcionamiento. Pero, es improbable que estemos justamente al lado de él mientras funciona.

A distancias superiores a 300 metros, el nivel de ruido teórico máximo de los aerogeneradores de alta calidad está, generalmente, por debajo de los 45 dB al aire libre.

Contaminación visual. Es otro de los aspectos a considerar en el estudio de impacto ambiental; el más cuestionado de todos y el de más difícil cuantificación. Concretamente, nos referimos al aspecto visual que presenta un parque eólico instalado.

La presencia física de cada generador, su distribución y la cantidad que constituye un parque eólico no deja de ser una imagen

imponente y digna de disfrutar; aunque, esto tiene un carácter subjetivo, claro. A algunos de nosotros puede gustarles la postal de varios generadores eólicos funcionando a pleno y, a otros, no.

Se toma en cuenta que el impacto visual es mínimo para un observador, a más de 6 kilómetros de distancia del parque.

Podemos mitigar este impacto considerando el punto de partida del proyecto -es decir, la zona de emplazamiento-, eligiendo lugares de poca atracción visual o valor turístico, como ya mencionamos.

"La experiencia obtenida de sociedades donde ya se han instalado granjas eólicas, demuestra que, una vez que la población empieza a sentir los beneficios provocados por el emprendimiento, disminuye considerablemente la creencia de que el impacto visual es negativo. Por lo que, si la población es informada sobre los beneficios que ocasiona esta fuente renovable de obtención de energía, disminuirá el impacto visual. Se debe crear una fuerte relación ambiental, social y económica entre la granja eólica y la comunidad anfitriona del emprendimiento."³³

³³ Eco2site. "Nuevo Informe de la IEA". www.eco2site.com/informes/eol.asp

Restricción en el uso del suelo. Otro aspecto sobre el que incide la instalación de un parque eólico es el uso del suelo.

Un parque eólico ocupa una superficie considerable de terreno, debido a los requerimientos de espacio que las normas para la alineación de cada generador determinan para evitar las interferencias aerodinámicas entre ellos.

En términos de ocupación real de la superficie, un parque eólico requiere de un 1 a un 5 % del terreno (los generadores ocupan entre un 0.2 al 1 % del terreno, mientras que entre el 0.8 al 4 % restante se destina a las áreas de servicio e infraestructura complementaria. Por lo tanto, una vez terminada la construcción y la instalación de los generadores, el terreno puede seguir siendo utilizando en un 95 a 99 % de su extensión, en actividades tradicionales como el pastoreo y la agricultura.

Y, como en cualquier otra obra civil, se realizan movimientos de tierras y erosión de suelos en relación con la construcción de vías de acceso, edificaciones anexas, etc. Esto hace que, durante la fase de construcción, la fauna se desplace, temporalmente; para, una vez finalizada la obra, volver al área del parque eólico.

Mortandad de aves. El peligro de choque en el caso de los pájaros es relativamente bajo, ya que ellos se acostumbran rápidamente a la instalación y, en particular, al movimiento de los generadores, evitando así los obstáculos existentes en su propio territorio. Incluso, grupos de aves migratorias que, en caso de transitar por la zona, son previsiblemente más afectadas por el riesgo de colisión contra las aspas, desvían su dirección de vuelo

cuando el parque eólico se encuentra a su paso.

Estudios específicos sobre el comportamiento de las aves frente a un generador eólico que se interpone en su ruta de vuelo, mostraron que entre los 100 a 200 metros antes de llegar al aerogenerador ya cambian la ruta y lo sobrevuelan a una distancia segura.

Pero, para mitigar este aspecto, podemos comenzar por tener en cuenta que el emplazamiento no se encuentre interfiriendo ninguna ruta migratoria de aves.

Para finalizar con el tratamiento del impacto ambiental que una instalación de generadores eólicos puede producir, se puede considerar a la utilización de generadores eólicos como de impacto localizado (es decir, con fácil implementación y control de las correspondientes normas de mitigación y contención); pero, sin duda, todo diseño de parque eólico debe estar basado en un profundo estudio de impacto ambiental, sujeto a la aprobación de las autoridades competentes y de las normas establecidas para este tipo de instalación.



Una bandada de pájaros cruzando una línea de generadores eólicos. Wind Power Photos

Lamentablemente, en nuestro país la legislación al respecto no es específica, quedando a criterio de los emprendedores tomar referencias de países más avanzados en la materia.

"En síntesis, los impactos ambientales de las granjas eólicas se pueden minimizar, eligiendo un buen lugar para su emplazamiento, desarrollando un buen diseño de la turbina, eligiendo colores adecuados al paisaje circundante y educando a las comunidades locales sobre los beneficios de la utilización de energías renovables."³⁴

Parques eólicos

Así como consideramos los principales aspectos que, debidamente estudiados, permiten mitigar el impacto ambiental que significa la instalación de un aerogenerador o conjunto de éstos formando un parque eólico, cabe mencionar que dichos parques son más rápidamente aceptados de lo que se piensa por las poblaciones cercanas, como algo novedoso de destacar tanto a favor del paisaje como de otros aspectos que hacen al mejoramiento de la calidad de vida de la zona.

La obtención de energía limpia y no contaminante presenta, sin duda, considerables beneficios para la calidad del aire, que redundan en menores gastos en salud pública y asistencia sanitaria (gastos que no suelen ser cuantificados a favor de este tipo de proyectos energéticos).

Otros aspectos que juegan a favor son: valor agregado a la tierra, generación de empleo en zonas rurales y mejoras en infraestructura de zonas deprimidas en las que la red de transporte de energía y la red de carreteras son deficientes.

Los aerogeneradores que se encuentran disponibles en el mercado actual son muy distintos de aquellos primeros que comenzaron a instalarse en los parques pioneros. Estos productos -llamados de tercera generación-, presentan aspectos de diseño más acordes con el concepto de desarrollo sostenible.

Esto contribuye de manera directa en la eficiencia y en la rentabilidad de los generadores eólicos. Las primeras máquinas tenían una potencia de 350 kW. Una generación intermedia, todavía disponible en el mercado, llegó a los 660 kW, para desembocar en los actuales productos con potencias nominales entre los 1.3 MW a 1.5 MW.

Otro aspecto importante mejorado es la baja en las velocidades de rotación de las palas (entre 11 rpm a 19 rpm). Se complementa todo esto con nuevos diseños de las instalaciones anexas y de servicios (las torres de sujeción pasaron de ser estructuras de celosía a ser estructuras tubulares y la incorporación de los centros de transformación de cada aerogenerador en el interior de la torre ayuda también a la integración del producto, por ejemplo). Las palas del rotor con la punta en color rojo han desaparecido completamente del mercado desde entonces, después de que se descubriera que, en cualquier caso, las aves no vuelan a través de los rotores.

³⁴ Eco2site. "Nuevo Informe de la IEA". www.eco2site.com/informes/eol.asp

La generación de aerogeneradores de 55 kW que fueron desarrollados en 1980/81 supuso la ruptura industrial y tecnológica para los modernos aerogeneradores. El costo del kWh de electricidad cayó alrededor de un 50 % con la aparición de esta nueva generación de productos.

Cada aerogenerador disminuye la velocidad del viento tras de sí, una vez obtenida su energía para convertirla en electricidad. Por lo tanto, la distribución de los aerogeneradores tiene sus normas. Lo ideal es poder separar las turbinas lo máximo posible en la dirección de viento dominante; pero, esto significa disponer de una mayor superficie de terreno para la instalación, lo que se traduce directamente en una mayor inversión. En contrapartida, para la conexión entre los aerogeneradores y la red eléctrica, cuanto más cerca estén unos generadores eólicos de otros, mejor.

Como norma general, entonces, para disponer una serie de generadores eólicos sobre la superficie del terreno elegido se toman valores en relación con el diámetro de las palas del producto. La separación entre aerogeneradores en un parque eólico puede administrarse dentro de los 5 a 9 diámetros de rotor en la dirección de los vientos dominantes, y de 3 a 5 diámetros de rotor en la dirección perpendicular a los vientos dominantes.

Consideremos, ahora, los *parques off shore*.

La superficie del mar, en principio, puede considerarse como muy lisa. Aunque el viento que sopla por sobre este tipo de superficie pierde parte de su energía generando olas, éstas van desapareciendo. Esta situación per-

mite que, en promedio, la rugosidad de una superficie de agua sea bastante menor que ciertos valores posibles de obtener en tierra firme.

Agreguemos a esta condición que los obstáculos que puede presentar una superficie marina al viento son escasos (una isla, por ejemplo).

Si contamos, entonces, con una baja rugosidad, el cizallamiento del viento en el mar es también bajo, lo que implica que la velocidad del viento no experimentará grandes cambios al variar la altura del eje de giro del rotor del aerogenerador. Esto permite el emplazamiento con una torre más baja (para un generador eólico en tierra, la relación es de 1 o más veces el diámetro del rotor; mientras que, para este caso, puede considerarse 0.75).

El viento en el mar también es, generalmente, menos turbulento que en tierra. La radiación solar puede penetrar varios metros bajo el mar mientras que en tierra la radiación solar sólo calienta la capa superior del suelo. Consecuentemente, las diferencias de temperatura entre la superficie y el aire son menores sobre el mar que sobre la tierra. A menor turbulencia se puede esperar un tiempo de vida útil mayor que para otro generador eólico situado en tierra.

Un parque eólico marino puede instalarse entre los 15 a 40 km de la costa (distancia que se corresponde con profundidades del agua entre 5 a 15 metros); en él, los equipos están conectados por un cableado subterráneo a la red eléctrica principal. Este tipo de conexión a red, aunque no constituye un problema en sí mismo (el cableado submari-

no se entierre para evitar accidentes por posibles enganches de equipos de pesca, por ejemplo), debe ser optimizado tanto para alcanzar emplazamientos más remotos aún como para mejorar las relaciones de costo-beneficio del parque en su totalidad.

Los tamaños de estos parques varían entre 120 a 150 MW (por ejemplo, utilizando generadores eólicos de 1.5 MW). En el centro de cada parque suele existir una plataforma con una estación transformadora y diversas instalaciones de servicio. Dado que las condiciones climáticas pueden impedir que el personal de mantenimiento llegue convenientemente hasta los aerogeneradores, estos parques cuentan con una vigilancia remota (utilizando enlaces de radio y sensores) que hace del mantenimiento preventivo su principal modo de lograr el mejor y continuo funcionamiento.

Nuevos estudios permiten establecer que el recurso eólico para el aprovechamiento desde una instalación marina puede ser del 5 al 10 % superior a las estimaciones iniciales

que se preveían para este tipo de parques.

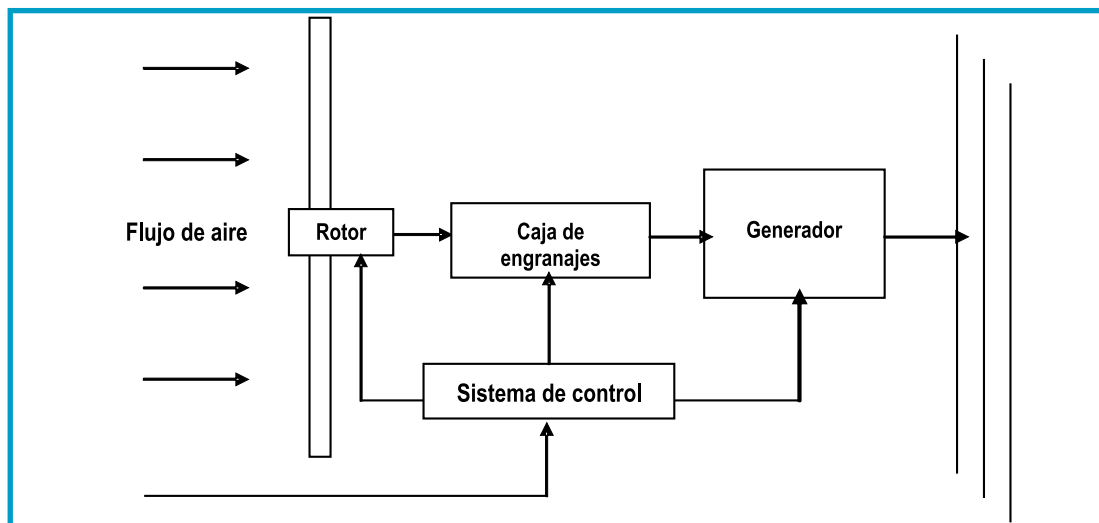
Generador eólico

Componentes básicos

Esquemáticamente, un generador eólico se compone de tres grandes subconjuntos:

- el **rotor**, que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, mediante el movimiento rotatorio de un eje,
- los mecanismos de transmisión o **caja multiplicadora** que se acoplan al eje y toman la potencia mecánica de rotación, y
- el **generador eléctrico** que la recibe.

A estos tres subconjuntos podemos agregar los componentes que hacen a los **sistemas de control** de las diversas variables que intervienen durante su funcionamiento.



Ya consideramos que es común clasificar a los generadores eólicos según la posición de su eje de rotación y la relación de éste con la dirección del viento. Tenemos, entonces, dos tipos: los de eje vertical (perpendicular a la dirección del viento) y los de eje horizontal (paralelo a la dirección del viento).

Generador eólico de eje vertical.

Presumiblemente, fueron los primeros generadores eólicos desarrollados, por ser muy sencillos en su funcionamiento; pero, no han alcanzado un gran desarrollo industrial. Su principal desventaja, al compararlos con un generador eólico de eje horizontal, es la falta de un sistema de orientación que optimice la recepción del flujo de aire -aún cuando este rasgo encierra una ventaja constructiva-.

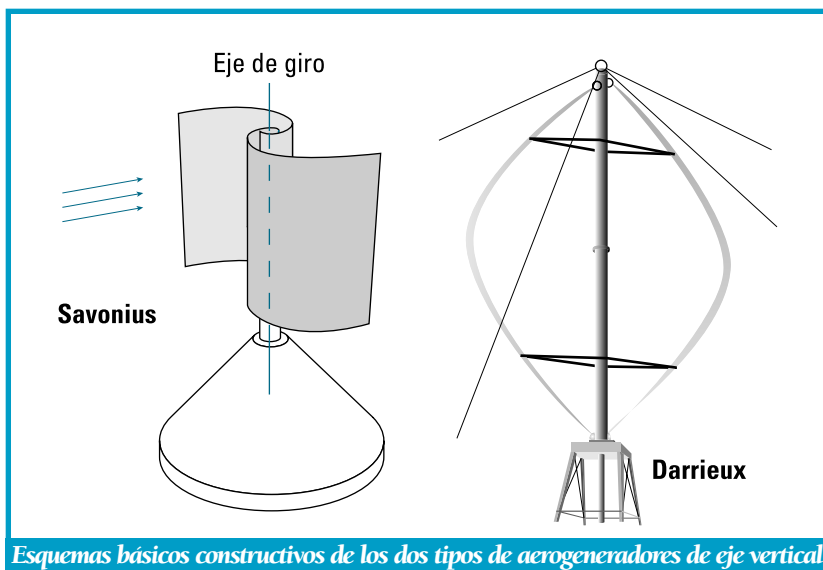
El funcionamiento de las aspas, ejes y rodamientos no se ve sometido a grandes esfuerzos, pero no logra un gran rendimiento energético.

Existen dos tipos característicos de generadores eólicos de eje vertical: el modelo Savonius y el modelo Darrieux.

El **aerogenerador Savonius** data del año 1924 y lleva el nombre de su inventor, de origen finlandés. Está compuesto por dos semicilindros de igual diámetro ubicados en forma

paralela al eje de giro y separados a una cierta distancia. Utiliza, básicamente, el arrastre diferencial creado por las partes cóncava y convexa de las aspas, lo que hace que el conjunto gire alrededor de un eje. Aunque logra un par de arrastre elevado, la velocidad máxima a la que puede girar es claramente inferior a la de los rotores de eje horizontal.

El **aerogenerador Darrieux** aprovecha la sustentación de las palas y se caracteriza por el débil par de arranque (es decir, con poco viento ya funciona) y por una mayor velocidad de rotación que le permite lograr cierta potencia.



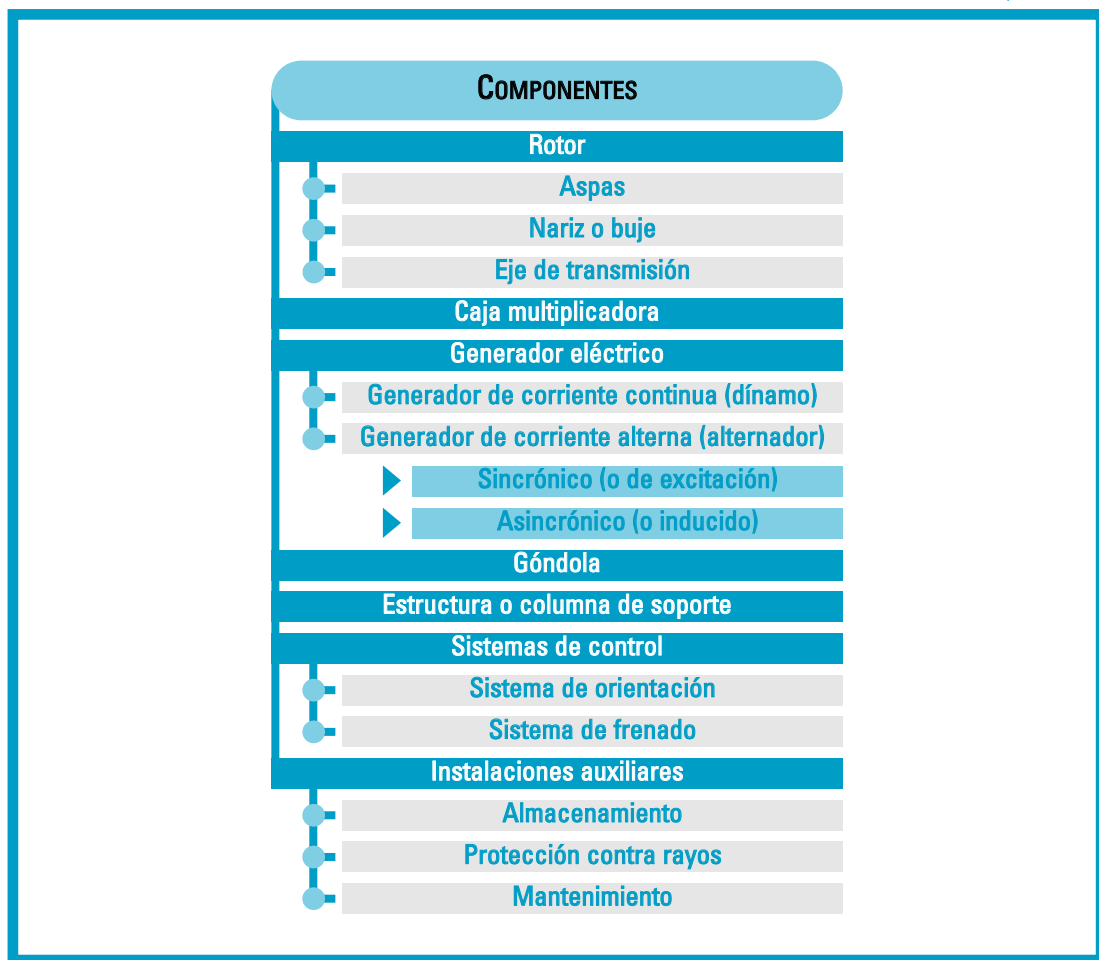
En Holanda se han desarrollado algunos modelos Darrieux de poca potencia con el objetivo de maximizar la utilización del suelo en relación con las dificultades para encontrar lugares adecuados para la instalación de las grandes turbinas eólicas de eje horizontal.

Generador eólico de eje horizontal. Son las máquinas más difundidas y de mayor rendimiento energético. El modelo generali-

zado en las instalaciones de parques eólicos es el de tres aspas o tripala, con potencias nominales de generación de energía de alrededor de los 750 kW hasta los 1,5 MW (ya se encuentran instalados modelos de 3 MW y, en proceso de fabricación, modelos de hasta 4,5 MW³⁵). Se fabrican, también, modelos de una y dos aspas que alcanzan potencias aún mayores.

Como ejemplo base para nuestro análisis vamos a tomar un modelo intermedio de generador eólico por demás probado y generalizado en la mayoría de las instalaciones actuales. Nos referimos a un generador de eje horizontal, con un diámetro de rotor de 40 a 50 metros y una potencia nominal de entre los 600 a 750 kW.

Veamos el detalle de sus componentes:



³⁵ Le recomendamos analizar productos en el sitio web de la empresa Vestas: www.vestas.com

Rotor. Este subconjunto es el encargado de transformar la energía del viento en energía mecánica, sobre su eje de giro.

Está compuesto por las siguientes piezas principales: las aspas, la nariz o buje -donde se montan las aspas- y el eje de transmisión que se acopla a la caja o tren de engranajes.

El número de aspas se está generalizando en tres (aerogeneradores tripala); pero, a medida que aumenta el diámetro del subconjunto rotor se prefieren los aerogeneradores de dos aspas o bipalas.

El rotor puede ser de eje horizontal o vertical; éste recupera, como máximo teórico, el 60 % de la energía cinética del flujo de viento que lo acciona.

Caja multiplicadora. La energía mecánica obtenida en el eje de giro del rotor es transmitida al generador eléctrico y, para ello, se utilizan sistemas de acoplamiento mediante cajas multiplicadoras.

Un rotor de pequeño diámetro puede alcanzar velocidades de rotación de 800 o 900 rpm. A medida que aumentamos el diámetro del rotor, estas rpm disminuyen drásticamente; por ejemplo, un rotor de 5 metros de diámetro y dos aspas puede estar girando en las 200 rpm, mientras que uno de tres aspas y 50 metros de diámetro lo hace en un poco más de 30 rpm.

Tanto las dinamos como los alternadores que cumplen la función de generador eléctrico necesitan un elevado número de revoluciones para funcionar eficazmente. Entonces, para poder accionar directamente sobre

éstos, es imprescindible contar con una caja multiplicadora. Esta caja nos permite multiplicar las revoluciones que toma directamente del eje del rotor, para alimentar con una mayor cantidad de vueltas el generador eléctrico al que está conectado.

Existen diferentes tipos de cajas multiplicadoras:

- para aerogeneradores de baja potencia, el uso de poleas dentadas o, incluso, trapecoidales puede ser una solución adecuada;
- para modelos de mayor potencia, las cajas están constituidas por diversos sistemas de engranajes.

Las modulares y las integradas son las que más se utilizan en la industria eólica. Con las cajas de engranajes integradas se han logrado reducciones de peso de hasta un 30 %, con respecto al mismo uso de una caja modular.

Generador eléctrico. Es el encargado de transformar la energía mecánica recibida desde la caja de engranajes en energía eléctrica, y suministrarla a la red u otra fuente de consumo o de almacenamiento de electricidad.

Existen dos clases de generadores eléctricos: el generador de corriente continua (dínamo) y el generador de corriente alterna (alternador).

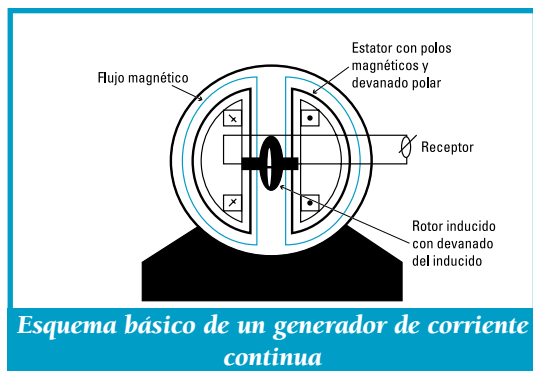
En **generadores de corriente continua**, la dinamo es una máquina eléctrica sencilla que se viene utilizando desde hace mucho tiem-

po y que no presenta demasiadas complicaciones ni constructivas ni de funcionamiento. Su mayor inconveniente es el uso de escobillas en el colector, lo que exige un mantenimiento periódico. Además, es más pesada y cara que un generador de corriente alterna; pero, la carga de una batería desde un generador de este tipo resulta más sencilla.

Esta máquina eléctrica tiene:

- una parte estática o estator, en la cual están ubicados los electroimanes que generan el campo magnético (bobinado de inducción);
- una parte móvil que gira o rotor, que es la inducida por la fuerza electromotriz que se genera en el estator; esta produce, a su vez, una corriente alterna (bobinado de inducido).

La corriente eléctrica alterna inducida en el rotor se extrae mediante el colector; éste está compuesto por dos medios cilindros que cambian el sentido de la tensión tan pronto como la espira del rotor pasa por la posición horizontal. Entonces, a través de la escobillas y en las borneras, se obtiene una señal pulsante siempre positiva (rectificada).



El campo magnético creado por los polos del estator se logra mediante una corriente continua denominada corriente de excitación; esta corriente de excitación se puede obtener de:

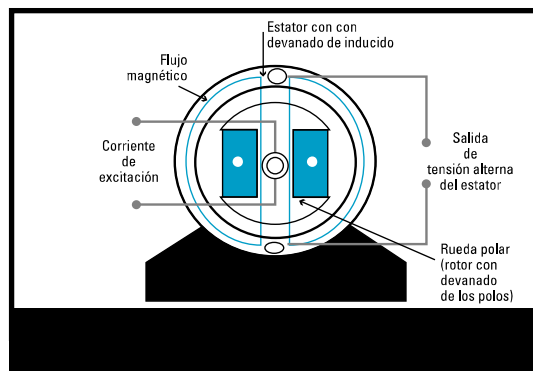
- una fuente externa (una batería, por ejemplo); este tipo de generadores se denomina de excitación independiente;
- la corriente continua generada en el rotor; en este caso, hablamos de generadores autoexcitados.

Si se considera que ese flujo producido por la bobina de excitación es constante, la corriente es proporcional a la velocidad de rotación.

Generador de corriente alterna. Para una misma potencia a obtener con una dinamo, este tipo de generadores eléctricos resulta más ligero y económico; pero, necesita girar a una velocidad más elevada y de manera más estable que la dinamo.

Su mantenimiento es nulo, debido a la total ausencia de piezas en rozamiento. En lo que respecta a cargar una batería, necesita de un rectificador.

Excepto para generadores eólicos de baja potencia, el uso de la dinamo ha desaparecido.



Los generadores de corriente alterna, a su vez, se clasifican en dos tipos: los sincrónicos (o de excitación) y los asincrónicos (o inducidos).

El generador sincrónico es el alternador clásico que ha sustituido a la dínamo de los comienzos. Este tipo de alternador recibe la corriente de excitación en forma de corriente continua desde una fuente exterior o desde otro alternador auxiliar con rectificador incorporado.

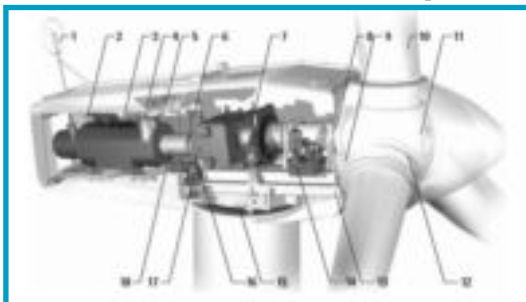
La principal diferencia entre estos dos tipos de generadores de corriente alterna es que los generadores asincrónicos necesitan estar conectados a una caja multiplicadora, mientras que los generadores sincrónicos pueden estar conectados directamente al eje de rotación del rotor.

"Sin embargo al aumentar la potencia de los aerogeneradores aparecen factores que pueden hacer variar la perspectiva del problema. Más potencia significa caja multiplicadora más grande, sujeta a mayores esfuerzos, con mayor posibilidad de averías. Por otra parte, el coste de la electrónica sufre un descenso cada año, con lo que la ventaja de los asíncronos se irá reduciendo cada vez más. Por todo ello, se están investigando otros tipos de generadores que ofrezcan más simplicidad, menores dimensiones y conseguir un coste similar a los asíncronos, con una baja velocidad de giro."³⁶

Hoy, el mercado de los grandes generadores

eólicos es dominado por los generadores asincrónicos en una proporción de 80 % con respecto al uso de los generadores sincrónicos.

Góndola. Son el chasis y la carcasa que permiten el montaje de los tres principales componentes -los que hemos descrito hasta aquí- y de la mayoría de sus accesorios, protegiendo al conjunto de los factores climáticos y disminuyendo, además -por funcionar como aislantes acústicos-, el ruido total del aparato.



Gráfica interior de la góndola de un aerogenerador Vestas modelo V52-850 donde se visualizan claramente los principales componentes y los sistemas accesorios de funcionamiento. www.vestas.com

1. Sensor ultrasónico
2. Grúa de mantenimiento
3. Generador Optispeed
4. Refrigerador del generador
5. Sistema de refrigeración
6. Controlador VMP-top con convertidor
7. Caja multiplicadora
8. Eje principal
9. Sistema de bloqueo de motor
10. Pala
11. Buje
12. Soporte de pala
13. Chasis
14. Grupo hidráulico
15. Corona de orientación
16. Freno de parada prolongada
17. Engranaje de orientación
18. Acoplamiento

³⁶Asociación de productores de energías renovables -APPA- (2003) "Generadores eléctricos en las turbinas eólicas 'geared or gearless'". Madrid. www.appa.es/10info/appa_info/APPAInfo11.zip

Estructura o columna de soporte. Es la encargada de proporcionar la altura adecuada para el mejor funcionamiento del aerogenerador, situándolo por encima de las posibles perturbaciones que el terreno posea.

Predominan dos tipos de soporte:

- las estructuras metálicas o celosías y
- las columnas o tubulares.

Las primeras son indicadas para instalaciones en zonas secas y de poca contaminación atmosférica; son más baratas que las tubulares, y de más fácil transporte e instalación.



Granja eólica situada en las montañas de San Bernadino (Palm Spring, California, EEUU); posee más de 4.000 aerogeneradores instalados montados sobre torres de estructura metálica o celosías. www.freefoto.com

Las de columna o tubulares están más difundidas; se recomienda implementarlas en áreas costeras, de alta humedad y de concentración salina. Son de tipo tubular autoportante en acero y presentan un menor impacto visual que las estructuras metálicas, soportando mejor los esfuerzos a los que están sometidas. Esta optimización estructural es la que les confiere su forma troncocónica característica: la reducción gradual del diámetro

base, hasta su diámetro superior menor o coronación en la góndola.

La altura a la que se posiciona el rotor es condicionante para la cantidad de energía posible de obtener (recordemos, por ejemplo, todos los efectos que el terreno produce y, también, el efecto de la capa límite atmosférica). Pero, a mayor altura de la torre, comienzan los problemas de diseño, producción y costo.

La relación dimensional básica a tener en cuenta entre la altura de la torre y el diámetro de un rotor es:

$$H = \frac{3}{4} D + 10$$

Donde:

- H es la altura total de la torre que necesitamos.
- D es el diámetro (en metros) del rotor a instalar.

En la práctica, 1 a 1,5 veces el diámetro del rotor.

Sistemas de control. Un generador eólico es tan bueno como sus sistemas de control se lo permitan. Éstos son los encargados de analizar y de evaluar, continuamente, las condiciones de operación del generador eólico: dirección y velocidad del viento, turbulencias, ráfagas, temperatura ambiente y de funcionamiento de componentes, parámetros de presión en los sistemas hidráulicos, voltaje y corriente de salida del generador, etc.

Es decir, los sistemas de control procesan

toda aquella información que hace posible la operación de los distintos subconjuntos y sistemas que posee el generador eólico (accionando el sistema de orientación, el sistema de arranque y frenado, el que permite mantener estable el par motor...).

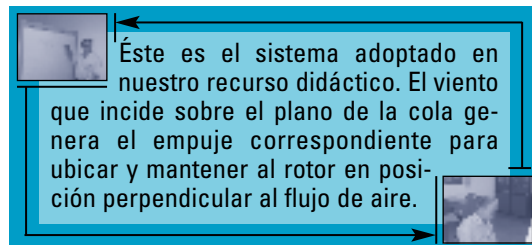
Veamos algunos de estos sistemas de control:

- Sistema de orientación.
- Sistema de frenado.

El **sistema de orientación** mantiene el rotor de cara al viento, optimizando el funcionamiento y minimizando los esfuerzos a los que estaría sometido el rotor de no poder posicionarse siempre de frente al flujo de aire recibido.

"En el pasado, la orientación de los molinos se realizaba manualmente y con bastantes dificultades, siendo casi el condicionante más crítico, que limitaba el tamaño y la potencia de las máquinas eólicas. Durante siglos se utilizaron procedimientos más o menos ingeniosos para facilitar la tarea del molinero. Desde la simple palanca unida al cuerpo giratorio del molino pasando por poleas y manubrios, se intentó todo tipo de artilugios con el fin de resolver este problema que, sin duda, fue uno de los que más condicionó el desarrollo de molinos de mayor tamaño."³⁷

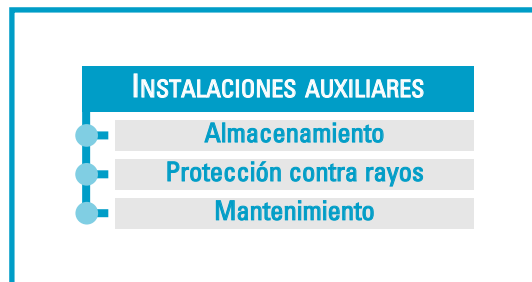
Las pequeñas turbinas suelen tener un sistema de orientación muy sencillo y que ha dado muy buenos resultados. Consiste, básicamente, en una cola aerodinámica que actúa como una veleta.



Cuando esta cola aerodinámica se ubica en el eje del aerogenerador, es conveniente tener en cuenta la zona de turbulencias que se genera detrás del rotor, evitando que quede incluida en ella (Algunos estudios indican que esta distancia puede estar entre las 6 a 10 veces el diámetro del rotor).

En los aerogeneradores de gran potencia, la orientación del rotor se resuelve, básicamente, utilizando motores auxiliares que funcionan automáticamente mediante servomotores que, una vez procesada la información de las condiciones del ambiente, se encargan de orientar la hélice en la dirección adecuada.

El **sistema de frenado** es el destinado a sacar de funcionamiento el aerogenerador en casos extremos como tempestades o altas velocidades de viento.



Almacenamiento. Recordemos que una de las principales características negativas del recurso eólico es su discontinuidad. Y, más allá de la capacidad del aerogenerador, del

³⁷ Cádiz Deleito, Juan Carlos (1984) *La energía eólica. Tecnología e historia*. Hermann Blume. Madrid.

régimen de vientos de la zona y del tipo de conexión a la red, el almacenamiento de la energía obtenida es la única solución que nos permite controlar las fluctuaciones entre la demanda de energía eléctrica y el suministro producido.

Este aspecto de la energía eólica es uno de los más críticos e incide fuertemente tanto para avanzar en mejores desarrollos como en el resultado final de costos del sistema completo (un sistema de almacenaje de energía eléctrica puede representar alrededor del 20 % de la inversión final).

"Los sistemas de almacenamiento pueden ser de corta duración (15 segundos), para amortiguar fluctuaciones en la potencia de salida; de media duración (30 minutos), que permiten la puesta en funcionamiento de otros generadores convencionales que cubran el suministro en caso de ausencia transitoria de viento; y, de larga duración, para cubrir la demanda energética durante periodos de ausencia prolongada de viento."³⁸

Básicamente, se trata de disponer en instalaciones complementarias tanto de:

- medios para el almacenaje de la energía (un sistema de baterías cargadas en momentos de toma de excedentes de producción o mediante otro sistema alternativo de generación eléctrica) y
- medios de generación de respaldo (grupos electrógenos alimentados por algún derivado del petróleo).

Protección contra rayos. Situado en puntos altos y/o sobresaliendo de los obstáculos del terreno, no es muy difícil imaginar a un generador eólico como el punto preferido para que se realice una descarga eléctrica en plena tormenta

Aunque, por el propio diseño, el aerogenerador está protegido contra este tipo de descargas, la instalación a la que está conectado puede ser destruida por una sobretensión que se propague por el cable eléctrico de alimentación. Una solución suele ser agregar disyuntores de gas conectados a la toma a tierra por una línea lo más directa posible.

Al estar sus componentes encerrados en una estructura metálica conectada a tierra, funcionan como en una caja Faraday.

Mantenimiento. Como consideraciones finales a este tipo de generador eólico, podemos mencionar que, tanto los subconjuntos como el producto completo instalado, deben contar con una planificación adecuada de mantenimiento.

Por ejemplo:

- el acceso a la torre debe ser fácil y seguro,
- las cajas multiplicadoras deben ser blindadas a fin de estar protegidas del medio ambiente y de minimizar las operaciones de lubricación,
- la corrosión debe ser controlada, etc.

³⁸ Cádiz Deleito, Juan Carlos (1984) *La energía eólica. Tecnología e historia*. Hermann Blume. Madrid



Mantenimiento anual del generador eólico IVS 4500, instalado en medio de la estepa neuquina -en este caso, aprovechando la torre abatible-. www.invap.net

Principios de funcionamiento

Básicamente, un generador eólico es una máquina que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica. Esta energía puede alimentar una red eléctrica general, previamente transformada a la tensión adecuada, o puede almacenarse en baterías.

Ya consideramos un esquema básico de los componentes de un generador eólico. Estos componentes están contenidos en tres sistemas de conversión de energía.

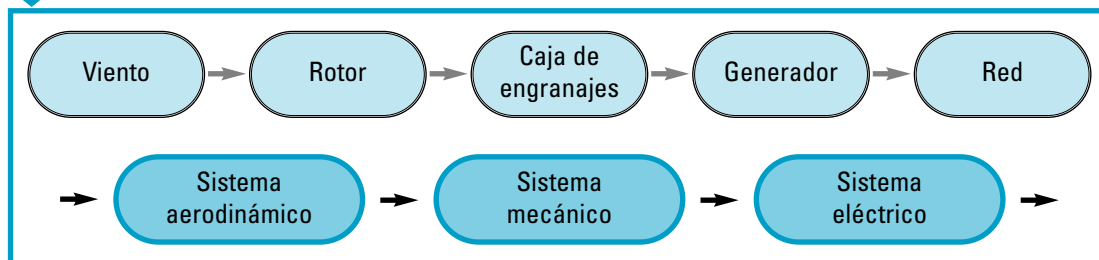
Veamos el funcionamiento de cada uno de ellos:

El **sistema aerodinámico** es el que comienza el proceso de transformación de la energía. Este sistema de conversión, constituido por el rotor, a través de su diseño aerodinámico, es el encargado de recibir la energía cinética del movimiento horizontal del viento que incide en forma perpendicular a su superficie de barrido y de convertirla en energía mecánica de rotación sobre su eje de giro.

La energía mecánica de rotación así obtenida es aprovechada por el segundo sistema de conversión que compone un aerogenerador. El **sistema mecánico**, generalmente constituido por una caja multiplicadora de engranajes, está incorporado al eje de giro del rotor. Su finalidad es la de aumentar el número de revoluciones que el eje del rotor suministra y que, como ya hemos mencionado, para grandes máquinas eólicas puede estar en un promedio cercano a las 30 rpm. La caja multiplicadora eleva, entonces, al orden de 1000 a 1500 rpm, la energía mecánica de rotación con la que se comunica el tercer sistema conversor.

El generador eléctrico es el principal componente del **sistema eléctrico**. Éste transforma la energía mecánica de rotación recibida a la salida de la caja multiplicadora en, ahora sí, energía eléctrica.

Veamos cómo podemos calcular la potencia



eléctrica posible de obtener al poner en funcionamiento una máquina eólica.

La potencia del viento con que un generador eólico comienza su trabajo de conversión hacia la energía eléctrica que necesitamos puede establecerse a partir de la energía cinética de la masa de aire que pasa perpendicularmente a través del área circular determinada por el giro del rotor, mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Donde:

- **P** es la potencia del viento por unidad de superficie, medida en W.
- **ρ** es la densidad del aire, medida en kg/m³.
- **A** es el área circular barrida por el rotor en m².
- **v** es la velocidad del viento en m/s.

Densidad del aire a presión atmosférica estándar		
Temperatura ° C	Densidad (masa de aire seco) kg / m ³	Contenido de agua (máximo) kg / m ³
-25	1,423	- -
-20	1,395	- -
-15	1,368	- -
-10	1,342	- -
-5	1,317	- -
0	1,292	0,005
5	1,269	0,007
10	1,247	0,009
15	1,225 ³⁹	0,013
20	1,204	0,017
25	1,184	0,023
30	1,165	0,030
35	1,146	0,039
40	1,127	0,051

³⁹ La densidad del aire seco a presión atmosférica a nivel del mar a 15 °C se utiliza como estándar en la industria eólica.

Recordemos que la potencia cinética del viento es proporcional al cubo de su velocidad. Si, para 4 m/s de velocidad del viento, es posible de obtener una potencia de casi 40 W/m², vemos en la tabla que, para el doble de velocidad, 8 m/s, la potencia a obtener es 8 veces mayor -es decir, cercana a los 320 W/m²-.



Pero, también ocurre que no se puede extraer toda la energía cinética que éste posee, ya que implicaría detener el flujo de aire.

Existe un límite teórico dado al considerar la teoría del momento axial. La *Ecuación de Bernoulli* y la *Primera ley de la termodinámica* establecen la relación entre la potencia transferida P del viento a un rotor de sección A. Este límite teórico se denomina coeficiente de potencia (CP) y su valor es siempre menor a 0,593.

Es decir:

Ninguna máquina eólica puede aprovechar más del 60 % de la energía potencial del viento recibida o captada, y utilizarla en la generación de energía eléctrica.

Así, cada sistema conversor tiene su eficiencia (en valores óptimos, podemos estimarla en alrededor del 80 % para el sistema mecánico y en el 95 % o más para el sistema eléctrico); pero, la eficiencia de transformación de energía, considerando todo el conjunto que hace al generador eólico, está comprendida entre un 40 % y un 45 % (dependiendo, claro está, de las demás variables que hemos considerado y que permiten maximizar el aprovechamiento del recurso eólico; como por ejemplo, el lugar elegido para el emplazamiento).

Finalmente, para estimar la producción de energía de un generador eólico hay que considerar los kWh producidos anualmente por sobre los kW de potencia instalada.

$$GE = \frac{\text{kWh producidos anualmente}}{\text{kW instalado}}$$

En la práctica, se considera que, con valores superiores a los 1.500 kWh/kW, se puede considerar su factibilidad económica.

Volvamos, ahora, a los componentes que forman cada sistema de conversión de energía y analicemos su funcionamiento.

Sistema aerodinámico. El rotor comienza a girar a partir de una velocidad mínima del viento -**velocidad de arranque** (en promedio, unos 4 m/s)-; aunque, esto no implica que esté en condiciones de generar electricidad.

Si la velocidad del viento aumenta (entre 6 a 8 m/s), entramos en **velocidad de régimen**; ésta es la que nos permite mantener girando al generador eléctrico en condiciones de suministrar toda su potencia nominal.

Y, si bien la potencia permanece constante para velocidades del viento superiores a las de régimen, el funcionamiento a altas velocidades puede provocar algunos daños en los componentes del generador eólico.

Por razones de seguridad, no es recomendable operar el aerogenerador a velocidades del viento superiores a 25 m/s para evitar, por ejemplo, que grandes cargas mecánicas actúen sobre la estructura. Esta velocidad máxima se denomina **velocidad de corte o de salida de operación**.

Para evitar este riesgo, la mayoría de los aerogeneradores dispone de mecanismos de seguridad de forma que, una vez alcanzada la velocidad que según el diseño se considere crítica, el rotor puede, por ejemplo, desorientarse y pararse, pasando a tener una potencia nula en ese momento; o bien, las mismas aspas pueden entrar en pérdida y disminuir, así, su velocidad de giro.

Tanto sea para lograr una mayor eficiencia del sistema de generación eléctrica como de protección y/o seguridad en el funcionamiento de la maquinaria eólica, existen sistemas de regulación y de control de la potencia generada.

Estos sistemas actúan, principalmente, sobre las aspas del rotor variando, por diversos métodos, el rendimiento aerodinámico del conjunto, sustentados en los principios aerodinámicos que ya consideramos.

El control y la regulación **por pérdida aerodinámica** se basan en el fenómeno de entrada en pérdida del rotor. Es decir, a medida

que el viento aumenta su velocidad, la potencia capturada es mayor hasta que, para una velocidad dada del viento, la potencia comienza a disminuir. La potencia es limitada, así, por el perfil aerodinámicamente diseñado del aspa para asegurar que, al momento en que la velocidad del viento sea demasiado alta, se forme una turbulencia en la parte del aspa que no da al viento, generando una pérdida de sustentación.

Aunque no requiere de mecanismos adicionales, el precio a pagar puede ser una disminución de la energía anual capturada, a fin de que los sobrepasos de potencia no sean muy elevados. Además, la turbina sufre una mayor carga aerodinámica debido a su operación en pérdida.

Alrededor de las dos terceras partes de los aerogeneradores que actualmente se están instalando en todo el mundo son máquinas de regulación por pérdida aerodinámica.

El control y la regulación **por torsión de las aspas** se basan en poder reducir el ángulo de ataque del aspa frente al viento, cuando éste supera los valores de velocidad nominal para el buen funcionamiento del generador eólico. Este método es sumamente efectivo; pero, necesita de dispositivos mecánicos para lograr el cambio en el ángulo del aspa.

En un aerogenerador de regulación por cambio del ángulo de ataque, el controlador electrónico del rotor comprueba la potencia generada, varias veces por segundo. Cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden al mecanismo de

cambio del ángulo de ataque e, inmediatamente, hace girar ligeramente las palas del rotor fuera del viento y viceversa.

Este diseño de aerogeneradores controlados por cambio del ángulo de paso requiere de una ingeniería muy desarrollada, para asegurar que las palas giren exactamente el ángulo deseado.

El mecanismo de cambio del ángulo de ataque suele funcionar de forma hidráulica.

Este último sistema permite una extracción óptima en un amplio margen de velocidades de viento; posibilita, además, contar con un sistema de seguridad contra vientos altos. Con control por pérdida, en cambio, son necesarios dispositivos de frenado adicionales.

La tendencia a fabricar aerogeneradores de paso fijo controlados por pérdida aerodinámica generalizada en tamaños de 20 a 25 metros de diámetro, va desapareciendo a medida que aumenta el tamaño del rotor, si bien existen desarrollos de aerogeneradores de 1 MW de potencia nominal controlados por pérdida aerodinámica. Pero, por otro lado, los sistemas de control por cambio de paso llevan aparejadas complejas partes móviles, con el consiguiente riesgo de fallos y mayores necesidades de mantenimiento.

Una variante del sistema anterior es el control en punta de pala. Éstos son sistemas de regulación y control de potencia que modifican el ángulo de ataque solamente en la

punta de la pala. Reducen, así, la cantidad de mecanismos y la necesidad de mantenimiento. Los rotores siguen siendo de construcción sencilla y con pocas complicaciones estructurales en la zona de la raíz del aspa; el problema que presentan es la reducción de los espacios para el montaje del sistema mismo de control.

Sistema mecánico. La potencia que el rotor del generador eólico entra a través del giro de su eje debe ser transferida al generador eléctrico. Para esto, se utiliza un sistema mecánico de transmisión.

¿Por qué es necesario integrarlo y cuál es, realmente, su función? Si quisiéramos utilizar un generador eléctrico conectado directamente a una red de corriente alterna trifásica a 50 Hz con dos, cuatro o seis polos, deberíamos tener una velocidad de rotación del eje del rotor relativamente alta -por ejemplo, entre 1.000 y 2.000 rpm-.

Con un rotor de 40 metros de diámetro, esto daría como resultado una velocidad en el extremo del aspa de más de dos veces la velocidad del sonido.

La transmisión o caja de engranajes consiste en un mecanismo que permite aumentar las revoluciones -entre las 900 a 1.800 rpm, aproximadamente- para obtener corriente alterna trifásica de 60 ciclos por segundo.

Recordemos que hay dos tipos de caja de engranajes o caja multiplicadora que pueden utilizarse con los generadores

eólicos:

- el más sencillo es el multiplicador de engranajes, de uno o varios ejes, de ruedas dentadas cilíndricas; es económico, pero su construcción sigue siendo algo dificultosa al momento de conseguir relaciones de multiplicación elevadas;
- a diferencia de la caja anterior, el empleo de trenes planetarios permite obtener multiplicaciones elevadas en un espacio reducido; la repartición de pares y esfuerzos entre varios satélites, así como la disposición coaxial (perteneciente al eje) de los ejes de entrada y salida facilitan una construcción compacta y relativamente ligera.

Hasta valores de potencia nominal de, aproximadamente, 500 kW hay pocas diferencias entre el costo de una caja multiplicadora de ejes paralelos y una planetaria. Los planetarios son de menor tamaño pero son más difíciles de inspeccionar y de mantener. A partir de los 500 kW, por su peso y su tamaño menores, toman la ventaja los planetarios.

Sistema eléctrico. El viento hace girar las paletas del generador, las que, a su vez, están conectadas a un eje central. Dentro del generador hay una bobina, situada entre dos imanes que producen un campo magnético. Cuando gira la bobina, debido a la rotación del eje, varía el flujo del campo magnético a través de la bobina y se forma un potencial eléctrico. El potencial eléctrico da lugar a una corriente eléctrica, la que es transferida al resto del sistema a través de los cables.

Glosario de conceptos sobre energía eléctrica

Campos magnéticos. Un campo de fuerza que existe alrededor de un conductor que transporta un cuerpo magnético o una corriente.

Carga eléctrica. Una propiedad de algunas partículas elementales que dan lugar a interacción entre ellas y, consecuentemente, al conjunto de fenómenos relacionados con la electricidad. Una partícula elemental puede poseer una carga negativa (como el electrón), una carga positiva (como el protón o positrón) o puede no tener carga (como el neutrón).

Conductor. Un material que posee alta conductividad para la carga eléctrica. El oro y el cobre son buenos conductores de electricidad.

Corriente. Un flujo de carga eléctrica a través de un conductor. La unidad de la corriente es el ampere.

Corriente alterna. La electricidad que proviene de una batería es corriente continua (CC); es decir, los electrones circulan en una única dirección. Sin embargo, la mayoría de las redes eléctricas del mundo son de corriente alterna (CA). Una de las razones para el uso de la corriente alterna es que resulta bastante barato aumentar o disminuir su voltaje; y, cuando se desea transportar la corriente a largas distancias, se tiene una menor pérdida de energía si se utiliza la alta tensión. Otra de las razones por las que se utiliza corriente alterna es que resulta difícil y caro construir disyuntores (interruptores) para altos voltajes de CC que no produzcan chispas enormes.

Diferencia de potencial. La diferencia de potencial entre dos puntos en un campo eléctrico o circuito es la diferencia de los valores de los potenciales eléctricos entre los dos puntos; es decir, es el trabajo realizado para mover la unidad de carga de un punto a otro. La unidad del potencial eléctrico es V, volt.

Fase. Dado que la tensión en un sistema de corriente alterna oscila continuamente arriba y abajo, un generador no puede conectarse a

red de forma segura, a menos que la corriente del generador oscile exactamente con la misma frecuencia y vaya "al paso" con la red; es decir, cuando la duración de los ciclos de tensión del generador coincidan -insistimos, exactamente- con los de la red. Ir "al paso" con la red es estar en fase con ella. Si las corrientes no están en fase, habrá una gran sobretensión que provocará enormes chispas que, a la larga, causarán daños al circuito disyuntor (el interruptor) y/o al generador.

Ley de Ohm. Establece que la relación de la diferencia de potencial entre los extremos de un conductor y la corriente que lo atraviesa es constante. Esta constante es la resistencia del conductor: $V = I \cdot R$; aquí, V es igual a la diferencia de potencial, en volt; I es igual a la corriente que fluye, en ampere; R es igual a la resistencia del conductor, en ohm.

Potencial (potencial eléctrico). Energía requerida para llevar la unidad de carga eléctrica desde el infinito al punto en un campo eléctrico donde se especifica el potencial. La diferencia de potencial entre dos puntos es la diferencia en los valores de los potenciales eléctricos en estos dos puntos.

Resistencia. Relación de la diferencia de potencial a través de un componente eléctrico y la corriente que lo atraviesa. Es una medida de la oposición del componente a la circulación de la carga eléctrica. El símbolo de la resistencia es R.

Tensión. Para producir una circulación de corriente a través de un cable, es necesario tener una diferencia de tensión entre sus dos extremos; análogamente, si se quiere hacer que el aire se mueva a través de un conducto, se necesita tener una diferencia de presión entre los dos extremos del conducto. Si dispone de una gran diferencia de tensión, puede transportar grandes cantidades de energía por segundo a través del cable; es decir, puede transportar grandes cantidades de potencia (Recuerde que la potencia es igual a la energía por unidad de tiempo).

Sabemos que la energía es la capacidad de realizar un trabajo. En sistemas eléctricos, esto se refiere a una corriente eléctrica de electrones causada por una tensión o diferencia de potencial que circula durante un período de tiempo. En circuitos eléctricos, se usa la corriente eléctrica para activar diferentes cargas. Hay una relación directa entre la cantidad de corriente que fluye, la tensión provista y una de las propiedades de la carga (resistencia).

Esta relación se resume en la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

La ley de Ohm nos dice que la relación entre la tensión (V) y la corriente (I) en un sistema dado es constante, aún cuando la tensión y la corriente cambien. Es una propiedad del sistema.

La resistencia es la propiedad de cualquier objeto o sustancia de resistir u oponerse al flujo de una corriente eléctrica. Es designada con la letra R y medida en la unidad ohm (Ω).

Trabajo eléctrico

$$W = V \cdot I \cdot t$$

Donde:

- V es tensión.
- I es corriente.
- t es tiempo.

Ya mencionamos los dos tipos principales de generadores eléctricos que se utilizan en los aerogeneradores conectados a la red.

El **generador sincrónico** tiene como mayor ventaja la buena calidad de la potencia suministrada y el hecho de estar autoexcitado; sin embargo, en éste, los sistemas de control necesarios son más caros, requieren amortiguación y flexibilidad adicional; además, se demanda la instalación de un sistema de control de velocidad del rotor para la buena sincronización.

Mientras que la ventaja principal del **generador asincrónico** es la de poseer un sistema de control sencillo y flexible, y amortiguación inherente al generador. No es necesario un sistema de control de velocidad para arranques. Como inconveniente presenta la necesidad de excitación a través de la red, la necesidad de utilizar condensadores para corregir el factor de potencia eléctrico y el hecho de provocar perturbaciones en la red eléctrica.

3. HACIA UNA RESOLUCIÓN TÉCNICA

Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento de un sismógrafo

El producto

La construcción de nuestro **generador eólico** está basada en materiales y en elementos estándar. La realización de cada una de sus piezas es simple, aunque requiere de cierta precisión dimensional para lograr y mantener un funcionamiento ajustado y seguro.

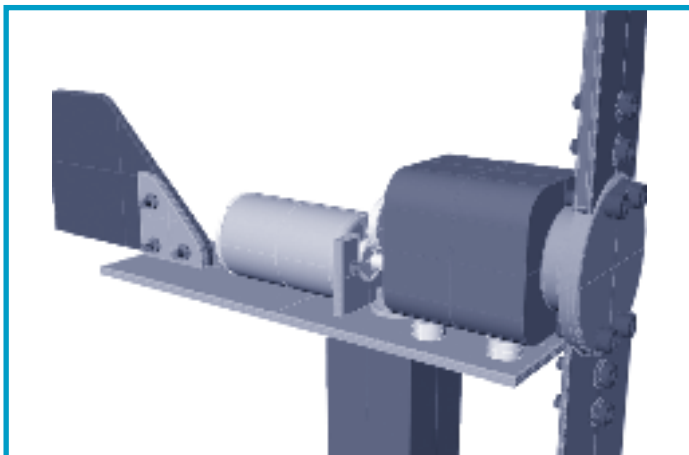
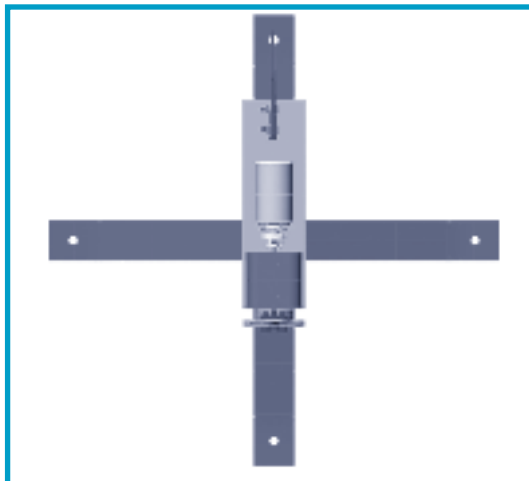
Piense que estaremos haciendo girar varias piezas a un régimen de rpm nada despreciable.

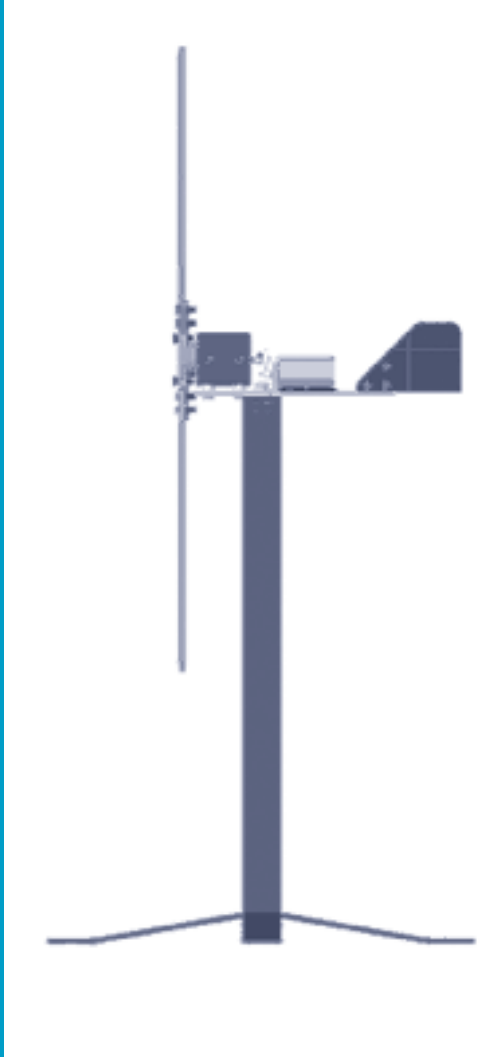
Para familiarizarnos con sus partes, hemos dividido al producto en varios subconjuntos funcionales y en subconjuntos de vinculaciones, que vamos a ir describiendo y graficando a continuación.

Este modo de organizar la tarea tiene por objetivo que sus alumnos comprendan qué significan estos subconjuntos -que ya consideramos en equipos reales- en una escala reducida y de baja serie de producción, para lograr distintas instancias de simulación de funcionamiento y de operación de un **generador eólico**.

Nos permitirá, también, organizar diversas prácticas constructivas con nuestro grupo de alumnos al presentar los sub-

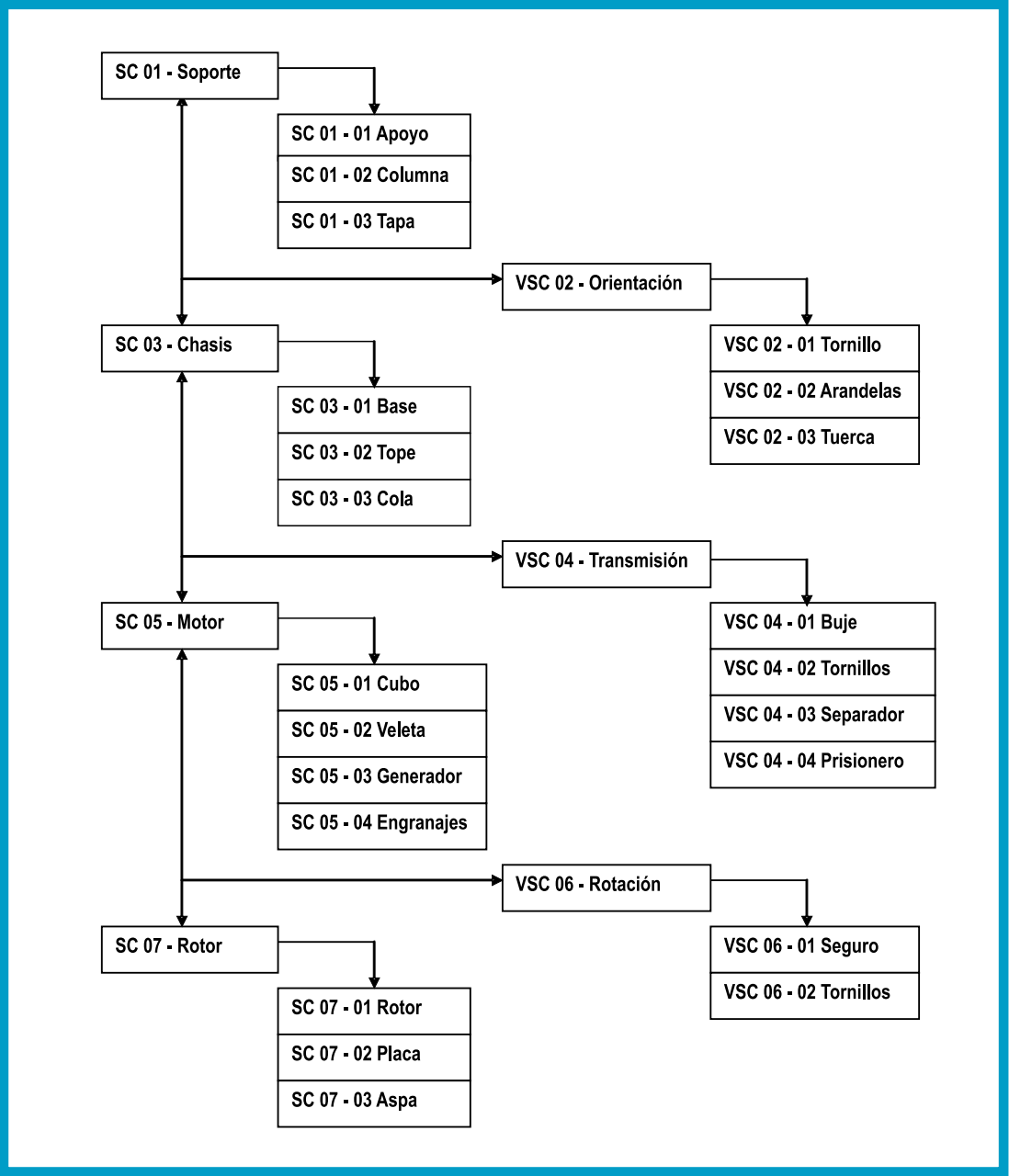
conjuntos que componen nuestra propuesta -relacionados tanto por material como por procesos productivos en común- junto con toda la documentación necesaria para comenzar con la producción pieza por pieza.





Los componentes

Comencemos con el planteo de una codificación de piezas, componentes y subconjuntos para ir avanzando, luego, en el detalle de cada uno.

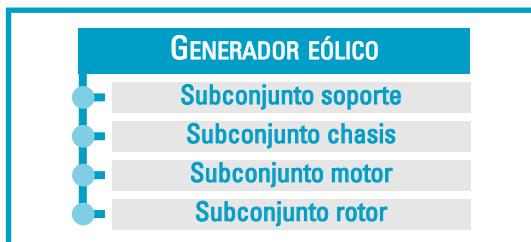


Esta organización nos muestra, por un lado, los subconjuntos de piezas y componentes (SC) y, por otro lado, las vinculaciones entre éstos (VSC). Para cada uno, desplegamos el detalle de elementos que lo componen.

- La primera columna nos enumera los cuatro subconjuntos en que hemos dividido el generador eólico.
- La segunda columna despliega el detalle de piezas de cada uno de estos cuatro subconjuntos.
- La tercera columna abarca los tres subconjuntos de vinculaciones.
- La cuarta columna puntualiza los elementos estándar que conforman los subconjuntos de vinculaciones.

Para definir los subconjuntos, aplicamos criterios que nos permiten clasificar e identificar, para su mejor análisis, componentes y/o piezas que guardan relaciones comunes entre sí. Por supuesto, puede usted tener en cuenta la clasificación que proponemos aquí o diseñar nuevas clasificaciones con sus alumnos, en función de reorganizar actividades para la construcción de las piezas según los recursos físicos con que cuente y los conocimientos de los estudiantes con los que va a llevar adelante esta experiencia.

Veamos, ahora, una descripción de los subconjuntos componentes de nuestra propuesta:

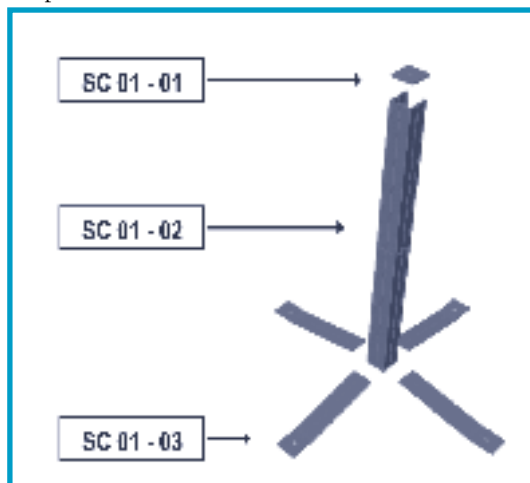


Subconjunto soporte (SC 01 - Soporte)

Es el encargado de permitir el montaje del resto de los componentes del prototipo y de fijarlo al suelo para un funcionamiento más seguro.

Está compuesto por tres piezas muy simples de producir, basadas en la utilización de materiales comunes (semielaborados) como son caño estructural y planchuela de acero.

Las dimensiones y características de estas piezas se encuentran detalladas en las fichas de producción N° 1 a 3.



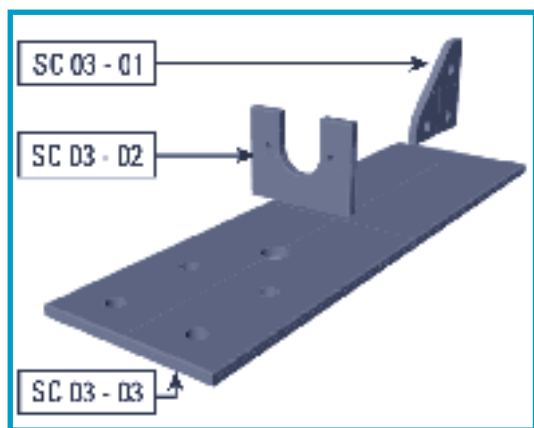
Subconjunto chasis (SC 03 - Chasis)

Similar al conjunto anterior en lo relacionado a materiales y a forma de producción, este subconjunto cumple la función de permitir el montaje de los componentes que intervienen directamente en el funcionamiento del **generador eólico**.

También incluye tres piezas simples basadas

en la utilización de materiales semielaborados; aunque, para su fabricación se requiere un control dimensional y una precisión mayor que en el subconjunto anterior, sobre todo en lo relacionado a las perforaciones, que nos permiten realizar el montaje posterior de los elementos de funcionamiento del equipo.

Las dimensiones y características de estas piezas se encuentran detalladas en las fichas de producción N° 4 a 6.



Subconjunto motor (SC 05 - Motor)

En este subconjunto encontramos, combinadas, piezas a fabricar y, también, componentes estándar de mercado para incorporar, todos en relación directa con el funcionamiento del generador como tal y montados sobre el subconjunto chasis.

Los componentes estándar son el corazón de nuestro producto:

- el motor eléctrico que funciona como generador y
- el par de engranajes que multiplica las

revoluciones que las aspas y el rotor desarrollan para aumentar las rpm del generador.

La elección del **motor** a emplear es de vital importancia en todo lo que a dimensiones respecta; porque, según el tipo de motor a utilizar y sus dimensiones, varía el montaje sobre el chasis. En nuestro ejemplo, seleccionamos un motor eléctrico de 12 volt de uso común en aeromodelismo y, basándonos en sus dimensiones, desarrollamos el resto de las piezas.

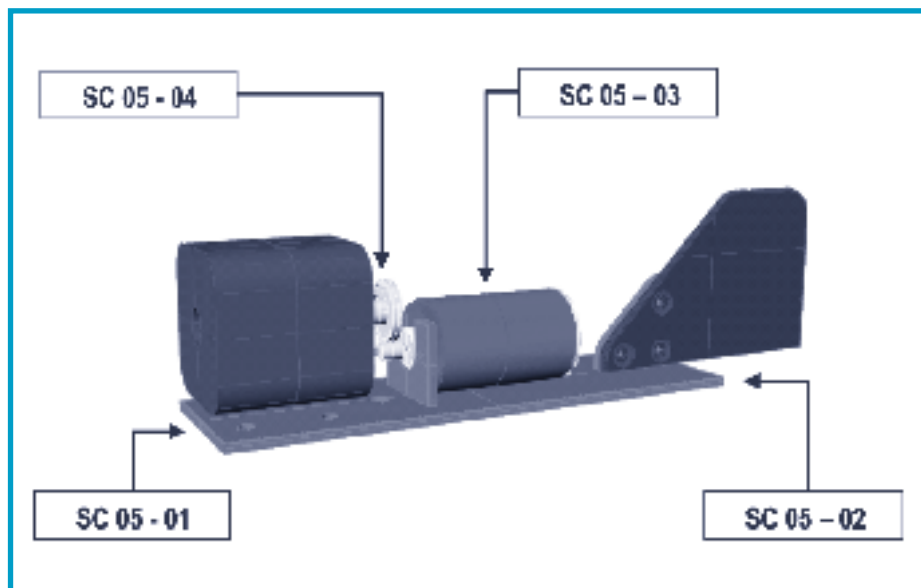
Para el par de **engranajes** (piñón y corona), utilizamos un juego estándar (corona en plástico -poliamida- con piñón metálico -bronce-. Los diámetros nominales utilizados son: 19 mm para la corona y 6 mm para el piñón.

Es necesario comprobar que el tipo de diente y el paso de cada rueda dentada engranen correctamente. La decisión al respecto es tomada en función de la escala en la que nos estamos manejando, de las distintas calidades de producción de este tipo de piezas que se pueden conseguir y de los diferentes materiales que es posible combinar.

Continuando con las piezas a producir para este subconjunto, nos encontramos ahora con el uso de maderas semiduras. Nuevamente, el ajuste dimensional de estas piezas cobra importancia por su interrelación, tanto para ser montadas en el subconjunto chasis como por la necesidad de un funcionamiento alineado entre ellas.

Dentro de la clasificación de maderas semiduras, podemos emplear desde un cedro o maza bien estacionados hasta maderas como virapitá, viraperé o los pinos más duros -el que utilizamos para la guía del eje del rotor en nuestro equipo es pino oregon-.

Las dimensiones y características de las piezas a producir para este subconjunto motor se encuentran detalladas en las fichas de producción N° 7 y 8.



Subconjunto rotor (SC 07 - Rotor)

Aquí nos encontramos con las piezas más comprometidas, en cuanto al diseño del producto se refiere:

- las aspas -sus dimensiones y su perfil son decisivos en el rendimiento del gene-

rador eólico-.

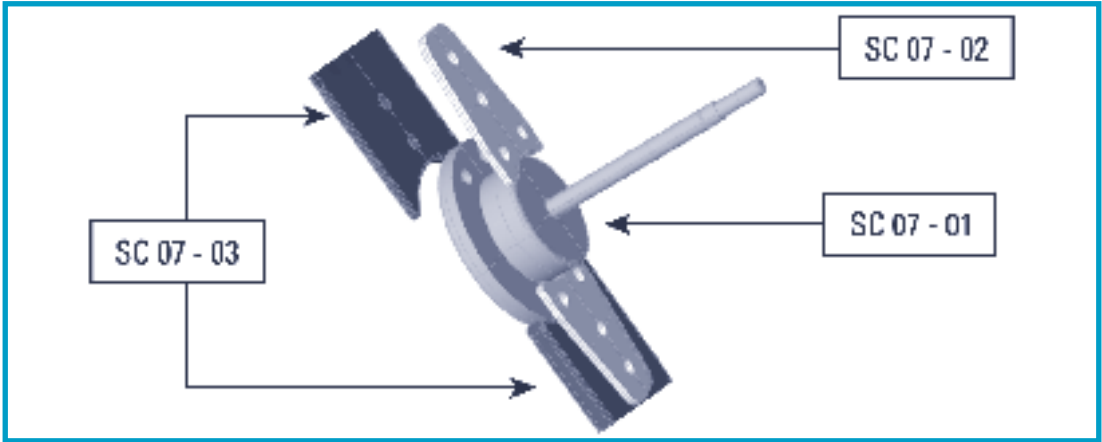
- el rotor, que porta las aspas y que transmite la potencia tomada del viento al motor eléctrico y
- las piezas de vinculación entre ambos.

Realizadas en madera semidura, en las fichas de producción usted va a encontrar dos modelos de **aspas** que combinan su montaje según la pieza de vinculación entre éstas y el rotor que se utilice. Estos

dos modelos de piezas de vinculación nos permiten un montaje y una puesta en funcionamiento rápidos, para avanzar, luego, en las experiencias de comparación de rendimiento.

El **rotor** es una pieza planteada en acero, a realizar por torneado. Aunque el control dimensional y de ajuste son rigurosos, el mismo proceso con el que se plantea su producción nos permite lograr esta exigencia sin mayores problemas.

Las dimensiones y características de estas piezas se encuentran detalladas en las fichas de producción N° 9 a 11.



Los materiales y las herramientas

Le acercamos un listado de los materiales necesarios para producir todas las piezas de cada subconjunto.

Las cantidades indicadas corresponden al total necesario para producir las piezas. La especificación general -como *acero* y *madera semidura*- está en función de dejar abierta

esta elección a las posibilidades locales de su escuela o de abastecimiento de estos materiales; por ejemplo, si usted y sus alumnos desean emplear aluminio en reemplazo del acero para el armado del soporte del prototipo, tienen que tener en cuenta, luego, el sistema de soldadura para este material.

Detalle de materiales	Para piezas
Planchuela de acero de 1 ¼" x 3 mm de espesor. 90 cm	SC 01 - 01, SC 01 - 03, SC 03 - 02, SC 03 - 03
Planchuela de acero de 2" x 3 mm de espesor. 20 cm	SC 03 - 01
Planchuela de acero de 1" x 2 mm de espesor. 20 cm	SC 07 - 02
Caño estructural de acero, sección cuadrada, 1 ¼" x 2 mm de espesor. 50 cm	SC 01 - 02
Barra de acero, sección circular, Ø 2" o más. 10 cm	SC 07 - 01
Tirante de madera semidura, sección cuadrada, 2" cepillado. 5 cm	SC 05 - 01
Tirante de madera semidura de 3" x 5 mm, cepillado. 10 cm	SC 05 - 02
Tirante de madera semidura de 2" x 7 mm, cepillado. 1.10 m	SC 07 - 03

Las estrategias de producción

Podemos aprovechar los materiales en común y sus procesos de producción para armar una estrategia de desarrollo por grupo de piezas, que nos permita coordinar simultáneamente el trabajo en tres áreas:

- la producción de las piezas metálicas, a partir de la utilización de los semielaborados planchuela y caño,
- la producción de las piezas en madera y
- la producción del rotor por torneado.

Tenemos, así, tres áreas bien definidas: para la primera las operaciones de corte, agujereado y soldadura son comunes; en la segunda, el corte a medida y el ajuste se concretan sobre piezas en madera; la tercera de las áreas implica la necesidad de la intervención de una máquina-herramienta como el torno, que nos lleva a otro ámbito específico.

Para la producción de las piezas derivadas del uso de planchuela y caño, resulta fundamental contar con morsa de banco, arco de sierra con hoja de acero rápido, agujereadora de banco, soldadora por arco (eléctrico) y lima de grano medio para metales.

En lo relativo al trabajo en maderas, necesitamos: sierra caladora (de mano o de banco), agujereadora de banco, un par de prensas de mesa, una lima para madera de grano medio y un formón mediano.

Por último, el rotor requiere la utilización de un torno (semiautomático).

Para los detalles de terminación de bordes y preparado de superficies, es necesario contar con diversas lijas al agua y para madera.

La terminación superficial puede ser la común para cualquier pieza metálica en lo que a pintura respecta (una base de antioxidante y pintura a elección, sea ésta esmalte sintético, lacas, etc.), al igual que para las piezas de madera (sellador de base, barnices, lacas, etc.).

Debemos recordar, una vez más, que la elección del motor eléctrico a utilizar como generador será determinante para el resto de las dimensiones del prototipo. En nuestro ejemplo, las dimensiones generales del motor eléctrico son de 50 mm de largo x Ø 30 mm.



FICHA DE PRODUCCIÓN N° 1

SC 01 - 01 Apoyo

Dimensiones



Material / Semielaborado:

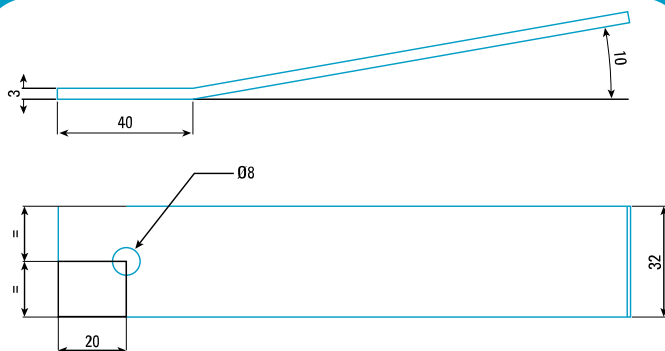
Planchuela de acero de 1 ¼" x 3 mm de espesor.

Procesos a realizar:

1. Corte a largo inicial de 170 mm.
2. Plegado en ángulo de 10°.
3. Perforación de 8 mm de Ø.

Detalles:

Emprolijar la unión por cordón de soldadura con la pieza SC1 - 02.



Nota: El largo de la pieza para el corte sin plegar es de 170 mm. El diámetro de la perforación puede variar en función del tipo de fijación al piso que se quiera utilizar.

Vincula con: SC 01 - 02.

Por medio de: Cordón de soldadura eléctrica.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 2

SC 01 - 02 Columna

Dimensiones



Material / Semielaborado:

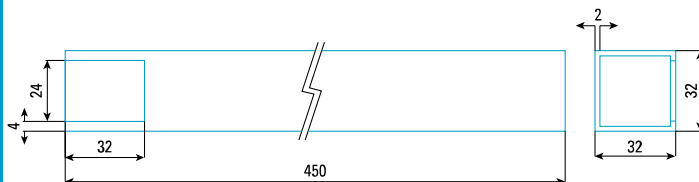
Caño estructural de acero de sección cuadrada de 1 ¼" x 2 mm de espesor.

Procesos a realizar:

1. Corte a medida en longitud.
2. Corte abertura superior.

Detalles:

Emprolijar la unión por cordón de soldadura con las piezas SC 01 - 01 y 03.



Nota: Las dimensiones para el corte de la abertura superior en una de las caras del caño pueden variar, en función del tipo de buje y del eje que se quiera acoplar.

Vincula con: SC 01 - 01 y SC 01 - 03.

Por medio de: Cordón de soldadura eléctrica.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 3

SC 01 - 03 Tapa



Material / Semielaborado:

Planchuela de acero de 1 ¼" x 3 mm de espesor.

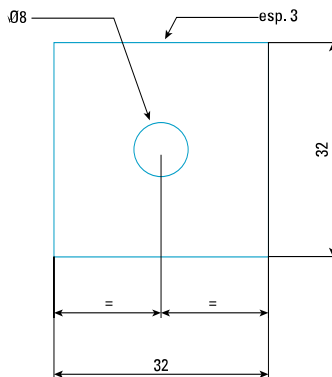
Procesos a realizar:

1. Corte a medida en 1 ¼".
2. Perforación de 8 mm de Ø.

Detalles:

Emprolijar la unión por cordón de soldadura con la pieza SC 01 - 02.

Dimensiones



Nota: Esta pieza también puede ubicarse dentro del perfil (tomando, entonces, las dimensiones interiores de la pieza SC 01 - 02).

Vincula con: SC 01 - 02.

Por medio de: Cordón de soldadura eléctrica.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 4

SC 03 - 01 Base



Material / Semielaborado:

Planchuela de acero de 2" x 3 mm de espesor.

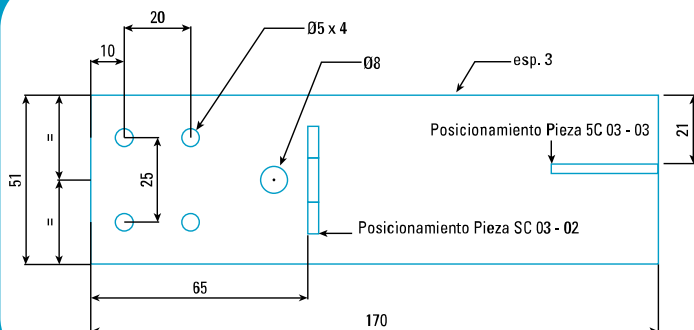
Procesos a realizar:

1. Corte a medida en largo.
2. Perforaciones de 5 y 8 mm de Ø.

Detalles:

Emprolijar la unión por cordón de soldadura con las piezas SC 03 - 02 y 03.

Dimensiones



Nota: Se indican en el plano las cotas de posicionamiento para soldar las otras piezas del SC.

Vincula con: SC 03 - 02 y SC 03 - 03.

Por medio de: Cordón de soldadura eléctrica.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 5

SC 03 - 02 Tope



Material / Semielaborado:

Planchuela de acero de 1 ¼" x 3 mm de espesor.

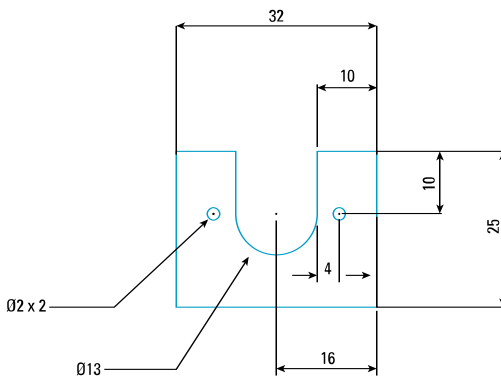
Procesos a realizar:

1. Corte a medida en altura.
2. Fresado interior.
3. Perforaciones de 2 mm de Ø.

Detalles:

Emproljar la unión por cordón de soldadura con las piezas SC 03 - 01.

Dimensiones



Nota: Las dimensiones y perforaciones son las necesarias para la fijación del motor eléctrico a emplear. Por lo tanto, según el motor que se decida utilizar, deberán ser replanteadas.

Vincula con: SC 03 - 01.

Por medio de: Cordón de soldadura eléctrica.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 6

SC 03 - 03 Cola



Material / Semielaborado:

Planchuela de acero de 1 ¼" x 3 mm de espesor.

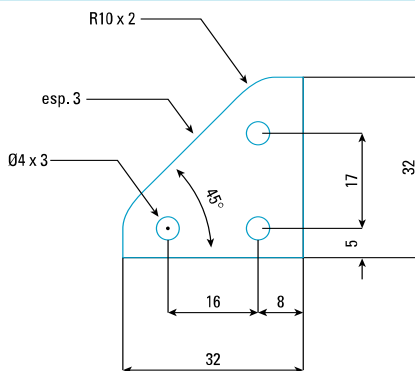
Procesos a realizar:

1. Corte a medida en longitud.
2. Perforaciones de 4 mm de Ø.
3. Redondeo de vértices.

Detalles:

Emproljar la unión por cordón de soldadura con las piezas SC 03 - 01.

Dimensiones



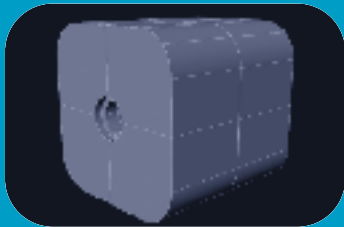
Nota: Las dimensiones y perforaciones son las necesarias para la fijación del motor eléctrico a emplear. Por lo tanto, según el motor que se decida utilizar, deberán ser replanteadas.

Vincula con: SC 03 - 01.

Por medio de: Cordón de soldadura eléctrica.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 7

SC 05 - 01 Cubo



Material / Semielaborado:

Madera semidura de 2" de lado x 50 mm de largo

Procesos a realizar:

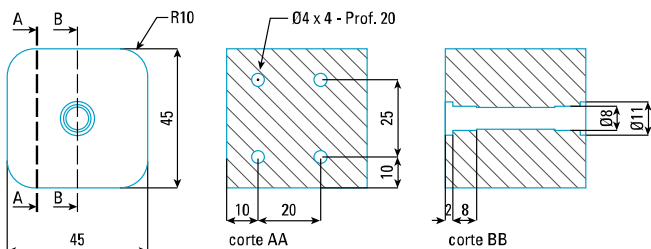
1. Corte a medida en longitud.
2. Perforaciones de 4,8 y 11 mm de \varnothing .
3. Redondeo de aristas.

Detalles:

Tener en cuenta que todas las perforaciones de esta pieza están definidas en función de elementos estándar a utilizar.

Vincula con: SC 03 - 01 y SC 07 - 01.

Dimensiones



Nota: El corte BB muestra el agujero pasante para el eje del rotor y los alojamientos para los bujes de poliamida (considerar las dimensiones, en función del tipo de buje a colocar).

Por medio de: VSC 04 - 2.1 y 03 para SC 03 - 01 / VSC 04 - 01 para SC 07 - 01.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 8

SC 05 - 02 Veleta



Material / Semielaborado:

Tirante de madera semidura de 3" x 5 mm.

Procesos a realizar:

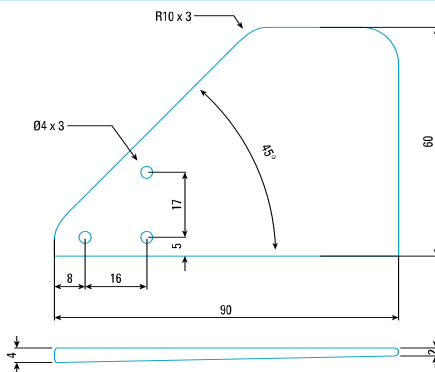
1. Corte a medida según contorno.
2. Perforaciones de 4 mm de \varnothing .
3. Redondeo de vértices y aristas.

Detalles:

Fresado para alojar la cabeza de los tornillos.

Vincula con: SC 03 - 03.

Dimensiones

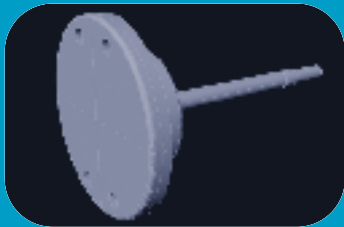


Nota: Para un mejor ajuste de la pieza se recomienda fresar sobre la cara con ángulo el alojamiento para la cabeza de los tornillos y mantener, así, un ajuste paralelo entre caras.

Por medio de: VSC 04 - 2.3.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 9

SC 07 - 01 Rotor



Material / Semielaborado:

Barra de acero, sección circular, 2" o más.

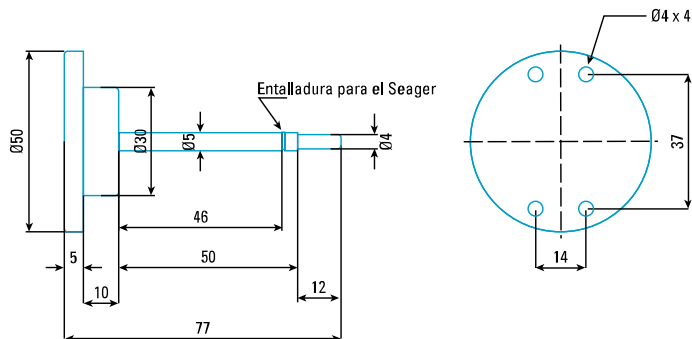
Procesos a realizar:

1. Torno a medida.
2. Perforaciones de 4 mm de \varnothing .
3. Redondeo de aristas.

Detalles:

Entalladura según anillo Seagers a utilizar.

Dimensiones



Vincula con: SC 07 - 02 y 03, SC 05 - 01 y 04.

Por medio de: VSC 06 - 01 y 02, VSC 04 - 01 y 04.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 10

SC 07 - 02 Placa



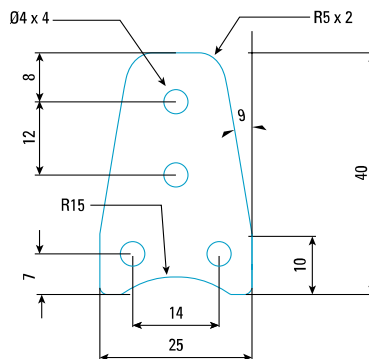
Material / Semielaborado:

Planchuela de acero de 1" x 2 mm de espesor.

Procesos a realizar:

1. Corte a medida según contorno.
2. Perforaciones de 4 mm de \varnothing .
3. Redondeo de vértices.

Dimensiones



Nota: Esta pieza de acero puede ser manufacturada en aluminio, por ejemplo. Se recomienda aumentar el espesor a 3 mm.

Vincula con: SC 07 - 01 y 03.

Por medio de: VSC 06 - 02.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 10a

SC 07 - 02.1 Placa rotada

Dimensiones



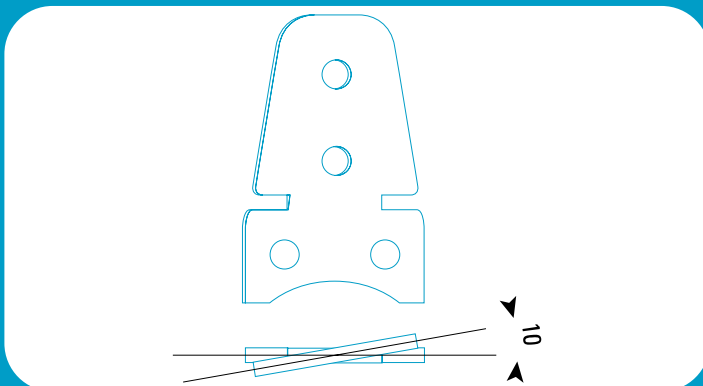
Material / Semielaborado:

Planchuela de acero de 1" x 2 mm de espesor.

Procesos a realizar:

1. Producción similar a la pieza anterior.
2. Entalladuras laterales.

Detalles: Las ranuras laterales cumplen la función de debilitar la pieza y facilitan, así, la torsión de la parte superior de la pieza.



Nota: Se recomienda ir probando con ángulos menores, hasta determinar el que brinde mejor rendimiento al producto. El uso de esta pieza permite trabajar con un aspa de diseño más simple, como la representada en la ficha de producción N° 11 a

Vincula con: SC 07 - 01 y 03.

Por medio de: VSC 06 - 02.

FICHA DE PRODUCCIÓN N° 11

SC 07 - 03 Aspa

Dimensiones



Material / Semielaborado:

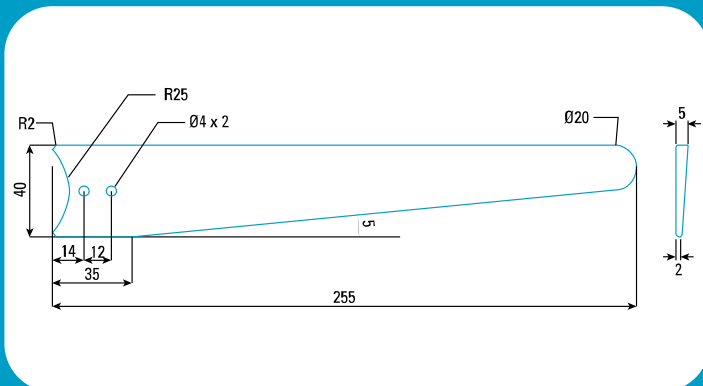
Tirante de madera semidura de 2" x 7 mm.

Procesos a realizar:

1. Corte a medida según contorno.
2. Perforaciones de 4 mm de Ø.
3. Redondeo de vértices y aristas.

Detalles:

Fresado para alojar la cabeza de los tornillos.



Nota: Para un mejor ajuste de la pieza se recomienda fresar el alojamiento para la cabeza de los tornillos sobre la cara con ángulo y mantener, así, un ajuste paralelo entre caras.

Vincula con: SC 07 - 02.

Por medio de: VSC 06 - 02.

SC 05 - 01 Cubo

Dimensiones



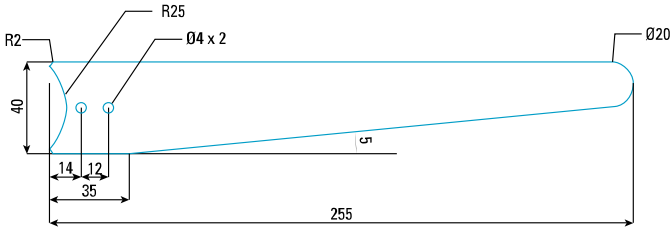
Material / Semielaborado:
madera semidura de 2" x 5 mm.

Procesos a realizar:

1. Corte a medida según contorno.
2. Perforaciones de 4 mm de Ø.
3. Redondeo de aristas.

Detalles:

Como el espesor es constante, se puede reducir -en comparación con el modelo anterior-.



Nota: El contorno de este modelo de aspa es igual al modelo de la ficha anterior, pero su fabricación se simplifica al mantener ambas caras planas.

Vincula con: SC 07 - 02.

Por medio de: VSC 06 - 02.

Las vinculaciones

Hasta aquí mencionamos las generalidades de los subconjuntos funcionales y de las piezas que los conforman. Avanzamos, ahora, en las relaciones entre los subconjuntos que nos permiten el armado final y la puesta en funcionamiento del recurso didáctico.

Todos los elementos de fijación utilizados en la construcción del recurso didáctico **generador eólico** pueden ser reemplazados,

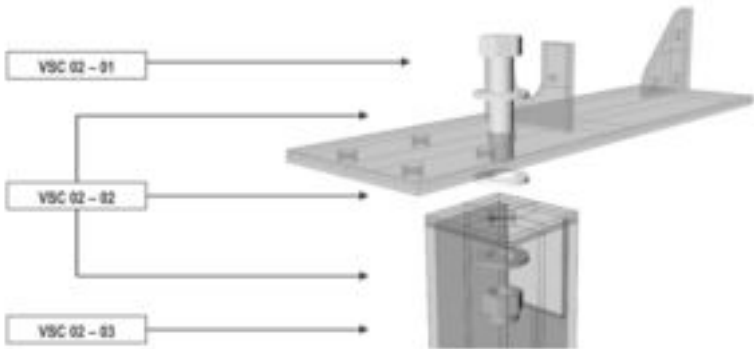
adaptando sus dimensiones y/o materiales según un nuevo diseño a proponer. Lo importante, en esta instancia, es mantener la función que cada elemento de fijación cumple como tal. Una segunda instancia es replantear el tipo de vinculación, tanto entre piezas como entre subconjuntos.

En las siguientes tablas detallamos los componentes de fijación utilizados en nuestra propuesta.

VSC 02 - Orientación				
Código	Denominación	Dimensiones ⁴⁰	Cantidad	Observaciones
VSC 02 - 01	Tornillo cabeza hexagonal	Ø 7 - Largo 30	1	Rosca métrica.
VSC 02 - 02	Arandela plana	Ø interior 8.4 espesor 1.6	3	En acero (o en poliamida 6.6 para disminuir el roce).
VSC 02 - 03	Tuerca autofrenante	Ø 7	1	Rosca métrica.

⁴⁰ Todas las medidas son en mm, salvo indicación contraria.

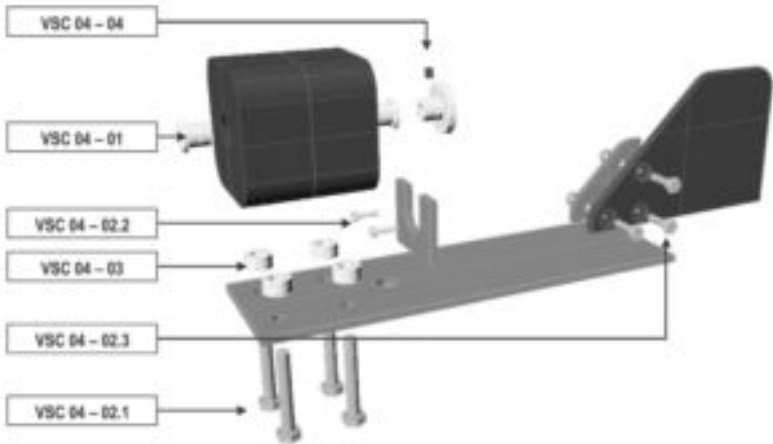
Montaje de los subconjuntos soporte y chasis (SC 01 y 03) por medio del subconjunto vinculante de orientación (VSC 02), que permite que el chasis y el resto de los componentes montados en él puedan orientarse según la dirección del flujo de aire que reciba el subconjunto rotor.



VSC 04 - Transmisión

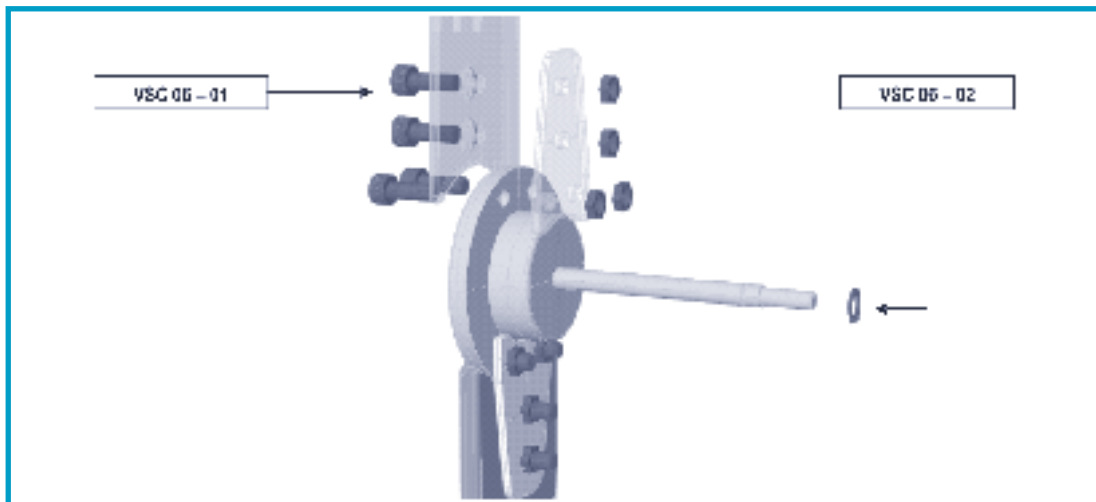
Código	Denominación	Dimensiones ¹	Cantidad	Observaciones
VSC 04 - 01	Buje antifricción	Ø interior 5		Poliamida 6.6.
VSC 04 - 02	Tornillos			
VSC 04 - 02.1	Tornillo tirafondo cabeza hexagonal	Ø 3/16" - Largo 1 1/2"	4	Acero pavonado.
VSC 04 - 02.2	Tornillo Allen	Ø 2 - Largo 8	2	Acero pavonado.
VSC 04 - 02.3	Tornillo Allen	Ø 3 - Largo 10	3	Acero pavonado (se agregan las tuercas correspondientes).
VSC 04 - 03	Espaciadores	Ø interior 5.2 - Largo 10	4	Poliamida 6.6 (pueden reemplazarse por otros materiales).
VSC 04 - 04	Prisionero	Ø 3	1	Acero pavonado.

Montaje de los subconjuntos chasis y motor (SC 03 y 05) por medio del subconjunto vinculante de transmisión (VSC 04), que permite fijar al chasis la pieza que guía y posiciona el eje del rotor, el par de engranajes y el motor eléctrico seleccionado (En la gráfica, este último no figura, para permitir una visualización más limpia del conjunto).



VSC 06 - Rotación

Código	Denominación	Dimensiones ⁴⁰	Cantidad	Observaciones
VSC 06 - 01	Seguro Seagers	Ø4.7 espesor 0.6	1	Para ejes - Tipo A DIN 471.
VSC 06 - 02	Tornillo Allen	Ø4 - Largo 12	8	Acero pavonado (se agregan las tuercas correspondientes).



Recordemos que los elementos de fijación están en relación directa con las dimensiones de los agujeros que las distintas piezas y/o componentes poseen (y que se indican en los planos); por lo tanto, cualquier reemplazo de uno de estos elementos se debe tener en cuenta, luego, para el ajuste de las perforaciones.

Para completar la información sobre elementos de fijación se recomienda la consulta por catálogos de los diversos elementos posibles de utilizar:

<http://www.fasteners-dist.com>

Catálogo de tornillos, pernos, arandelas, seguros, etc.

<http://www.importper.cl>

Catálogo de todo tipo de tornillos, fijaciones, etc.

<http://www.skiffy.com>

Catálogo -principalmente, de elementos plásticos- con representaciones 3D, detalle de dimensiones, materiales y especificaciones para su uso correcto.

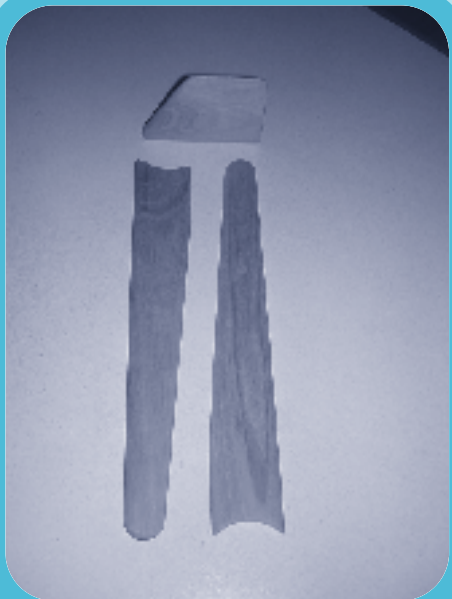
La construcción y el armado

En nuestra propuesta de estrategia de producción, ya hemos planteado la construcción de las piezas para ir armando el producto. Y la secuencia de montaje se desprende, también, del orden en el que hemos ido presentando los subconjuntos de vinculaciones.

El montar el chasis sobre el soporte nos permite regular con precisión el rozamiento que habrá entre estos dos subconjuntos al momento de poder girar uno sobre el otro para orientarse según la dirección del flujo de aire que reciba el subconjunto rotor.



Soporte y chasis recién soldados



Aspas y veleta terminadas en madera



Motor y vinculaciones principales junto al rotor

Continuamos con el montaje de los componentes sobre el chasis y utilizamos el rotor para ir probando el ajuste del par de engranajes con el motor.

Una vez alineado el motor sobre el chasis, procedemos al montaje del subconjunto rotor completo y, luego, lo instalamos al resto del producto con el anillo de seguridad

y el engranaje corona fijado sobre el eje.

Una vez que tenemos el producto armado, lo único que nos queda es montarlo en el lugar previamente estudiado (según las condiciones más favorables para su desempeño como generador eólico) y conectar el motor a los diversos elementos posibles para aprovechar la energía eléctrica que se produzca (desde elementos de medición -como un téster, para monitorear el rendimiento del producto- hasta baterías para su carga o productos que consuman directamente la electricidad que se vaya generando). Todo esto, siempre, en función del tipo de generador eléctrico montado en el equipo.

El ensayo y el control

Son varios los componentes sobre los cuales podemos generar diversas actividades de ensayo, buscando optimizar el producto.

A modo de ejemplo, en la secuencia de imágenes, vemos la prueba de un modelo de aspas realizadas en una sola hoja de aluminio, con el detalle de un par de cortes laterales por sobre el rotor -que nos permiten debilitar el material y generar un pliegue, para simular el ángulo de ataque de un aspa real-.

Este tipo de prueba, incluso, no necesitó del resto de los componentes del prototipo. Al aire libre, con estas aspas montadas, el rotor aprovecha un viento cercano a los 30 km por hora (es decir, unos 8 m/s, velocidad más que buena para el funcionamiento de un generador eólico real).

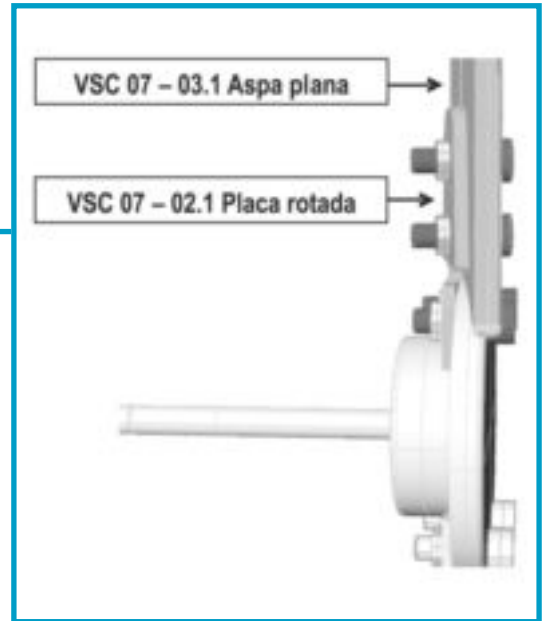


Probando el rotor montado directamente sobre el buje de madera y con aspas en aluminio, aprovechando ráfagas de viento de 8 m/s

Esta experiencia dio origen a una modificación sobre la pieza de vinculación entre el rotor y las aspas (Le proponemos que analice también las fichas de producción 10a y 11a), que nos permitió obtener el ángulo de ataque directamente sobre ésta e integrar un diseño de aspa mucho más simple:

El sistema de vinculación utilizado para permitir la alineación del rotor según la dirección de flujo de aire que reciba, es guiado por la veleta de cola que se fija en el chasis.

Como este sistema no tiene control que nos permita administrarlo, si necesitamos frenar o disminuir las rpm del aerogenerador, simplemente podemos sacarlo de la alineación, moviéndolo desde la veleta.



4. EL EQUIPO EN EL AULA

No es un juego de palabras. Cuando ingresamos al aula nos encontramos con dos equipos a desarrollar: uno, materialmente -el aerogenerador- y el otro, socialmente -el formado por personas íntegras que están aprendiendo nuevos conocimientos, entendiéndolos y usando lo aprendido-.

Por supuesto, el segundo equipo es el más importante. Cualquier medio que usemos para lograr el equipo generador eólico, descartando los caminos elegidos por el equipo que forman nuestros alumnos, perjudicará a ambos.

Porque es fundamental que los alumnos consideren al generador eólico como algo importante para sus objetivos personales y colectivos. El aprendizaje es mejor si lo promovemos como un intercambio participativo en el que los estudiantes deciden, mueven sus propios recursos y se responsabilizan por lo que van a aprender. También es importante promover un ambiente de respeto, comprensión y apoyo para los alumnos, y evitar recetas estereotipadas.

¿Cómo movilizamos a los chicos en la cuestión de la energía eólica? ¿Por dónde empezamos...? Porque, el aerogenerador no es sólo un conjunto de piezas a construir que, luego, puesto al viento, generará energía eléctrica. Porta otros significados, responde a la necesidad específica de generar energía para el consumo, respetando el ambiente y, por lo tanto, a todos los seres humanos; y

denota futuro -que no confundimos con futurismo-, porque permite disminuir determinadas problemáticas producidas por el crecimiento y por el consumo sobre el planeta.

Sin un contexto real, no hay interés ni compromiso.

A continuación, le proponemos algunas actividades como inicio de los caminos de interés y de compromiso que pretendemos recorrer.

1. Un plan eólico

Una primera instancia -sin entrar aún en mediciones rigurosas ni en cálculos- es el acercamiento sensible a un escenario determinado que puede brindarnos buena información y permitirnos administrar más fácilmente la motivación y el entusiasmo, para que nuestros alumnos pongan manos a la obra.

Elaborar un plan eólico nos permite escoger un buen lugar para instalar el aerogenerador. Comencemos por observar detenidamente nuestro entorno. La naturaleza puede brindarnos indicadores concretos de la actividad del viento en una zona determinada, por lo que proponemos a los alumnos:

- I. Cuantifiquen la rugosidad, relevando las características del terreno. ¿Se trata de un suelo de pastos altos o vegetación tupida? ¿Arenoso? ¿Cuenta con lagunas o espejos

de agua? ¿Muchos o pocos árboles? ¿Qué otros datos de rugosidad provee?

2. Analicen el movimiento de la vegetación presente en el terreno; es decir, cómo un árbol o vegetación alta son movidos por el viento. Esto va a permitirles visualizar con facilidad la dirección predominante en la que sopla el viento. Realicen estas observaciones de día y de noche; pueden dar resultados distintos.
3. Releven los obstáculos (mídanlos, ubíquenlos sobre un plano).
4. Analicen si la orografía de la zona nos beneficia con formaciones del tipo "colina" (aprovechamiento del efecto túnel) que nos permitan contar con una aceleración del flujo de aire sobre nuestra instalación.
5. Integren partes meteorológicos de la zona (que pueden solicitar a la radio o al diario local); les permitirán tener un panorama muy completo para organizar y profundizar las actividades.
6. Evalúen la infraestructura existente; consideren todo lo que se relacione con el acceso al terreno en estudio (senderos, caminos, rutas), redes de transporte de electricidad (por ejemplo, para interconectar el generador).

Observaciones meteorológicas

Para la evaluación o la medición de uno o varios elementos climáticos, existen dos tipos de observaciones:

- Las sensoriales. Se efectúan por medio de los sentidos; principalmente, la vista. Por ejemplo, cuando podemos detectar la cantidad de nubes en el cielo.
- Las instrumentales. Por ejemplo, para medir la temperatura necesitamos leer un termómetro.

2. Qué fácil es y qué difícil sería...

Nos levantamos temprano por la mañana y, según la estación del año, iluminamos el ambiente donde vivimos, estiramos el brazo desde la cama, apretamos un botón y... *clic*... ¡listo! Ya despiertos, caminamos por el pasillo y, de pasada, *clic*, otra luz. Llegamos al baño y... *clic*. Abrimos el agua caliente para la ducha y es posible que, para mantener la presión del suministro, en ese mismo momento... *clic*, se acciona una serie de bombas. Pasa el baño reparador; nos secamos rápidamente y -los más paquetes- con secador de pelo en mano, enchufe en la otra... *clic*. Mientras tanto, escuchamos unos pasos y pensamos: "¡Qué ricas unas tostadas!". Cuchillo eléctrico -las corta más parejitas- y... *clic*; rodaja de pan, tostadora al frente y... *clic*: tostadas doraditas. Pero...¡espérenme! Yo sigo en el baño: máquina de afeitar y... *clic*; afeitado y cambiado, cargo agua en la pava y... *clic* para encender la cocina infrarroja; abro la heladera y recibo un frío bárbaro ya que funcionó toda la noche, retiro la mantequilla para las tostadas y, en ese momento, escucho un *clic*; empezó a funcionar porque estuve mucho tiempo con la puerta abierta y debe recuperar el frío que se esfumó entre mis piernas. Mientras tanto, algunos hacemos *clic* en el botón de la compu para poder consultar correo antes de irnos; además, un *clic* en la tele para ver cómo estará el día. Ya saliendo, desconectamos el celular que estuvo cargándose en la noche. Cada *clic* retumba en nuestra cabeza y su lista no termina. Pasillo del departamento, no vemos nada; luz rojita y... *clic*; listo, luz en el pasillo. Apuntamos hacia el botón del ascensor y... *clic, clic, clic, clic*... ¡Basta...! No sigamos; rindámonos: No podemos seguir contando

todos los *clic*. Ah, no; mejor pensemos en ese último tan reparador que hacemos cuando apagamos la luz para descansar de un día agotador.

Contar los *clic* es un problema; pero, lo peor comienza cuando, después del intento, no obtenemos respuesta y todo comienza a ser muy muy difícil...

Diario Río Negro. 24 de enero de 2005⁴¹

LA LÍNEA SUR, ADEMÁS, SE QUEDÓ SIN AGUA

Ingeniero Jacobacci (AJ y AC). El prolongado corte de energía eléctrica en la Línea Sur rionegrina dejó, además, a miles de pobladores sin agua. Con el correr de las horas, la situación se hizo más difícil de soportar y provocó pérdidas aún difíciles de estimar.

Nadie estaba preparado para afrontar tanto tiempo sin luz. Los comerciantes que venden lácteos o carne, por ejemplo, empezaron a desesperarse al notar que el corte superaba el horario que habían anticipado desde la empresa de energía.

"Si se pierde la cadena de frío, se pierde todo. Una cosa era estar casi diez horas sin energía a superar las 16 horas", decía la gente con gran preocupación, por la imprevisible extensión del corte programado.

En la Línea Sur se estima que unas 32.000 personas se vieron afectadas por esta interrupción del suministro eléctrico. Las localidades de Jacobacci, Pilcaniyeu, Comallo, Clemente Onelli, Maquinchao, Aguada de Guerra, Los Menucos y Sierra Colorada, padecieron esta situación.

El corte, como en el sur neuquino, estaba programado entre las 2 de la madrugada y

las 11.40 de ayer. (...) Sólo unos pocos habían tomado recaudos pensando en ello. Por ejemplo, quienes venden helados no habían realizado pedidos para evitar la pérdida de mercadería.

El resto de los habitantes pensó sólo en esperar a que se hiciera el mediodía para recuperar la luz y la actividad normal. Pero, ello no ocurrió. La tarde avanzaba y la energía seguía sin regresar ocasionando, además, la falta de agua en cientos de hogares.

"En los barrios donde hay tanques de agua, todavía tienen un poco; pero, la mayoría de las viviendas se ha quedado sin agua", comentaba la gente del lugar cerca de las 18 de ayer. En los hospitales, al menos en el de Jacobacci, se estaban manejando con el grupo generador y, por lo tanto, el impacto del problema fue más atenuado que en las viviendas particulares.

(...) Si bien la temperatura no era muy elevada -rondaba los 20 grados centígrados-, a la incomodidad por la falta de luz y agua se sumaba el fuerte viento, que ayer tuvo ráfagas de hasta 70 kilómetros por hora en la Línea Sur.

Nuestro interés es centrarnos en los hechos que suceden por la ausencia de la energía eléctrica, en los problemas sociales y económicos en los que nos veríamos involu-

crados si esto sucediera en forma permanente, y en qué nos planteamos como alternativa a esta situación.

⁴¹ Accesible en su versión completa: <http://rionegro.com.ar/arch200501/24/r24m31.php>

A grupos de no más de cinco alumnos, les solicitamos:

1. En la introducción de la actividad hablamos de *clic*. Traten de realizar una lista completa de los *clic* que realizamos individualmente y de los clic necesarios para el desarrollo y la vida en comunidad. Recuerden que hay sectores y servicios que de noche no descansan; realicen una investigación a fondo.
2. Establecido el detalle de los *clic*, indiquen en qué problemas podríamos vernos involucrados si lo que nos plantea el artículo sucediera en forma permanente.
3. Si no se toman los recaudos necesarios, los problemas detallados podrían ser parte de nuestra realidad cotidiana. ¿Qué hacemos? ¿Esperamos que suceda o diseñamos algo para que no ocurra? Argumenten y tomen una posición consistente; pónganla a consideración de los demás grupos. Una ayuda. En el artículo del Río Negro, el periodista que redactó la nota nos puso, tal vez sin querer, frente a una hermosa paradoja; sería bueno que la integraran como parte de la posición tomada y como camino alternativo a los problemas planteados.

3. Incómodo viento

La verdad es que, cuando estamos al aire libre queriendo disfrutar de un día a pleno, preferimos que no haya viento. Y, si lo hay, proferimos insultos -precisamente... a

los cuatro vientos- pidiendo una suave brisa, pajaritos cantando y un cielo despejado.

Pero... Deberíamos ir imaginándonos un futuro en el que el estrés sea provocado por la ausencia de viento, que nos privaría de la energía para todos los elementos del confort de nuestra vida cotidiana. En esta realidad diferente, agradeceríamos que se levantara un vendaval que permitiera a los molinos mover sus aspas sin parar.

Viento, vendaval, ventolina, ráfaga... también tienen nombres propios. Como los conocidos *Fhon*, *Harmatán*, *Siroco*, *Simún* y *Monzón*, todos de distintas regiones del planeta.

El *Fhon* y el *Harmatán* son vientos que se desplazan por los Alpes y por Guinea, respectivamente. El ardiente y seco *Siroco* busca sediento, desde la arena del Sahara, las aguas del Mediterráneo. El *Simún* juega con los médanos de Arabia, mientras que el *Monzón* engendra los violentos ciclones del sudeste de Asia.

Nuestro país tiene el *Zonda* en Cuyo y el *Pampero* en la pampa húmeda. Y, el viento que surca la Patagonia, ¿no tiene nombre? Bien se podría llamar *Kóshkil*, en honor a los habitantes de esta tierra en el siglo pasado -los tehuelches y, en particular, los Teushen, quienes llamaban de esta forma al fuerte viento patagónico-.

El viento es el principal actor; su ausencia transforma al aerogenerador en un objeto inútil y su mala ubicación, en un objeto poco

útil. Por este motivo, toma más importancia un estudio basado en la región en la que se instalará para cumplir su función; y, para una correcta ubicación, es de suma importancia contar con una rosa de los vientos del lugar. ¿Qué es una rosa de los vientos? Los meteorólogos crearon un gráfico llamado **rosa de los vientos** que nos permite representar las relaciones que existen entre las características que componen el viento.

Este gráfico resulta de mucha utilidad para nuestra tarea, ya que su observación permite ubicar adecuadamente al aerogenerador, al presentar la dirección en particular en la que los vientos son más intensos y de mayor frecuencia.

Esta actividad puede ser paralela a la construcción del aerogenerador, ya que va a llevar unos cuantos días obtener los datos necesarios.

Si pretendemos que nuestro aerogenerador funcione en óptimas condiciones, es muy importante conocer nuestros vientos; por lo tanto, es fundamental proponer a los jóvenes realizar su relevamiento estadístico durante 30 días para, luego, representar la rosa de los vientos.

Para esta tarea es necesario relevar los siguientes datos del viento:

- frecuencia,
- dirección,
- velocidad.

¿Cómo hacemos para obtener estos datos?

Definir la frecuencia. Esta tarea implica determinar la cantidad de observaciones. Veamos... Adoptando tres observaciones diarias -una a las 10 de la mañana, otra a las 14 horas y otra a las 18 horas-, contamos con 90 observaciones en 30 días; la frecuencia total es, así, de 90. Si optamos por sólo una observación diaria -supongamos, la de las 14 horas-, obtenemos 30 observaciones en un mes, es decir una frecuencia total de 30. Es aconsejable la primera alternativa.

Obtener la dirección. Para esto hace falta una veleta, que va a estar ubicada en un lugar donde reciba el viento, sin ningún tipo de obstáculo, y que nos permita un fácil acceso para su observación.

Contar con los valores de la velocidad. Necesitamos un anemómetro, instrumento específico para medir la velocidad del viento. Podemos optar por uno de **empuje**, que está formado por una esfera hueca y ligera, o por una pala cuya posición respecto de un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, la que se mide en un cuadrante. El anemómetro **de rotación** está dotado de cazoletas o hélices unidas a un eje central, cuyo giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa. El anemómetro **de compresión** se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con un orificio frontal (que mide la presión dinámica) y con otro lateral (que mide la presión estática); el otro tubo sólo cuenta con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.



Sus alumnos pueden construir el anemómetro. Por ejemplo, diseñando uno con tres brazos que, en sus extremos, cuenten con un receptáculo -en donde van a capturar viento- que lo hace girar en un eje vertical.

Si contamos sólo con esta parte del instrumental, podemos colorear uno de los receptáculos de un color diferente al de los otros dos y marcar un punto de referencia en un plano por debajo de ellos.

Listo el dispositivo, dos integrantes del grupo -uno con un cronómetro y otro con buena observación- registran la cantidad de vueltas que da en un minuto; luego, multiplicado por π , obtienen la velocidad en metros por minutos (m/min). Por ejemplo, si en un minuto giró 10 veces, aproximadamente, tenemos un viento de 31,4 m/min.

Otra alternativa es utilizando un velocímetro⁴² de bicicleta. Los chicos fijan el sensor imán que se coloca en los rayos en uno de los brazos de las

cazoletas; el sensor con cable, por su parte, es colocado en una parte fija por debajo del brazo, a una distancia pequeña (como en la bicicleta) para que tome las vueltas del sensor imán. En el reloj velocímetro, observan el dato correspondiente a la velocidad.

De no contar con estas posibilidades, pueden utilizar el servicio de meteorología de la región o consultar los boletines del servicio meteorológico de la Fuerza Aérea Argentina que son de acceso público en www.meteofa.mil.ar. Para esto, además de contar con acceso a Internet, es necesario establecer una metodología de relevamiento de datos, según los horarios en los que este servicio publica los boletines.

Otra alternativa es recopilar los pronósticos que aparecen en los diarios y, sobre la base de la escala de Beaufort, obtener los datos correspondientes. Recuérdeles que son pronósticos y que es posible que no se cumplan; además, que se basan en vientos "predominantes".



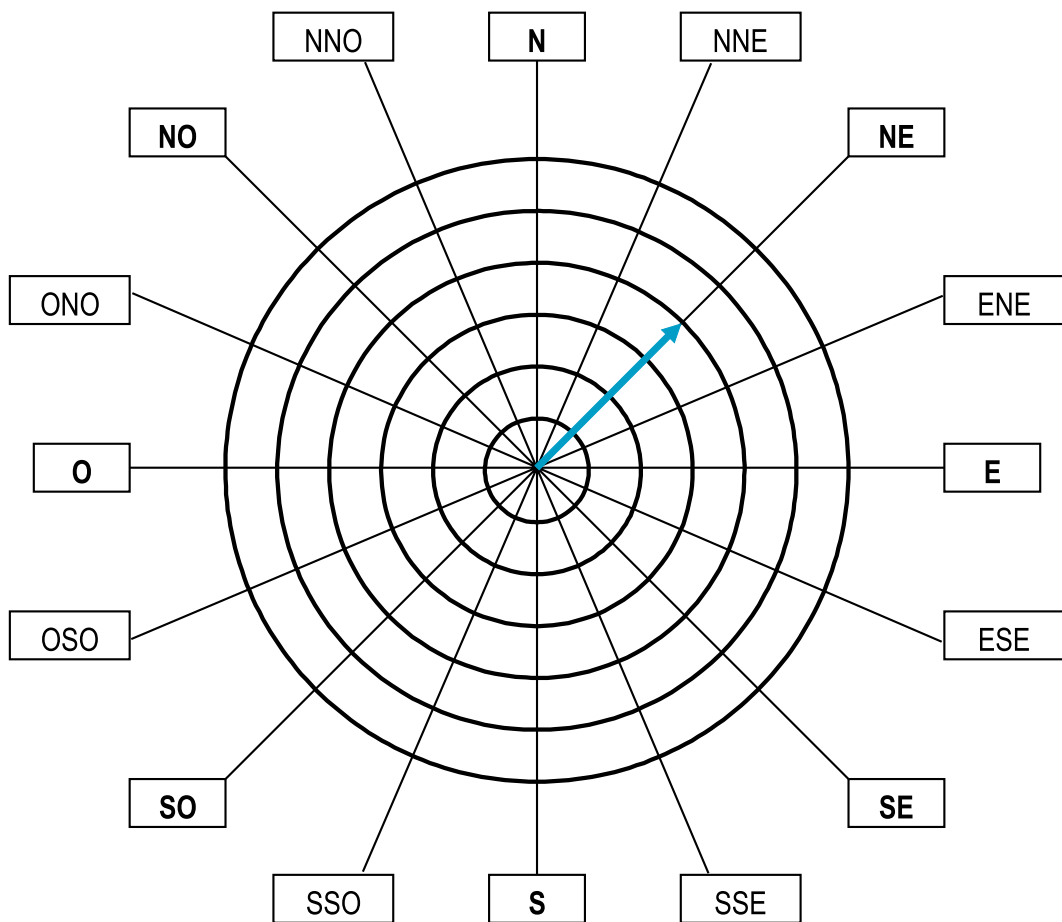
Ya hemos adelantado que, para poder confeccionar la rosa de los vientos nos debemos basar en observaciones meteorológicas de las velocidades y de las direcciones del viento. La cantidad de observaciones establecidas para un periodo (día, mes o año) son las fre-

cuencias totales, las que representan la suma de frecuencias de cada relación dirección-velocidad.

Consideremos este ejemplo de tabla con datos relevados:

Dirección del viento																	
M/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Totales
0	7	10	4	3	2	11	5	1	1	4	6	4	1	1	3	3	66
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	9	1	0	0	1	1	3	1	0	6	0	0	1	0	1	0	24
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales	16	11	4	3	3	12	8	2	1	10	6	4	2	1	4	3	90
Frecuencia																	90

⁴²Algunos de estos velocímetros tienen salida a PC.



Escala de referencias (%)



0 10 20 30 40 50

Hemos dividido la rosa en 16 sectores -cada uno abarca 22,5°-. Como hemos definido al viento como aire en movimiento descrito por dos características -velocidad y dirección-, consideramos un vector con magnitud (dada por la velocidad) y dirección.

Cada vector del gráfico representa una de las observaciones. Una vez representadas todas las observaciones, vemos qué sector ha quedado más denso (con más cantidad de vectores) y de magnitud más grande. Este sector es la orientación más adecuada para el aerogenerador.

4. Actividades turbulentas.

Observación de las líneas de flujo

Hemos ubicado el viento que nos interesa para que sea recibido por nuestro generador eólico. Pero, sabemos que toda la energía de este viento no se transforma en nuestro equipo; parte de ella sigue una trayectoria de diferente característica que la original, aquella que le dio de frente al aerogenerador. Parte del viento deja atrás al aerogenerador, conteniendo una menor energía y un comportamiento turbulento.

Cuando instalamos un solo aerogenerador, esto no tiene importancia; pero, sí cuando instalamos muchos, ya que cada aerogenerador es un obstáculo más en el terreno. Esto es de vital importancia al momento de considerar el emplazamiento de un parque eólico; por eso se estudia la disposición sobre el terreno de cada generador, para evitar que la turbulencia producida por uno de ellos sea

recibida por otro, evitando, además, que un generador se convierta en un obstáculo para otro, en la dirección principal del viento.

Ya contamos con el aerogenerador listo para su funcionamiento. Debemos tener, además, un ventilador que va a suplir la ausencia de viento dentro del aula.

1. Generen una emisión de humo en las puntas de las aspas del aerogenerador.
2. Accionen el ventilador.
3. Determinen el largo de la estela o cola de humos que se genera. Este largo es importante, ya que puede tomarse como parámetro de distancia para la distribución de generadores en un parque eólico.
4. Generen una emisión de humo delante del ventilador.
5. Observen cómo es la corriente de aire que le llega al generador.
6. Mantengan la ubicación de la emisión de humo en el punto inicial y desplacen el ventilador por los distintos ángulos de incidencia del flujo de aire.
7. Mantengan la fuente de emisión de humo delante del ventilador para cada posición de éste en relación con el ángulo de incidencia.
8. Registren estas observaciones.
9. Consideren la posibilidad de instalar 10 aerogeneradores en 20 hectáreas de terreno. ¿Cuál es la distribución más adecuada?
10. Elaboren el mapa de distribución para el parque eólico.

5. ¡Vamos al campo!

Sabemos que la velocidad del viento depende de varios factores: el tipo de superficie del terreno, los obstáculos cercanos, la orografía general de la zona, etc. En esto, entonces, tiene mucho que ver el lugar elegido y con él, el marco natural que lo rodea.

Por ejemplo, la naturaleza nos puede brindar indicadores concretos de la actividad del viento en una zona determinada. La observación de la vegetación (cómo un árbol es movido por el viento o si su tronco está inclinado) puede indicarnos la dirección predominante.

A continuación, un detalle de las observaciones que usted puede proponerles realizar a los chicos:

1. Miren los árboles y determinen si tienen alguna inclinación. ¿En qué dirección? ¿Qué cantidad de árboles hay?
2. ¿Cuál es la vegetación predominante? ¿Baja, alta, frondosa, dispersa?
3. Observen el terreno y determinen qué tipo de suelo posee. ¿Arenoso, pedregoso?
4. ¿Hay ríos, lagos u arroyos cercanos?
5. ¿Lomas, mesetas, montañas o cañadones? ¿Provocan un "efecto túnel"?
6. Realicen un mapa del espacio seleccionado y verifiquen si se puede instalar el parque eólico de la actividad anterior.

6. El ineludible análisis

Acordándonos de Michel, los jóvenes pueden realizar dos análisis tecnológicos.

Se trata de análisis muy particulares, ya que se acercan conceptualmente a un aerogenerador.

El análisis propuesto 1

Hoy se suplanta por los destelladores; antes, era el equipo de luz para la bici. Para todos aquellos a quienes nos gustaba andar de noche por caminitos poco transitados, era lo que más queríamos: el farol, la luz trasera roja y la dinamo. ¡Cómo se ponía pesada la bici cuando accionábamos el pestillo para que la dinamo apoyara sobre el lateral de la rueda y comenzara a funcionar! Cuanto más fuerte andábamos, más se nos iluminaba el camino.

El análisis propuesto 2

En las zonas rurales donde la energía eléctrica no llega, la única manera de extraer agua de las napas subterráneas es utilizando los conocidos molinos de viento. Busquemos en la zona alguno que esté instalado y vayamos a realizar el análisis en el lugar. Además de realizar el análisis del molino propiamente dicho, es importante plantear preguntas a las personas encargadas de su funcionamiento que nos permitan, principalmente, detallar todas las tareas y tener una descripción precisa de su ubicación.

El análisis de productos y de procesos tecnológicos es un procedimiento clave de la Educación Tecnológica.

"Las diversas etapas del método de análisis o lectura surgen como respuesta a interrogantes que, normalmente, un observador crítico se plantearía frente a los objetos en general y a un objeto en particular: ¿Qué forma tiene? ¿Qué función cumple? ¿Cuáles son sus elementos y cómo se relacionan? ¿Cómo funciona? ¿Cómo está

hecho y de qué material? ¿Qué valor tiene? ¿Cómo está relacionado con su entorno? ¿Cómo está vinculado a la estructura sociocultural y a las demandas sociales?" (Gay, Aquiles; Ferreras, Miguel. 1997. *La Educación Tecnológica. Aportes para su implementación*. Prociencia-CONICET. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Buenos Aires).

Usted puede acceder a la versión digital de esta obra desde el sitio web: **www.inet.edu.ar**

5. LA PUESTA EN PRÁCTICA

Esta parte final de nuestro módulo de capacitación contiene un cuadernillo para la evaluación del recurso didáctico que le presentamos y, de las experiencias didácticas y contenidos propuestos a partir de él:

Esta evaluación tiene dos finalidades:

- Brindarle a usted, como docente que utiliza este material, la oportunidad de documentar el seguimiento de las actividades que realice con sus alumnos, a partir de nuestras propuestas y, en función de esta memoria de acciones, propiciar una reflexión acerca de los cambios, mejoras o enriquecimiento de su propia tarea de enseñanza.
- Obtener de su parte, como usuario de este material, información sobre todos los aspectos en torno a los cuales gira la propuesta.

Para este relevamiento de información, usted encontrará, a continuación, una serie de cuestionarios organizados básicamente en tablas o matrices para completar. Con los datos que usted exprese en ellos esperamos tener una realimentación que nos permita mejorar todos los componentes de la serie de publicaciones “Recursos didácticos” y enriquecerla con propuestas o documentación complementaria para aquellos docentes que planteen iniciativas, interro-

gantes o dificultades específicas con relación a la construcción del recurso didáctico, a las actividades de aula, a los contenidos científicos y tecnológicos, a la metodología de enseñanza, a los procedimientos incluidos, a la información sobre materiales y a otros aspectos.

Dada la importancia que esta información de retorno tiene para nuestro trabajo de seguimiento, mejora y actualización, le agradecemos que nos remita el cuadernillo con todas las observaciones, comentarios o sugerencias adicionales que nos quiera hacer llegar. Para ello puede remitirnos una copia, a través de correo postal, a

Área de Monitoreo y Evaluación –CeNET–
Oficina 112
Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.

O, si lo prefiere, solicitarnos el archivo electrónico de las páginas que siguen a evcenet@inet.edu.ar, enviándonos la versión digitalizada de sus respuestas a través del mismo correo electrónico.

Desde ya, muchas gracias.

Identificación del material:

Las dimensiones que se consideran para la evaluación del módulo de capacitación y del recurso didáctico son:

1. Nivel educativo
2. Contenidos científicos y tecnológicos
3. Componentes didácticos
4. Recurso didáctico
5. Documentación
6. Otras características del recurso didáctico
7. Otras características del material teórico
8. Propuestas o nuevas ideas

1. Nivel educativo en el que trabajó el material:

[illegible]

Asignatura/espacio curricular en el que usted lo utilizó:.....

(*) Por favor, indique la modalidad, la orientación, la especialidad, etc.

2. Contenidos científicos y tecnológicos trabajados:

[illegible]



3. Componentes didácticos:

3.1. Testimonios (situaciones problemáticas) presentados en el material

	Sí	No	Otro ¹
a. ¿Le resultaron motivadores para iniciar las actividades propuestas?			
b. ¿Le facilitaron el desarrollo de contenidos curriculares que usted tenía previstos?			
c. A su criterio, ¿están vinculados con el recurso didáctico que se le propone desarrollar?			
d. ¿Le facilitan la organización de situaciones didácticas para el trabajo de los contenidos científicos y tecnológicos propuestos?			
e. El nivel de las situaciones problemáticas que se plantean, ¿es el adecuado al nivel educativo para el que está previsto?			
f. En caso negativo, ¿permiten adecuaciones para ser trabajados en el nivel educativo de sus alumnos o en otro nivel educativo?			
g. Los testimonios iniciales, ¿permiten generar diferentes soluciones (soluciones tecnológicas o didácticas)?			

En caso que su respuesta sea negativa (en cualquier ítem), le pedimos que nos indique por qué (señale el número del ítem a que corresponde su comentario).....

.....

.....

.....

.....

.....

Otro (indique el ítem al que corresponde el comentario):

.....

.....

.....

.....

.....

¹ Utilice esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la matriz.

3.2. Estrategias

A partir de la utilización de las propuestas de trabajo en el aula contenidas en el material y del recurso didáctico con el que se asocian, le solicitamos que nos indique (tomando como referencia su forma de trabajo anterior a disponer del material), cómo resolvió las actividades consignadas en la tabla siguiente:

3.2.1. Contextualización de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado ²	Incorporado ³
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
a. Determinar las capacidades, habilidades, conocimientos previos necesarios para iniciar las actividades propuestas.				
b. Organizar, asociar, relacionar los conocimientos científicos y tecnológicos para resolver un problema tecnológico.				
c. Recortar (identificar) los contenidos científicos y tecnológicos a trabajar con sus alumnos para el desarrollo de un sistema/producto tecnológico como el propuesto por el material.				
d. Vincular estos conocimientos con los saberes previos de los alumnos.				
e. Establecer la secuencia adecuada de los contenidos científicos y tecnológicos, y de los procedimientos para generar una solución tecnológica (la propuesta por el material u otra diferente).				
f. Organizar una experiencia didáctica integrando conocimientos científicos y tecnológicos, metodología de resolución de problemas y procedimientos propios del trabajo tecnológico.				
g. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

² No aplicado: No lo hizo antes ni ahora con este recurso didáctico.
³ Incorporado: Integró la estrategia a sus clases a partir de la utilización del recurso didáctico propuesto.



3.2.2. Desarrollo de la estrategia didáctica	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
h. Encuadrar la tarea a partir de la formulación de uno (o varios) problemas.				
i. Explicitar consignas de trabajo que plantean una situación problemática.				
j. Organizar las actividades de aprendizaje atendiendo a las etapas propias de la resolución de problemas.				
k. Utilizar técnicas de trabajo grupal.				
l. Promover el trabajo colaborativo y cooperativo.				
m. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

3.2.3. Aspectos cognitivos (proceso de aprendizaje de sus alumnos)	Mejor	Igual	No aplicado	Incorporado
Con respecto a su forma habitual de trabajo, usted logró:				
n. Estimular a sus alumnos en la búsqueda de información e investigación en torno al problema eje del material.				
o. Promover la consulta a variadas fuentes de información.				
p. Rescatar, incorporar los aportes del grupo para identificar aspectos o variables críticas del problema.				
q. Evaluar los conflictos cognitivos propios del proceso de aprendizaje.				
r. Detectar, evaluar, la comprensión asociativa.				
s. Promover la reflexión sobre las actividades realizadas y las estrategias utilizadas en cada parte del proceso.				
t. Otras (que haya incorporado o hecho mejor con el recurso).				

4.1. Construcción del recurso didáctico

4.1.1. Utilizó:

- Si su respuesta fue “d.” indíquenos la razón, por favor:

[illegible]

4.1.2. ¿Realizó todo el proceso de construcción del recurso didáctico con sus alumnos? (Conteste este apartado en caso de que haya construido un equipo igual al propuesto. En caso contrario, pase al apartado 5 “Documentación”)

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.1.3. En caso de que su respuesta sea afirmativa, le pedimos que nos indique:

	Sí	No
a. ¿Pudo seguir sin dificultades los procedimientos indicados en el “Manual de construcción”?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. La secuencia indicada, ¿fue la adecuada para la construcción?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. El grado de complejidad, ¿fue el apropiado para el nivel educativo a que se dirige el recurso?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Los contenidos científicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Los contenidos tecnológicos asociados, ¿son pertinentes para el desarrollo del recurso propuesto?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Con sus alumnos, ¿construyó el recurso didáctico siguiendo el proceso y la metodología de resolución de problemas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. ¿Siguió todos los procedimientos propuestos para la construcción pero incorporó sus propios contenidos científicos y tecnológicos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Por el contrario, ¿hizo adaptaciones en los procedimientos de construcción pero mantuvo los mismos contenidos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. ¿Realizó la construcción siguiendo las actividades de aula propuestas en el material?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. ¿Diseñó sus propias experiencias en función de su grupo de alumnos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Completó todas las etapas del proceso de construcción propuesta?

En caso negativo, indíquenos a qué fase llegó:

a. <input type="checkbox"/> Planificación.	b. <input type="checkbox"/> Diseño en dos dimensiones.
c. <input type="checkbox"/> Construcción, armado.	d. <input type="checkbox"/> Ensayo y control.
e. <input type="checkbox"/> Superación de dificultades (evaluación del funcionamiento, siguiendo las indicaciones y la lista de control que brinda el material).	
f. <input type="checkbox"/> Construcción de otro equipo que se adapta más a sus necesidades curriculares (Si marcó esta alternativa, lo invitamos a responder, directamente, el apartado 4.1.5.).	

4.1.6. ¿Qué características específicas destacaría en este recurso didáctico diferente al propuesto por el material, que sus alumnos han construido. (Marque todas las opciones que considere necesarias):



a. ☐ Se ajusta mejor a los contenidos curriculares que necesita trabajar.

b. ☐ Es más económico.

c. ☐ Permite su reutilización (mediante el desarme y armado, en función de necesidades didácticas).

d. ☐ Es más adaptable (a diversos usos).

e. ☐ Otra (Por favor, especifique):

.....

.....

.....

.....

f. Descripción del recurso didáctico construido:

.....

.....

.....

.....

.....

g. Indique las principales diferencias con el equipo propuesto (estructurales, funcionales, didácticas):

.....

.....

.....

.....

.....

4.2.1. ¿Cómo utilizó el recurso didáctico (hecho por usted o ya construido), en las experiencias didácticas que concretó? (Puede marcar todas las opciones que crea necesarias)

-
- This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



4.2.2. Ya sea que haya desarrollado el recurso didáctico con sus alumnos según las especificaciones del material, ya sea que haya construido otro diferente o que haya utilizado un equipo ya construido, en relación con las actividades que usted venía realizando, la utilización del recurso didáctico propuesto por el material le permitió (seleccione la opción que coincida con sus experiencias):

Con respecto a su forma habitual de trabajo, este recurso didáctico le permitió a usted, como docente:	Mejor	Igual	No aplicable ⁴	Otro ⁵
a. Integrar contenidos científicos y tecnológicos en la solución de situaciones problemáticas de carácter tecnológico.				
b. Diseñar situaciones de enseñanza y de aprendizaje centradas en la resolución de problemas tecnológicos.				
c. Planificar y promover en sus alumnos la organización del trabajo (planificación y secuenciación de tareas), según el proceso tecnológico.				
d. Favorecer la identificación de aspectos o variables críticas de una situación problemática.				
e. Organizar las actividades de manera que facilite la toma de decisiones por parte de los alumnos (determinación y selección de alternativas, opciones de diseño, materiales, etc.).				
f. Organizar la actividad de sus alumnos en función de soluciones diversas a los problemas planteados.				
g. Agregue otras que usted considere haber logrado de una mejor manera con este recurso didáctico				

⁴ NA: No aplicable; es una actividad que no realizó antes ni ahora.

⁵ Otro: Recuerde utilizar esta opción para indicar que agregará comentarios al final de este sector de la tabla.

[illegible]

[illegible]

Capacidad de aplicar y transferir	Mejor	Igual	No aplicable	Otro
s. Interrelacionar los datos, técnicas y procedimientos en el diseño de la solución.				
t. Utilizar técnicas de representación adecuadas al equipo que se construye o en el ya construido que se utiliza.				
u. Integrar los conocimientos científicos y tecnológicos en los momentos pertinentes para el diseño de la solución.				
v. Relacionar, ensamblar componentes en la secuencia adecuada.				
w. Utilizar de manera correcta la simbología y los lenguajes propios de la tecnología (representación gráfica, simbólica, etc.).				
x. Transferir conocimientos científicos y tecnológicos en otras actividades similares.				
y. Agregue otras que considere que sus alumnos alcanzaron mejor con este recurso didáctico				

Otro (Por favor, exprese aquí los comentarios que tenga, identificando el ítem con la letra que corresponda):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



5. Documentación (Material teórico, manual de procedimientos y propuestas didácticas):



5.1. ¿Cómo calificaría los aportes del material recibido (encuadre y desarrollo teórico, y experiencias propuestas para el aula)?

	MV ⁶	V	PV
a. Por su potencialidad didáctica (sugerencias, propuestas de trabajo en el aula, papel motivador, etc.).			
b. Para sus necesidades curriculares (desarrollo de los contenidos y experiencias previstas en su planificación).			
c. Para organizar, planificar, concretar experiencias didácticas relacionadas con problemas de Educación Tecnológica.			
d. Para renovar, actualizar, ampliar (subraye el que se ajusta más a su experiencia) los contenidos que desarrolla en su área/ disciplina.			
e. Para trabajar conocimientos científicos y tecnológicos de manera asociada a un problema tecnológico.			
f. Para organizar experiencias de aprendizaje en torno a la utilización de recursos didácticos.			
g. Para utilizar un recurso didáctico en el marco de experiencias didácticas organizadas en función de la resolución de problemas.			
h. Para integrar mejor contenidos científicos y tecnológicos en la solución de problemas de carácter tecnológico.			
i. Para estimular la generación creativa de otros recursos didácticos.			

Otras (Especifíquelas, por favor)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

⁶ Escala= MV: Muy valioso / V: Valioso / PV: Poco valioso

5.2. Manual de procedimientos para la construcción y el funcionamiento del recurso didáctico

En caso de que haya seguido los procedimientos contenidos en el Manual (ya sea para hacer un equipo igual o uno diferente al propuesto), le pedimos nos indique si:

	Sí	No	Otro
a. ¿Pudo seguir todos los procedimientos descritos, sin dificultad?			
b. ¿La secuencia descrita le resultó la adecuada?			
c. ¿La secuencia establecida le planteó alternativas según algún criterio (disponibilidad de los materiales, trabajo de contenidos específicos, etc.)?			
d. ¿La finalidad (para qué sirve) del equipo está indicada con claridad?			
e. ¿Se establecen cuáles son los contenidos (científicos o tecnológicos) que se asocian al equipo a construir?			
f. ¿Se determina la relación entre conocimientos implicados, procedimientos a seguir, materiales a utilizar y experiencias posibles de realizar?			
g. ¿Considera que la relación anterior es pertinente (es la que corresponde) para la construcción que se propone?			
h. ¿La descripción de los procedimientos le facilitaron la organización de las experiencias de trabajo con sus alumnos?			
i. ¿Pudo seguir las indicaciones para la puesta en funcionamiento?			
j. ¿Todas las indicaciones para el uso son claras?			

Por favor, fundamente sus respuestas negativas o agregue los comentarios que crea pertinentes (identifique el ítem a que se refiere):

.....

.....

Otro (identifique con la letra que corresponda el ítem sobre el que hace observaciones)

.....

.....

.....



	Sí	No
a. Simplicidad. Es sencillo de construir por parte de los alumnos.		
b. Economía. Es posible hacerlo con materiales de bajo costo.		
c. Compatibilidad. Todos los componentes, bloques y sistemas permiten ser integrados entre sí.		
d. Acoplabilidad. Puede ser unido o combinado con otros recursos didácticos.		
e. Sencillez. Permite combinar diferentes tipos de materiales (madera, cartón, plástico, otros similares).		
f. Facilidad de armado y desarmado. Permite, sencillamente, realizar pruebas, correcciones, incorporación de nuevas funciones, etc.		

[illegible]

6.2. Técnicas (Por favor, complete tanto si construyó el equipo como si utilizó uno ya construido)

	Sí	No
a. Portabilidad. Puede ser utilizado en el taller, aula, laboratorio.		
b. Modularidad. Puede ser adaptado a diversos usos; para trabajar diversos contenidos curriculares o para realizar diferentes experiencias didácticas; para aprendizaje, demostraciones, análisis, etc.		
c. Reutilización. Posee partes, componentes, bloques o subsistemas que pueden ser desmontados para volver a su estado original, y usados en sí mismos o en forma independiente.		
d. Incrementabilidad. Puede complejizarse agregando piezas o completando el sistema para mejorar su funcionalidad, rendimiento, precisión o calidad.		
e. Aplicabilidad múltiple. Como sistema tecnológico, permite que usted seleccione las variables con las que desea trabajar (algunas de las que maneja el sistema, todas las previstas o agregar otras).		

Si su respuesta es negativa en alguna de ellas, indique por qué, identificando su comentario con la letra correspondiente:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



[illegible]

7. Otras características del material teórico:

¿Cómo calificaría el diseño del módulo escrito (desarrollo de contenidos científicos y tecnológicos, y propuestas de experiencias didácticas)?

	MB ⁷	B	R	M
a. Formato gráfico del material (distribución del contenido, márgenes, distribución de texto e imágenes, inserción de gráficos, diseño gráfico global, etc.).				
b. Lenguaje utilizado (claridad, adecuación al destinatario).				
c. Organización (secuencia entre cada parte).				
d. Adecuación al destinatario (evidencia que se toma en cuenta que es un material para ser trabajado en un ámbito escolar).				
e. Pertinencia de los conocimientos científicos con las problemáticas planteadas.				
f. Pertinencia de los conocimientos tecnológicos con las problemáticas planteadas.				
g. Vinculación (pertinencia) del recurso didáctico que propone con las situaciones didácticas planteadas.				
h. Congruencia (vinculación) de los contenidos propuestos con el recurso didáctico.				
i. Aporte metodológico para enriquecer sus estrategias didácticas.				
j. Aporte teórico (en general) para su trabajo docente.				
k. Valor motivador para el trabajo con sus alumnos.				
l. Valor orientador para generar sus propios recursos didácticos.				
m. Concepción innovadora para el trabajo didáctico en la educación técnico-profesional.				

Si marcó la opción “Malo”, le pedimos que nos explique por qué:

.....

.....

.....

⁷ Escala= MB: Muy bueno / B: Bueno / R: Regular / M: Malo

8. Propuestas o nuevas ideas:



Tanto para los autores de este material, como para el CeNET como institución responsable de su elaboración y distribución, una de las finalidades más importantes es suscitar en los educadores nuevas ideas, aplicaciones o propuestas creativas a partir de la lectura o el trabajo con el módulo.

En función de ello, le solicitamos que nos indique:

Si a partir del módulo (contenido teórico y recurso didáctico) usted, en su calidad de (marque todas las opciones que correspondan):

a. ☐ docente a cargo de un grupo de alumnos

b. ☐ directivo

c. ☐ responsable de la asignatura:

d. ☐ lector del material

.....

e. ☐ otro (especifique):

.....

.....

ha generado nuevas ideas o propuestas:

Respecto de los contenidos (independientemente del recurso didáctico):

	Sí	No
a. Organización de su asignatura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Contenidos científicos y tecnológicos (formas de asociarlos, ampliarlos, desarrollarlos, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Planificación de las experiencias didácticas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Trabajo con resolución de problemas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Otras (Por favor, especifique en qué ámbitos ligados con los contenidos ha generado estas nuevas ideas o propuestas):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Si su respuesta fue afirmativa le pedimos que la amplíe:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



En relación con el recurso didáctico. Le pedimos que nos relate (libremente) las nuevas ideas o propuestas que el trabajo con este material le ha suscitado:



Sí	No

¿Puso en práctica alguna de estas ideas o propuestas?

¿Cuál/es? ←

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

En caso negativo, por favor, indíquenos por qué:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Títulos en preparación de la serie “**Desarrollo de contenidos**”.

- Colección: **Tecnología química en industrias de procesos**
 - El aire como materia prima
 - El azufre como materia prima
 - Los minerales como materia prima –bauxita y minerales de hierro

- Colección: **Construcciones**
 - Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas
 - Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento

- Colección: **Telecomunicaciones**
 - Técnicas de transmisión banda base aplicadas a redes LAN y WAN
 - Cálculo de enlaces alámbricos

- Colección: **Materiales**
 - Fundamentos y ensayos en materiales metálicos

- Colección: **Tecnología en herramientas**
 - Historial de las herramientas de corte
 - Diseño y fabricación de herramientas de corte

- Colección: **Electricidad, electrónica y sistemas de control**
 - Instalaciones eléctricas
 - Familia TTL (Lógica transistor-transistor)
 - Familia lógica CMOS



MINISTERIO *de*
EDUCACIÓN
CIENCIA y TECNOLOGÍA
PRESIDENCIA *de la* NACIÓN



Argentina

ineti
*Instituto Nacional de
Educación Tecnológica*