

mentar sustancialmente su producción argentífera.

#### "METALS WEEK"

El Metals Week recientemente ha publicado un artículo referido a los notables incrementos que se esperan para la producción aurífera de Brasil, y cuyo extracto agregamos a este trabajo, por su interés.

Los comerciantes privados del oro, los banqueros y corredores estiman que la producción oficial registrada de oro aumentará en más del triple a raíz de una autorización gubernativa, implantada el 15 de diciembre, que les permite comprar oro directamente de los productores independientes.

La acción del Gobierno ha terminado con el derecho exclusivo del Banco Federal de Ahorros para comprar de los "Garimpeiros" —productores que operan en las corrientes de agua de la jungla brasileña— a precios fijados por el Gobierno, deduciendo los impuestos. De-

bido a los bajos precios que el Banco Federal de Ahorros estaba ofreciendo por el oro y en vista de los elevados impuestos, más de la mitad de la producción brasileña de oro había salido del país en forma de contrabando, desde que el metal fue descubierto durante el siglo pasado.

Una reducción preliminar de los impuestos decretada por el Gobierno en septiembre de 1987, casi logró triplicar la producción registrada en octubre. José Barbosa Mello, director de la recientemente constituida Asociación de Productores, Comerciantes y Compradores de Oro, informó que la producción oficial —incluyendo la de las minas subterráneas de grandes compañías, como "Morro Velho" de Anglo American —ascendió antes de septiembre a un término medio mensual de sólo 1,4 toneladas métricas pm. El aumento de la producción oficial en el mes de octubre alcanzó a 4 toneladas métricas. Dicho incremento procedía primordialmente

de los Garimpeiros considerando que la producción de las grandes compañías es registrada, gravada con impuestos y vendida en su mayor parte al Banco Central del Gobierno.

Antes de entrar en vigencia las nuevas normas oficialmente, los agentes del Banco de Ahorros del Gobierno efectuaban todas las compras de los Garimpeiros en recintos de la jungla tropical como "Serra Pelada", una gran operación a tajo abierto en el Estado Septentrional de Para. Allí, unos 20.000 Garimpeiros explotaban por los menos 7 toneladas métricas al año.

Una fuente gubernativa informó que mientras Brasil producía oficialmente 25,6 toneladas métricas en 1986, la producción efectiva probablemente alcanzaba a 80 toneladas métricas, siendo la diferencia vendida informalmente fuera del país. Del total de las 25,6 toneladas métricas oficiales, los Garimpeiros producían oficialmente 16,3 toneladas métricas, mientras que las compañías 9,37 toneladas métricas.

## Alternativa para procesos mineros

# ENERGIA EOLICA

*Autores de este trabajo:*

*Guillermo Catalán M.  
Departamento de Ingeniería  
Mecánica. Facultad de Ciencias  
Físicas y Matemáticas. Universidad  
de Chile. Xpert, Ingeniería y  
Producción Ltda.*

*Jorge Romo  
Departamento de Ingeniería  
Eléctrica. Facultad de Ciencias  
Físicas y Matemáticas.  
Universidad de Chile.*

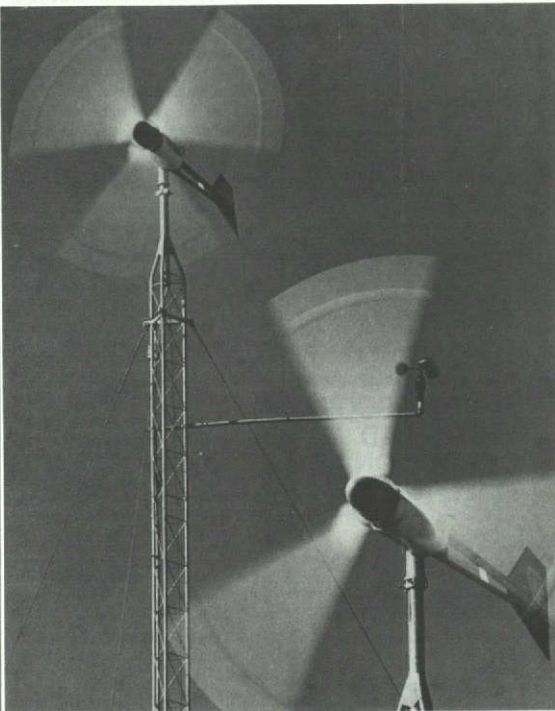
*El aprovechamiento de la energía del viento es particularmente atractivo en nuestro país, reconocido mundialmente como uno de los de mayor potencial eólico.*

*El gran desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido que el uso de los molinos de viento se extienda a la generación eléctrica de potencias cada vez más elevadas, haciendo atractivo su uso en procesos industriales o de minería.*

*En este artículo se presentan algunas consideraciones generales sobre las características y evaluación de la energía eólica y aerogeneradores.*

Desde los comienzos de la historia, el hombre ha hecho uso de la energía del viento en tareas que mejoran la calidad de su vida. Es así como en China y Persia, mucho antes de nuestra era, se utilizaban molinos de viento para moler granos y elevar agua desde pozos. Con el tiempo, los molinos se desarrollaron en diferentes lugares, siendo ampliamente utilizados en Europa y luego en América.

Durante el último siglo, el enorme avance tecnológico ha permitido la construcción de aerogeneradores de gran tamaño, capaces de captar y



proporcionar grandes potencias eléctricas. El desarrollo de este tipo de máquinas se ha visto estimulado a partir de la crisis energética de 1973 y porque, desde entonces, el hombre ha tomado clara conciencia de la necesidad de buscar fuentes de energía "renovables" ante el peligro cierto del agotamiento de los recursos fósiles no renovables. La atmósfera terrestre opera como un

"motor térmico" alimentado por el sol, que genera los vientos debido a la transferencia de energía calórica. Mientras exista el sol se dispondrá de este recurso. Estimaciones conservadoras permiten calcular una potencia disponible de 10 millones de MW, 10 veces superior a la potencia hídrica disponible en la tierra.

El aprovechamiento de la energía eólica es especialmente atractivo en países como el nuestro. Chile es reconocido como uno de los lugares del mundo de mayor potencial de energía eólica, particularmente en la zona costera y en el extremo sur del país, como puede apreciarse en el mapa de recursos eólicos mundiales de la Figura 1.

Los usos más frecuentes de los molinos de viento, en la actualidad, son el bombeo de aguas subterráneas, la producción de energía eléctrica en comunidades aisladas, energía para ayudas marinas, estaciones remotas y meteorológicas, generación para protección catódica de equipos o piezas subterráneas y, en los últimos 20 años, la generación a gran escala con generadores acoplados a las redes de distribución eléctrica. Cabe indicar que actualmente las potencias desarrolladas por aerogeneradores van desde los 15 kW

hasta 1.2 MW, con hélices de dos o tres palas con diámetros entre 20 y 53 m, aprovechando vientos de 6 a 15 m/s, lo que hace interesante su uso en procesos industriales o de minería, donde es posible obtener ahorros significativos de energía.

La generación de electricidad a partir del viento requiere conocer la magnitud del potencial eólico en el lugar de interés y diseñar o especificar adecuadamente el aerogenerador necesario.

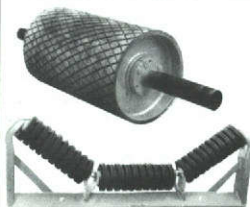
### CARACTERISTICAS

Como se mencionó, una característica fundamental de la energía eólica es la de ser un recurso renovable. Pero, además, tiene la gran ventaja de ser una fuente no contaminante y, a diferencia de la energía obtenida por combustión, no genera ningún tipo de gas ni libera calor. La polución audible puede

mantenerse en niveles extremadamente bajos.

Una característica importante de la energía eólica es su discontinuidad, debido a que los vientos son esencialmente de intensidad y dirección variables. Esto conduce, en muchos casos, a la necesidad de acumulación de energía para los momentos en que no hay viento o cuando éste es insuficiente para poner en marcha el generador. En el caso de pequeños generadores la acumulación se hace en baterías. Para grandes generadores eléctricos (100, 200 kW o más) la acumulación no es factible por razones económicas. Sin embargo es posible, en lugares donde existe una red de distribución eléctrica, operar con el generador acoplado a la red, entregando energía a ésta cuando hay viento y extrayéndola cuando no lo hay. Este sistema puede llegar a ser altamente atractivo en industrias y

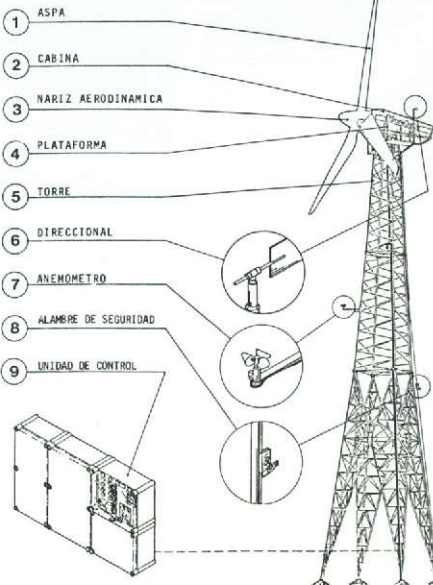
**CUANDO ESCOJA  
CALIDAD  
LA ELECCION ES  
REVESOL**



**REVESOL**

LOS 3 ANTONIOS 2170 ☎ 2250421 - 747191  
CASILLA 465 V-21 - TELEX 346187 REVESOL CK

PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE 55 KW





plantas mineras, debido a la economía de energía que representa.

## EVALUACION DE LOS RECURSOS EOLICOS

La evaluación del recurso comienza con la elección del lugar adecuado para la instalación de este tipo de molinos. Obviamente, la primera condición que debe satisfacer el sitio es la de ser ventoso. Información sobre los vientos en regiones determinadas pueden obtenerse de los registros de las estaciones meteorológicas cercanas y si el sitio parece interesante, puede realizarse una campaña de mediciones locales de viento durante períodos más o menos largos de tiempo. Es importante también realizar un estudio detallado del lugar para determinar el sitio más adecuado para la instalación del molino; por ejemplo, los estrechamientos de valles o colinas y verificar que no existan obstáculos que impidan el paso del viento o generen torbellinos que entorpezcan una buena operación. Un dato importante a obtener es la velocidad media anual del viento, puesto que define, en última instancia, la potencia promedio que podrá extraerse del sistema. Hay que recordar que la potencia es proporcional a cubo de la velocidad. Velocidades medias registradas de más de 5 m/s indican un lugar promisorio para la generación eoloelectrónica.

Desde el punto de vista del diseño, es necesario definir el rango de velocidades de viento dentro de los cuales la operación es posible. Para velocidades sobre este rango, el molino deberá disponer de algún sistema de protección automático para evitar esfuerzos demasiado grandes sobre las palas o la estructura, que pueden dañarlo (velocidad de puesta en "bandera"). Esto se obtiene habitualmente con palas de orientación variable, con respecto a la velocidad del viento.

## LOS AEROGENERADORES

Las partes esenciales de un aerogenerador son la turbina eólica, que capta la energía del viento, el gene-

rador eléctrico y un sistema de transmisión mecánico para transferir la energía mecánica del eje de la turbina al eje del generador. Adicionalmente, el aerogenerador dispone de diversos elementos como sistemas de control y orientación, etc. A la fecha se han desarrollado diversos tipos de turbinas eólicas, siendo la más utilizada la del tipo hélice. En la figura 2 se ilustra un aerogenerador con este tipo de turbina, indicando sus partes principales.

La energía del viento, incidente sobre el plano de la hélice, es proporcional al cuadrado del diámetro de ésta y al cubo de la velocidad del viento. Así, para generar valores razonables de energía, son necesarias hélices de considerables dimensiones ubicadas sobre altas torres donde la velocidad del viento es mayor y menos perturbada. Para evaluar la potencia eléctrica que se puede obtener en los terminales de un generador, es necesario considerar las eficiencias de la turbina, del sistema de transmisión y del generador, lográndose eficiencias globales cercanas al 30%. A modo de ejemplo, se puede determinar que para una velocidad de viento de 6 m/s con una hélice de 4 m de diámetro, es posible generar alrededor de 400 W y con la misma hélice, pero con un viento de 12 m/s, se generarán aproximadamente 3,2 kW.

La generación puede ser en corriente continua (c.c.) o en corriente alterna (c.a.). Un aspecto importante es el control del sistema para generar la potencia adecuada con una tensión de magnitud constante y, en el caso de c.a., de frecuencia constante, a pesar de las variaciones del viento y del consumo. Para esto se han desarrollado tanto sistemas de control mecánico (inclinación variable de las aspas) como sistemas de control eléctrico (carga eléctrica, corriente de excitación del generador, etc.). En la mayoría de los casos se requiere c.a., siendo lo más frecuente el uso de generadores sincrónicos trifásicos, cuyas velocidades de operación nominal son altas (del orden de 1000 rpm) comparadas con la velocidad normal de giro de la hélice (aprox. 100 rpm), lo

que hace necesario incluir en el sistema de transmisión un cambiador de velocidad (caja de engranajes u otro).

El aerogenerador puede operar aislado de los sistemas eléctricos convencionales, alimentando pequeños consumos. En este caso, es necesario mantener una tensión de magnitud y frecuencia constantes y disponer de un sistema de almacenamiento (baterías) para acumular energía en las horas de alta producción y utilizarla en las horas de viento insuficiente. Por otra parte, aerogeneradores de gran potencia pueden operar conectados a un sistema eléctrico, en paralelo con otros sistemas convencionales. En este caso, la frecuencia de la red impone la velocidad de giro de la hélice, de manera que variaciones en la velocidad del viento se traducen en variaciones de la potencia entregada por el aerogenerador al sistema eléctrico. Así, en las horas de mayor viento el aerogenerador entregará una potencia considerable, pudiendo ahorrarse combustible en las centrales convencionales.

## ALGUNOS ASPECTOS ECONOMICOS

En el caso de los aerogeneradores, para una potencia de generación dada, el criterio para la elección de la velocidad de operación nominal será la obtención del menor costo posible por kWh.

Determinada la velocidad media del viento, debe analizarse la frecuencia de ocurrencia de los valores extremos, es decir, los máximos y mínimos. Bajas velocidades, con respecto a la media, pueden ser frecuentes, pero la potencia útil a extraer será pequeña, lo que indica que no es necesario imponer una velocidad de arranque (velocidad a partir de la cual la hélice se pone en movimiento) demasiado baja. Velocidades de arranque pequeñas implican un número elevado de palas, encareciendo el costo del aparato. Por otro lado, velocidades altas con