CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

28882

1099

III

CATALOGADO

TOMO III

UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA PARA EL ABASTECIMIENTO ELECTRICO

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES BIBLIOTECA Dr. Manuel Belgrano

Expte. N° 553 -Plan de Desarrollo Energético en base a fuentes No Convencionales.

GERENCIA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

AREA: ABASTECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA ENERGIA.

SUB-AREA: FUENTES DE ENERGIA NO CONVENCIONALES.

TECNICO: ING. L. BARREDO.

I N D I C E

	Pág.
1. Introducción	1
2. Aspectos Históricos	3
3. Máquinas Eólicas	7
Fórmula de Betz	8
4. El Recurso Eólico	10
Circulación general de la atmósfera	
5. Rentabilidad de los Eologeneradores	17
Usuario Privado	18
Empresa de Servicios Públicos	19
6. Fuentes de Financiación	23
Fondos Nacionales	24
Fondos de Investigación	25
7. Planificación en las instalaciones	
Instalación del eologenerador	26
Elección de sitio de emplazamiento	27

1. INTRODUCCION

Distintas fuentes de energía han ido sucediéndose en primacía a través de los tiempos. Cada era energética tuvo su culminación y cedió luego su importancia al arrivar un nuevo desarrollo tecnológico,ofreciendo energía a menor precio ó cualitativamente superior. Así, en forma regresiva, situándonos actualmente en la cresta de la era energética petrolera y en el comienzo de la era energética nuclear, podemos distinguir una era energética del carbón y anterior a ella la era energética de la madera.

La leña cubrió los primeros requerimientos energéticos del hombre: la producción de calor y luz. Las primeras demandas de energía para fuerza y movimiento revelaron al hombre la existencia de dos fuentes naturales hasta entonces no exploradas: la energía hidráulica y la energía eólica. Las ruedas hidráulicas de los asirios y egipcios y la invención de la vela para impulsar los navios marcaron el inicio de un desarrollo tecnológico que aún continúa.

A partir de esa época los requerimientos energéticos se multiplican hasta llegar en los últimos 150 años a crecer a un ritmo impetuoso, con aplicaciones de la energía en todos los campos de actividad. La energía eléctrica pasa a ocupar el carácter de bien de cambio energético. Sus posibilidades en lo que hace a transporte, distribución o utilización colocan a la misma en el epicentro de la demanda de energía. Al analizar ahora los recursos energéticos para su utilización masiva, nos guiamos generalmente por sus posibilidades de convertibilidad en energía eléctrica.

El uso de la energía eólica adquiere un máximo relativo de preponderancia mucho antes de la aparición de la energía eléctrica, cuando se descubre que las velas podían usarse también en tierra firme para impulsar los molinos. El molino de viento es en Europa en el Siglo XV la fuente de energía principal para la molienda de granos y el trasvase de agua. La construc

ción de molinos de viento exige resolver problemas técnicos novedosos: la transmisión del movimiento entre ejes perpendiculares, la regulación de la velocidad, la inercia del conjunto, la selección del emplazamiento y su orientación, la velocidad máxima permitida por las estructuras y otros más que reaparecerán en los diseños actuales. La potencia de las unidades alcanza unos 10 kW, suficiente para las necesidades pero no siempre disponible oportunamente, por lo que la rueda hidráulica, con mayores posibilidades, gana rápidamente la primacía y el uso del molino de viento queda restringido a las zonas costeras del Norte de Europa.

La máquina de vapor irrumpe en escena dando inicio a la era industrial. El carbón y luego el petróleo transforman al molino de viento tradicional en una curiosidad tecnológica del pasado. Pero la industrialización de la producción, hace resurgir el molino de viento transformándolo en una torre metálica de perfiles esbeltos. Al adoptar las técnicas de la fabricación seriada, se abaratará su costo y se hará factible su traslado, exportación y difusión en las praderas de Estados Unidos, Canadá, Australia, Argentina. El bombeo de agua y su almacenamiento con una máquina relativamente sencilla, que no requiere combustible, sin contaminación y escaso mantenimiento, constribuye significativamente al desarrollo de la ganadería y la agricultura en vastas áreas geográficas.

Los molinos de viento que llamaremos de segunda generación, traen consigo innovaciones tecnológicas importantes, tales como la veleta que permite orientarlos, la caja de reducción, las aletas rígidas y otras.
Su potencia disponible, de algunos kW, resultan ideal para los requerimientos. La eficacia de estos molinos es tal que han resistido exitosamente por más de un siglo las distintas competencias tecnológicas.

Los requerimientos de energía eléctrica son tal, que pronto se piensa en la producción de la misma y surgen los molinos de tercera generación, los molinos eléctricos. Los resultados son varios, desde un cargador de baterías de algunas centenas de Watts hasta los generadores eólicos actuales que llegan a 4000 kW.

2. ASPECTOS HISTORICOS

A partir de la utilización de la vela en las embarcaciones en el río Nilo, hace 5000 años, se fue desarrollando el uso de la energía eólica en molinos de granos (Persia 100; A.C.) y luego en instalaciones dedicadas al bombeo de agua.

Introducidos en el siglo XI en Europa por los cruzados, se desarrollaron especialmente sobre las costas del Atlántico y en las grandes planicies europeas. Con el uso de centenas de molinos para bombeo de agua se disecan amplios terrenos en el delta del río Rhin. Los molinos para granos, con potencia de 40 a 80 HP se transforman en las primeras centrales de energía conocidas. Holanda llega a tener 9000 molinos de viento en el Siglo XIX. Con la imprenta se impulsa la demanda de papel y aparecen los molinos dedicados a la producción del mismo. El desarrollo de molinos realizados en metal, fáciles de transportar y armar permite la difusión a nivel mundial.
Solo en Estados Unidos se llegan a fabricar 6 millones de molinos para bombeo de agua. En los países de agricultura y ganadería extensiva como Canadá, Australia, Centro de Europa, Estados Unidos y Argentina se instalan millones de unidades. Los molinos para bombeo de agua comienzan a fabricarse en el país desde década del 30 según diseños que se mantienen casi inalterados hasta el momento.

Con la aparición del automóvil con sistema eléctrico basado en una bateria y un dínamo para cargar la misma, se comienzan a utilizar estos componentes para construir molinos destinados a la generación de energía eléctrica. El aumento en el número de revoluciones exigido por los dínamos de automóvil hace necesario recurrir a molinos con palas más delgadas, de diseño aerodinámico, del tipo utilizado en los pequeños aviones monomotores que también surgen en la época. La bateria eléctrica pasa a constituirse en la reserva de energía que permite el uso de radios e iluminación en las viviendas rurales. Los molinos generadores de electricidad o aerocargadores de electricidad se fabrican en serie en Estados Unidos, Europa y también en la Argentina, según modelos tradicionales, generalmente del orden de 600 W, con pa

las talladas en madera. Al utilizarse componentes extraídos de la industria automotriz, se populariza el uso de 6 Volts de tensión, con su batería correspondiente. Luego de la segunda guerra mundial, siguiendo los pasos de la industria automotriz se pasa al uso de 12 Volts.

Estos aerocargadores sufren la competencia del uso de pilas eléctricas en equipos electrónicos que el uso de transistores, a partir de los años 60, reducen notablemente su consumo de energía y por otra los efectos de vientos excesivos que los afectan si no se presta atención a su emplazamiento y mantenimiento.

La difusión de los aerocargadores inspiró el desarrollo de molinos generadores de electricidad de gran potencia. Pero en este caso el desarrollo fue más lento. Los grupos generadores con motores térmicos y el combustible con precios en declinación y con una mejor red de distribución compitieron con éxito en el rango de potencias del orden de decenas de kW.

Los ensayos realizados en Europa en la década del 30, con molinos de hasta 30 metros de diámetro no prosperan comercialmente. En 1929 el francés George Darrieus patenta un modelo de turbina eólica, de eje vertical, con ciertas ventajas relativas sobre los más tradicionales molinos de eje horizontal.

En 1941, se intenta en Estados Unidos la generación a gran escala, 1250 kW, para una empresa de servicios públicos eléctricos. Esta experiencia, relatada magnificamente por su creador, no llega a prosperar debido a los bajos costos del combustible en la postguerra. Si bien hubo dificultades mecánicas, las mismas eran perfectamente salvables. El diseño de las palas, de 8 Tn de peso cada uno estaba inspirado más en el cálculo de estructuras que en la aerodinámica. El éxito relativo de este molino creado por Palmer Coslett Putnam estimuló el desarrollo de varios tipos de máquinas generadoras, en Alemania, Francia, Dinamarca e Inglaterra. Se pusieron en servicios instalaciones de hasta 200 kW con resultados diversos. Para fines de la década del 60 las experiencias con generadores eólicos de gran potencia esta-

ban casi olvidadas. No existían las justificaciones económicas que motivaron la explotación de la energía eólica ya que el costo del petróleo estaba en un mínimo histórico.

A partir del año 72 y con la escala de precios del petróleo crece paralelamente el interés mundial por el uso del "recurso renovable viento". Las primeras unidades de gran potencia experimentales comienzan a instalarse a partir del 76. En poco tiempo se desarrollan unidades de fabricación seriada; existiendo hasta el presente experiencias de unidades de hasta 4000 kW de potencia. En general estas unidades se generan en corriente alterna, con generadores sincrónicos para las grandes unidades y asincrónicos en las pequeñas.

En nuestro país, el influjo de la aparición en el mercado mundial de unidades de generación eólica de potencia cada vez mayor, se despierta en distintos sectores el interés por el tema. Se inician tareas científicas respecto del tema en institutos de investigación militares, acompañados por el desarrollo de prototipos.

Se instala en Comodoro Rivadavia un primer generador eólico de cierta potencia, 20 kW. La Provincia del Chubut llama a concurso en 1981 para la instalación de 80 kW en Puerto Pirámides en base a extensas mediciones realizadas por el Centro Nacional Patagónico con el apoyo de la entonces Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología. En este proyecto colaboran la Dirección de Energía Provincial y Agua y Energía Eléctrica. También existen proyectos para la instalación de unidades generadoras en la provincia de Catamarca, en donde el CFI encaró los estudios previos.

De los proyectos relativos al tema que se han desplegado en los últimos años ninguno ha llegado hasta el momento hasta la etapa de su implementación. El excesivo optimismo que inicialmente se tenía ha ido decayendo en la medida que los costos por kW instalado han ido incrementándose. La fabricación local de generadores eólicos de mediana potencia prevee ser la llave para el abastecimiento de costos de instalación y el logro de una correcta rentabilidad de las instalaciones.

Actualmente nos encontramos ahora en un punto en que antiguas técnicas, ya descartadas por ser económicamente no competitivas con la generación térmica, son reexaminadas a la luz de las nuevas relaciones de precios, los nuevos materiales disponibles, las técnicas modernas de control y regulación, el uso de microprocesadores, las exigencias de no contaminación y los requerimientos siempre crecientes de nuevas fuentes de energía.

Frente a este panorama surge la necesidad de explorar y explotar en nuestro país las nuevas posibilidades del recurso eólico, del cual disponemos, lo que podríamos llamar reservas de un orden de magnitud comparable con la actual potencia eléctrica de todo tipo instalada.

3. MAQUINAS EOLICAS

Las máquinas conversoras de la energía eólica se pueden clasificar según varios parámetros:

Potencia	de 0,4 a 3000 kW
Diámetro	de 2 a 100 metros
Número de Revoluciones:	Alto - Medio - Bajo
Tipo de eje:	Horizontal, Vertical
Número de palas:	1, 2, 3, 4, 6, multipalas
Tipo de carga:	Generador eléctrico Bombeo de agua Molido de granos, papel Calentamiento directo de agua.
Coeficiente de Potencia: (Máximo 0,593)	0,15 a 0,42
Tipo de motor:	Darrieus, Savonius, Magnus, Vortices, Hélices, Ciclogiros.
Ubicación de la hélice:	Barlovento, Sotavento
Generador eléctrico:	Sincrónico, asincrónico
Relación entre la velocidad del extremo de pala a la del viento:	1 a 20
Tanque de arranque:	Nulo - Medio - Alto.
Velocidad mínima:	4 a 15 km/h
Velocidad máxima:	70 a 110 km/h
Velocidad de sobreviviencia:	200 a 270 km/h

Dentro de la variedad de características que ofrecen las máquinas eólicas actuales, en la generación de energía eléctrica de media y alta potencia los modelos más difundidos son de eje horizontal, con 2 o 3 palas, generador asincrónico para bajas potencias y sincrónico para altas, regulación por alabeo de palas, transmisión por engranajes y correas en V, relación de velocidad 4, alrededor de 30 r.p.m., velocidad mínima 10 km/h, veloci-

dad de frenado total 80 km/h y velocidad de supervivencia 220 km/h. Todos estos son valores típicos sobre los cuales es posible encontrar ciertas variaciones.

La relación entre velocidad del extremo de la pala y la velocidad del viento se tiende a que sea lo más alta posible para elevar el coeficiente de potencia o sea el rendimiento de la instalación con respecto a la potencia disponible en la masa de aire considerada para determinada velocidad, sección y densidad.

3.1. Fórmula de Betz

La fórmula de Betz nos indica que la energía posible de extraer de una corriente de aire es proporcional al cubo de su velocidad. Cuando se dá el rendimiento de un generador eólico, se lo hace dando la relación entre la potencia que se extrae y la potencia aerodinámica total que se puede extraer del viento, dada por la fórmula de Betz.

La fórmula de Betz parte de la hipótesis de un motor eólico situado en el seno de un fluido ilimitado que posee un movimiento uniforme. El motor eólico reduce la velocidad de una porción del fluido y la transforma en energía mecánica. Como el fluido que ha trabajado sobre el motor, debe alejarse, conserva parte de su velocidad inicial por lo que no se utiliza mas que una fracción de la energía disponible. Esta fracción es el coeficiente de Betz de valor exacto 16/27 equivalente a 0,593.

$$P = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} \; p \; S \; V^3 \right)$$

P = Potencia

p = densidad del aire

V = velocidad del viento

S = sección transversal

Para una densidad del aire de 1,25 Kg/m^3 se transforma en: $P \; (Kw/m^2) = 0{,}37 \left(\frac{V}{10} \; (m/s) \right)^3$

Esta fórmula nos permite evaluar la energía eolica teoricamente disponible para una dada velocidad de viento referida a un metro cuadrado de sección transversal del motor eolico.

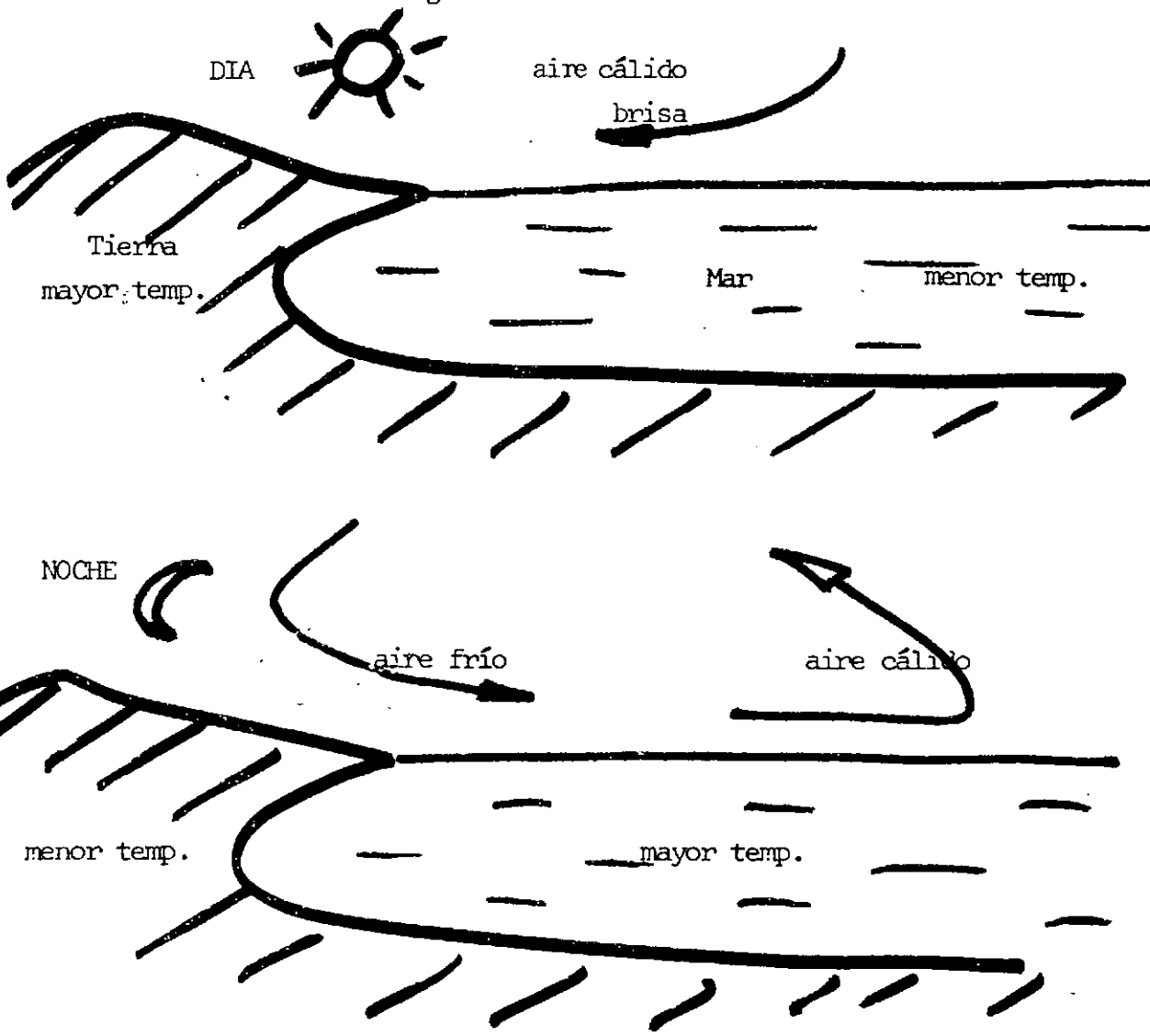
El coeficiente de Betz afectado por el rendimiento propio de cada tipo de turbina eolico se transforma en el "coeficiente de potencia c.p.".

4- El recurso Eólico

El sol a través del calentamiento desigual de la superficie de la tierra es el causante principal de la existencia de vientos.

La distribución de los vientos en la superficie de la tierra está condicionada por la radiación del sol, por los diferentes niveles de absorción, por la rotación de la tierra, por la morfología y por la densidad y composición del aire.

Sobre las costas de lagos u océanos y en zonas montañosas se producen brisas locales como consecuencia del desigual calentamiento y distinta inercia térmica de áreas contiguas.



Del viento es posible extraer energía, la cuál está en función de la tercera potencia de su velocidad, la densidad del aire y el área del equipamiento que lo intercepte y el rendimiento de éste.

De acuerdo a datos de la organización meteorológica internacional en la provincia de Santa Cruz podríamos definir 4 zonas: la 8 con una densidad de energía entre 800 y 1200 W/m2; la 7 entre 400 y 800 W/m2; la 6 entre 300 y 400 W/m2 y la 3 entre 1500 y 200 W/m2. Estos datos son para 10 m de altitud y deben considerarse como una primera aproximación.

Para una completa caracterización de la energía extraíble se requiere conocer la distribución promedio anual de las probabilidades de ocurrencia de cada velocidad, llamada también distribución de frecuencia de velocidades.

En forma simplificada, se puede definir las posibilidades de generación de energía mediante el índice KWh/KW, que indica la cantidad anual de energía generada (KWh) por cada unidad de potencia instalada.(Kw). Para la zona costera de Santa Cruz se mencionan índices superiores a 5000 KWh/Kw, esto implica que durante un año se tendrán más de 5000 horas en las cuales la velocidad del viento estará dentro de los límites de utilización del equipamiento instalado.

La información reunida por el Servicio Meteorológico Nacional, en principio se estima suficiente para la realización de una primera etapa de instalación de generadores eólicos de baja potencia.

Para la instalación de generadores de mayor potencia se deberá contar con una caracterización más precisa de los regímenes de viento.

Esta caracterización podrá obtenerse también del análisis estadístico de la energía que generan los equipos de menor potencia instalados en la misma ubicación.

4.1. Circulación general de la atmósfera

La atmósfera es una mezcla de gases cuyo peso es de aproximadamente 5243 x 10^{18} kg. Comparada con las dimensiones de la Tierra, es una delgada capa envolvente de 15 km de espesor. El nitrógeno y el oxígeno constituyen el 98% de la atmósfera. Otros dos importantes componentes son el dióxido de carbono (0,05%) y el vapor de agua (0,01-0,03%). Estos últimos tienen bandas de fuerte absorción en el rango de las radiaciones infrarrojas y actúan como una gran barrera aislante respecto de las radiaciones terrestres de gran longitud de onda limitadas por la tierra.

El agua puede existir en varios estados en la atmósfera: hielo (sólido), lluvia (líquido) y vapor (gas). La liberación del "calor de evaporación" en procesos de condensación es una importante fuente de calor que influye fuertemente en la evolución de sistemas climáticos, como ser los ciclones tropicales y extra-tropicales.

Mientras la cantidad de dióxido de carbono es prácticamente constante en el tiempo y en el espacio, la cantidad de vapor de agua varía considerablemente de lugar a lugar. En general, hay más vapor en donde la temperatura es alta (por ejemplo en los trópicos) y menos en las regiones frías.

El viento es aire en movimiento, su velocidad horizontal es usualmente mucho mayor que la vertical. La energía total en la atmósfera se divide en potencial y cinética, siendo la última sólo una pequeña porción de la primera.

Los vientos son la resultante de la conversión de la energía potencial de la atmósfera en cinética, principalmente a través del trabajo de las fuerzas de presión.

La fuente energética principal es por supuesto el sol. La constante solar es aproximadamente 1.400 W/m^2, pero debido a la esfericidad de la Tierra, la cantidad de energía que llega a un plano horizontal en la Tierra decrece en dirección a los polos. Entre otros factores que afectan la energía absorbida por la superficie terrestre están las nubes y el albedo de la superficie. La absorción por aerosoles y la difusión actúan también como factores de reducción.

Muy poca cantidad de radiación solar es absorbida por el aire, excepto en la capa de ozono ubicada a 30 km de altura. En lugar de eso, el calentamiento de la atmósfera es realizado por la mezcla turbulenta vertical o el transporte vertical de calor en larga escala realizado por ciclones extra-tropicales.

El sistema atmosférico terrestre pierde energía a través de las radiaciones de gran longitud de onda (radiación cuerpo negro en forma proporcional a T_s^4, donde T_s es la temperatura de la superficie y es la constante de Stefan-Boltzmann. El efecto del dióxido de carbono y el vapor de agua es volver a radiar parte de este flujo de regreso a la Tierra. Los cálculos muestran que la ausencia de CO_2 y H_2O llevaría la temperatura de la Tierra a un valor promedio de - 20 °C en lugar del actual de + 15 °C. Las nubes también juegan un importante rol en la regulación del calor.

La figura muestra el balance de energía media de radiaciones de larga y corta longitud de onda como una función de la latitud, en el hemisferio norte.

Es obvio que hay una ganancia neta de calor al sur de los 38° N y una pérdida neta al norte de los 38° N.

Con el fin de mantener el equilibrio, el calor debe ser transportado desde el sur hacia el norte (hemisferio norte). Este transporte de calor es la principal misión de la circulación en gran escala de la atmósfera.

Desde este punto de vista, la atmósfera puede ser vista como una gigantesca máquina térmica dirigida por la radiacion solar y bombeando energía del ecuador a los polos. De cualquier forma, la atmósfera no está sola en este trabajo.Los océanos y la conjunción entre éstos y la atmósfera son además la llave para comprender todo el sistema climático de la Tierra.

Las corrientes oceánicas actualmente llevan aproximadamente el 30% del calor requerido en el hemisferio norte.

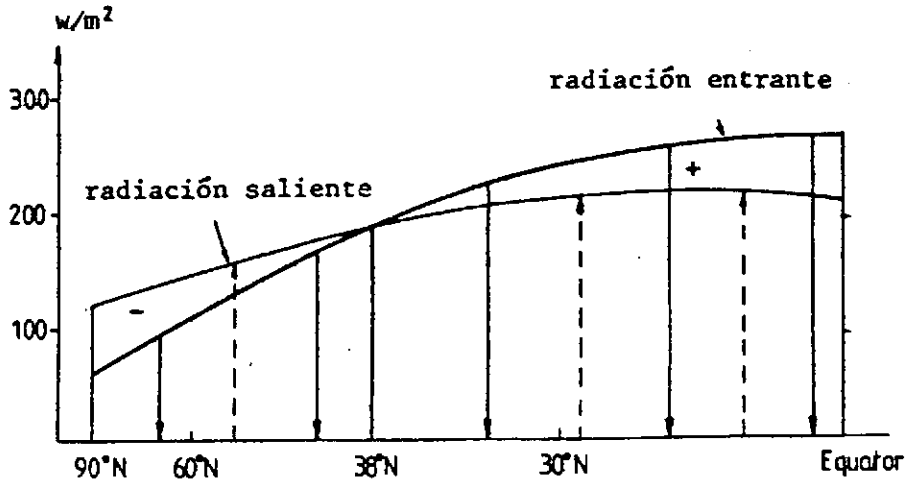
La expresión "circulación general" de la atmósfera se usa para mostrar un cuadro general de los movimientos de la atmósfera.

Muchos factores locales influencian el movimiento de la atmósfera en gran escala. Las grandes cadenas montañosas tienen un efecto decisivo en la determinación del clima como por ejemplo en el continente americano o en el noroeste de Europa.

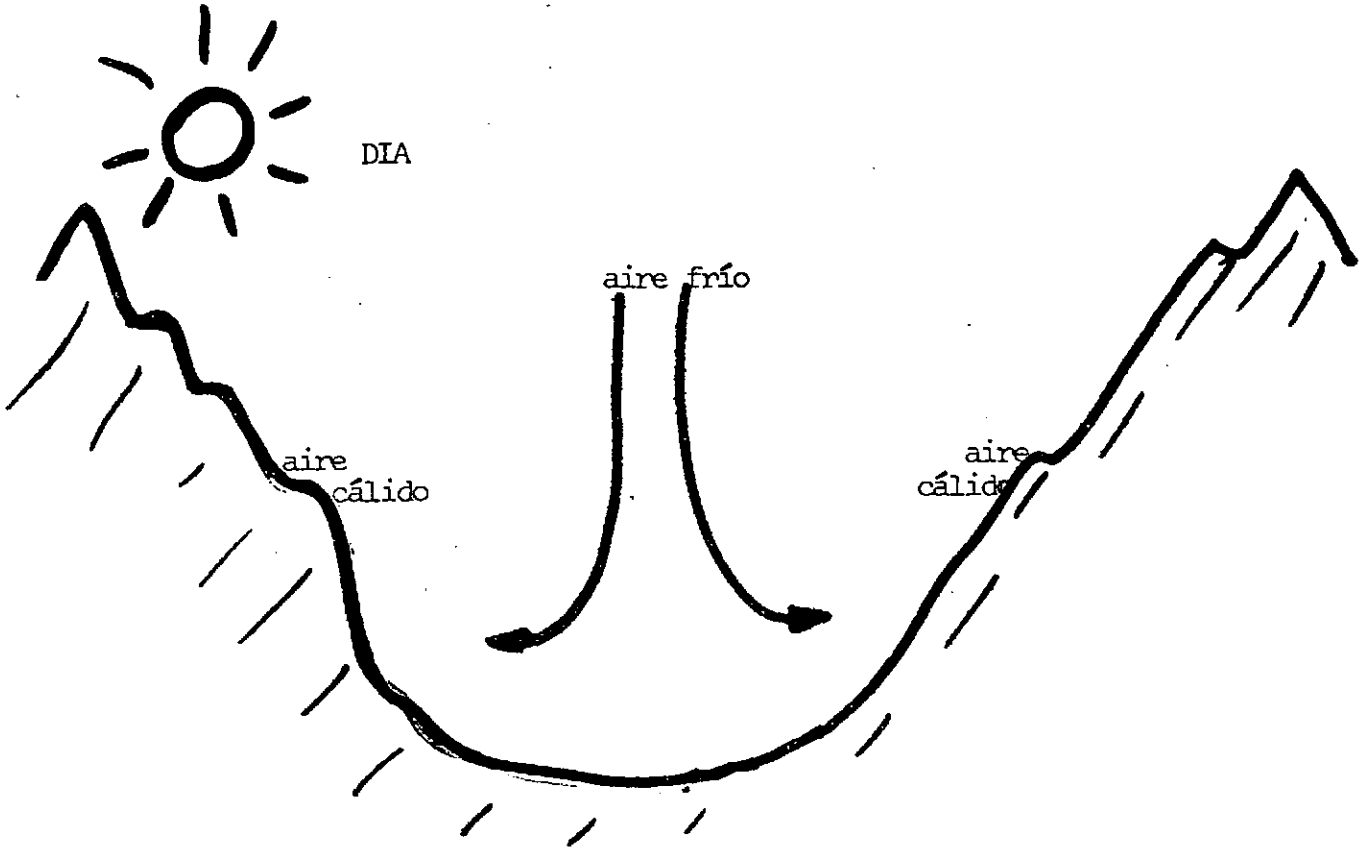
La distribución del calentamiento y enfriamiento y la rotación de la Tierra son los más importantes aportes a la formación de la circulación general.

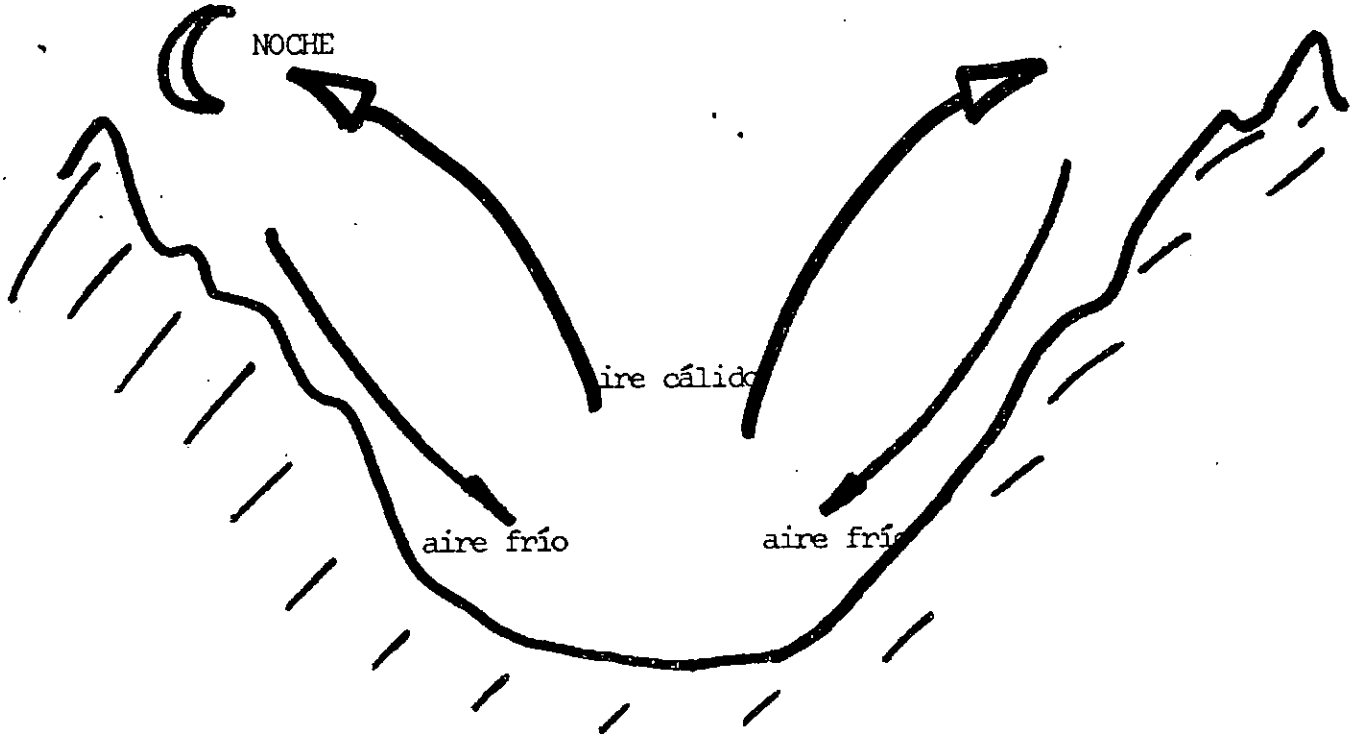
En el ecuador no hay rotación alrededor de un eje vertical mientras que en el polo norte el efecto de rotación es fuerte.

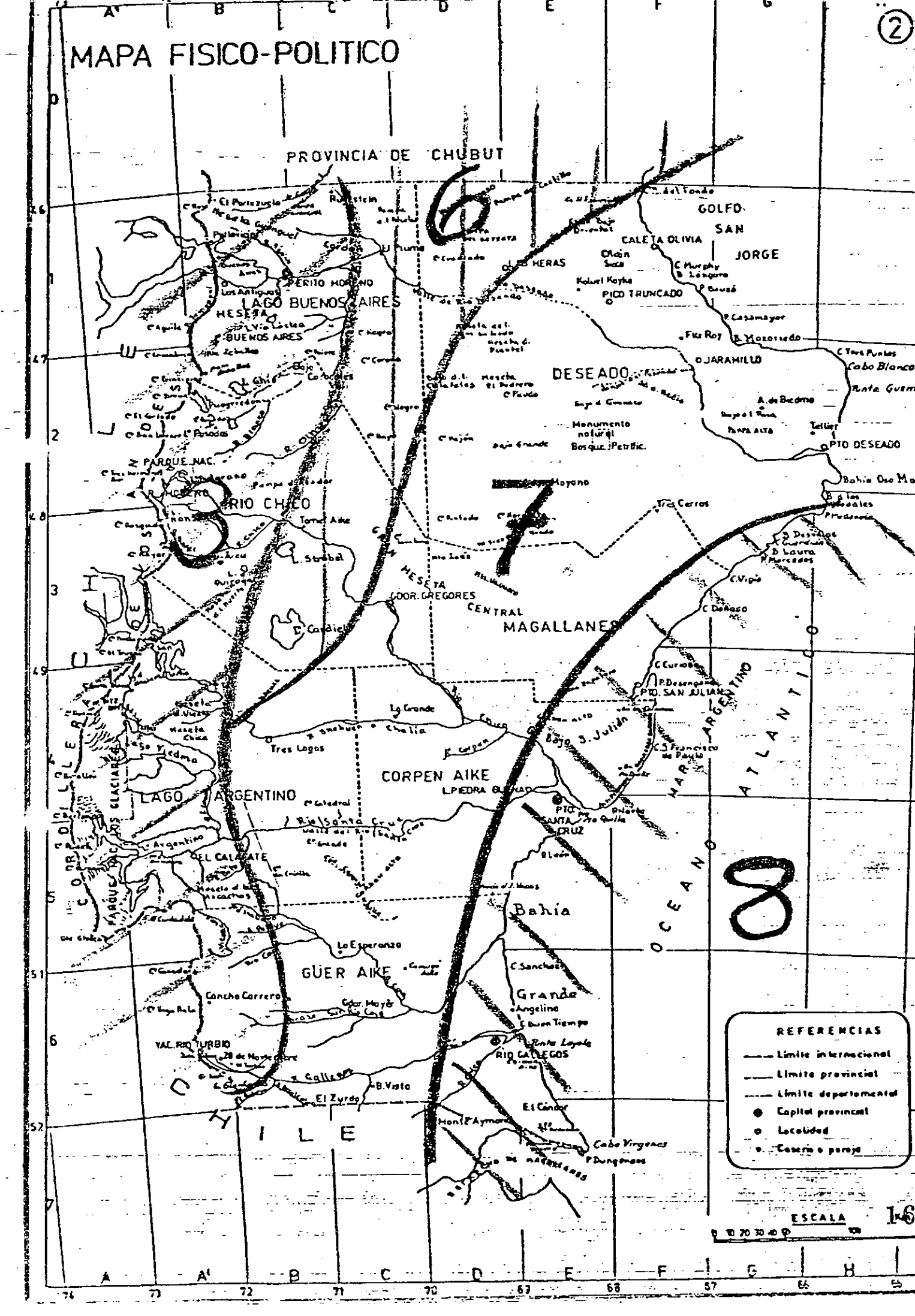
La combinación de este efecto y del calentamiento y enfriamiento como una función de la latitud fuerza a la atmósfera a "elegir" diferentes caminos para realizar el transporte de energía necesaria en los trópicos y en las latitudes medias.



Balance de radiación media en el hemisferio norte


DIA
aire frío
aire
cálido
aire
cálido


NOCHE
aire cálido
aire frío
aire frí


MAPA FISICO-POLITICO
PROVINCIA DE CHUBUT
GOLFO SAN JORGE
CALETA OLIVIA
PICO TRUNCADO
LAGO BUENOS AIRES
PERITO MORENO
DESEADO
JARAMILLO
PTO DESEADO
PARQUE NAC.
RIO CHICO
MESETA CENTRAL
COOR. GREGORES
MAGALLANES
CORPEN AIKE
LAGO ARGENTINO
EL CALAFATE
GÜER AIKE
RIO GALLEGOS
CHILE
OCEANO ATLANTICO
MAR ARGENTINO
REFERENCIAS
Limite internacional
Limite provincial
Limite departamental
Capital provincial
Localidad
Caserío o paraje
ESCALA

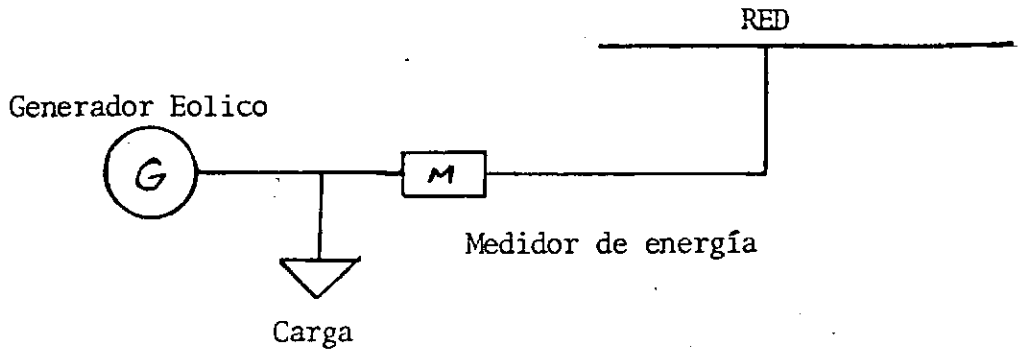
5. RENTABILIDAD DE LOS EOLOGENERADORES

Los generadores eólicos de energía eléctrica pueden combinarse con sistemas de acumulación de energía para lograr la constancia en el suministro, pero esta solución solo es factible para potencias muy bajas dado el alto costo de baterías eléctricas y equipos inversores involucrados. La ausencia de sistemas de acumulación implica la aleatoriedad del suministro y modifica los criterios a usarse para realizar un análisis de rentabilidad de las instalaciones. No se puede en estos casos trasladar los criterios utilizados por ejemplo en la evaluación de instalaciones de generación hidráuilica, donde el suministro puede ser intermitente pero nunca aleatorio.

A partir de estas premisas se ha desarrollado el concepto de "carga negativa". Un eologenerador, generalmente asincrónico para potencias del orden de las decenas de kilowatts, intercambia energía con una red eléctrica con suministro garantizado por generación térmica o hidraúlica de base. El eologenerador resulta ser una fuente de kilowatthoras pero no de kilowatts. La generación eólica contribuye a "reducir" la demanda produciendo un ahorro de generación. En el caso de redes alimentadas con grupos térmicos, esto se traduce en un determinado ahorro de combustible. La capacidad instalada no aumenta al conectarse generadores eólicos sin acumulación en el sistema. El pico máximo de demanda debe ser necesariamente cubierto por equipos de generación garantizada.

5.1. Usuario Privado

Es el caso de un usuario que instale dentro de su propiedad un eólogenerador en sincronismo con la red según el siguiente esquema:



Si la empresa prestataria del servicio público acepta la instalación de un generador eólico por parte del usuario de una potencia suficientemente menor que la carga, de forma que toda la energía generada es consumida localmente podemos definir:

T = Tarifa eléctrica (promedio) en $/kwh
N = Número de horas de generación eólica anuales
V = Vida útil de la instalación
i = Tasa de descuento, o tasa de actualización
P = Potencia instalada del generador eólico en kW

Podemos calcular el valor de B, valor presente de toda la energía generada por el eólogenerador durante su vida útil, si el total de la energía es consumida por la carga.

$$B = T.\ N.\ P.\ \frac{(1+i)^n - 1}{i\ (1+i)^n}$$

Utilizando algunos valores típicos ...

T = 0,05 US$/kwh
N = 3000
P = 1 kW (Potencia unitaria)
n = 15 años
i = 10%

se tiene

B = 1140 US$/KW instalado

Este valor representa el beneficio que la instalación producirá durante su vida útil y representa un tope teórico, para los valores de las variables consideradas, de la inversión que se puede justificar por cada kW que se instale. Los costos actuales de eologeneradores están en las cercanías de estos valores en el rango entre 10 y 100 kW.

5.2. Empresa de Servicios Públicos

Es el caso de una empresa de servicios públicos, que ya tenga asegurado el suministro de energía a sus consumidores con un suministro garantido. En este caso se podrá emplear la misma fórmula pero reemplazando la tarifa T por el costo de generación. Cuando se aplica una tarifa uniforme en todo un territorio provincial y en el caso de pequeñas usinas no interconectadas suele acontecer que el servicio resulta deficitario o con escaso beneficio. Por ello es posible utilizar para una primera aproximación el precio promedio de venta al público del kWh en la fórmula mencionada.

El factor entre corchetes de la fórmula ha sido tabulado para distintos valores de N e I. De la tabla se puede extraer, por ejemplo, que para 20 años de vida útil (algunos fabricantes mencionan 25 años) y una tasa de

descuento del 6% se tiene 11,47. De acuerdo con datos de explotaciones reales, se consumen 400 gr de combustible para generar 1 kwh (en pequeñas usinas térmicas). Si el regimen de vientos es tal que permitan 3000 horas anuales de operación, un generador eólico podrá ahorrar, durante su vida últil una suma de dinero S igual a:

$$S = 0,400 \times 3000 \times 11,47 \times P = 13.764\ P$$

siendo P el precio de un kilogramo del combustible utilizado. Esto equivale a decir que:

I "la instalación de 1 kw eólico representa el ahorro de una cantidad de dinero equivalente al costo de 14 toneladas de combustible, si se utiliza una taza de descuento del 6% anual, una vida útil de 20 años, y un régimen de 3.000 horas anuales de viento útil.

II "el costo por kW eólico instalado, sin considerar la escalación de los precios del petróleo debe mantenerse por debajo del valor S para recuperar el monto de la inversión en 20 años"

III "la rentabilidad de una instalación eolica está ligada, para el caso de sistemas interconectados a grupos térmicos, al precio del combustible empleado".

Estas distintas expresiones de una misma realidad no muestran que el factor dominante es el costo, normalmente subsidiado, del combustible utilizado.

Para instalaciones privadas, rige la tarifa eléctrica, la cual normalmente también tiene cierto nivel de subsidio.

En instalaciones aisladas, los costos aumentan debido al uso de sistemas de acumulación de energía.

Un factor que todavía es una incógnita, por no haber registrado en insta-

laciones en funcionamiento, es N, número de horas útiles anuales. Algunas estimaciones lo elevarían por encima de 5.000 horas anuales (en los cálculos precedentes se utilizaron 3.000 horas), con lo que mejoraría notablemente la rentabilidad de las instalaciones.

I \ N	5	8	10	15	20	30	40	100
4	4,50 0,22	6,73 0,14	8,11 0,123	11,11 0,089	13,59 0,073	17,29 0,057	19,79 0,050	24,50 0,040
5	4,329 0,231	6,46 0,154	7,721 0,129	10,379 0,096	12,462 0,080	15,372 0,065	17,159 0,058	19,84 0,050
6	4,214 0,237	6,20 0,161	7,360 0,135	9,712 0,103	11,469 0,08	13,769 0,072	15,046 0,066	16,617 0,060
7	4,100 0,243	5,971 0,167	7,023 0,142	9,107 0,109	10,594 0,094	12,409 0,080	13,331 0,075	14,269 0,070
8	3,992 0,250	5,746 0,174	6,710 0,149	8,559 0,116	9,818 0,101	11,257 0,088	11,920 0,083	12,49 0,080
9	3,889 0,257	5,746 0,174	6,417 0,155	8,060 0,124	9,128 0,109	10,273 0,097	10,757 0,093	11,109 0,090
10	3,790 0,263	5,334 0,187	6,144 0,162	7,606 0,131	8,513 0,117	9,426 0,106	9,779 0,102	9,999 0,100
11	3,695 0,270	5,146 0,194	5,889 0,169	7,190 0,139	7,963 0,125	8,693 0,115	8,951 0,111	9,090 0,110
12	3,604 0,277	4,967 0,201	5,650 0,177	6,810 0,146	7,469 0,133	8,055 0,124	8,243 0,121	8,333 0,120

Tabla de Factor de Recuperación del Capital: $\frac{i\,(1+i)^{n}}{(1+i)^{n}-1} = \text{F.R.C.}$

6. FUENTES DE FINANCIACION

6.1. Banco Interamericano de Desarrollo

En 1978 el BID estipuló que el 50% de sus préstamos en el período 1979-82 serían orientados a beneficiar los grupos sociales de menores ingresos, especialmente a través de proyectos que refuercen la creación de fuentes de trabajo y alrededor del 20 al 25% del programa serían dedicados a financiamientos de proyectos de energía, incluyendo las fuentes no convencionales de energía. Esta política comenzó a hacerse efectiva a partir de agosto de 1980 con la adopción de nuevos lineamientos para préstamos en el área energía.

En estos lineamientos se enfatiza el apoyo a los proyectos de identificación y desarrollo de fuentes renovables de energía que tengan como objetivo el reemplazo de fuentes convencionales. Se expresa además que los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la energía solar, eólica y el biogas producidos a partir de desperdicios animales y agrícolas pueden cumplir un rol interesante en el suministro de energía en áreas rurales. Asimismo el BID elimina las restricciones que existían sobre su participación en proyectos de energía que involucren la experimentación o la instalación de equipamiento prototipo.

Como reflejo de la nueva política energética del BID, se han creado tres secciones dentro de la División Energía: energía eléctrica,petróleo y minería y la tercera dedicada a energía no convencional.

En el área de la energía eólica el BID aprobó en 1981 préstamos al Gobierno de Barbados para la compra, instalación y operación de una turbina piloto de 200 kW de capacidad además del sistema para control y evaluación de los resultados de esta planta piloto para determinar su efectividad para la generación eléctrica en gran escala a partir del recurso eólico.

Los créditos del BID son normalmente a largo plazo y destinados a financiar inversiones en proyectos con demostrada factibilidad económica y

financiera. Suelen otorgarse con un período de gracia de duración variable anterior siempre a 6 años. Las tasas varían entre el 9 y el 11%.

6.2. Fondo Nacionales

Por la ley N°17.597/67 se creó el Fondo de los Combustibles a partir de gravámenes sobre la transferencia de combustibles líquidos derivados del petróleo. Parte de este Fondo contribuye al Fondo Nacional de Energía (FNE).

La ley 15.336/60 estableció el Fondo Nacional de la Energía Eléctrica (FNEE) el que a su vez contribuye al Fondo Especial de Desarrollo Eléctrico del Interior (FEDEI). La administración del FNEE queda a cargo de la Secretaría de Energía y Combustibles y es controlada por el Consejo Federal de la Energía Eléctrica (CFEE), según decreto 2073/61. En 1971 se establece que el FNEE aporta asignaciones anuales al Fondo Nacional de Grandes Obras Eléctricas (FNGOE).

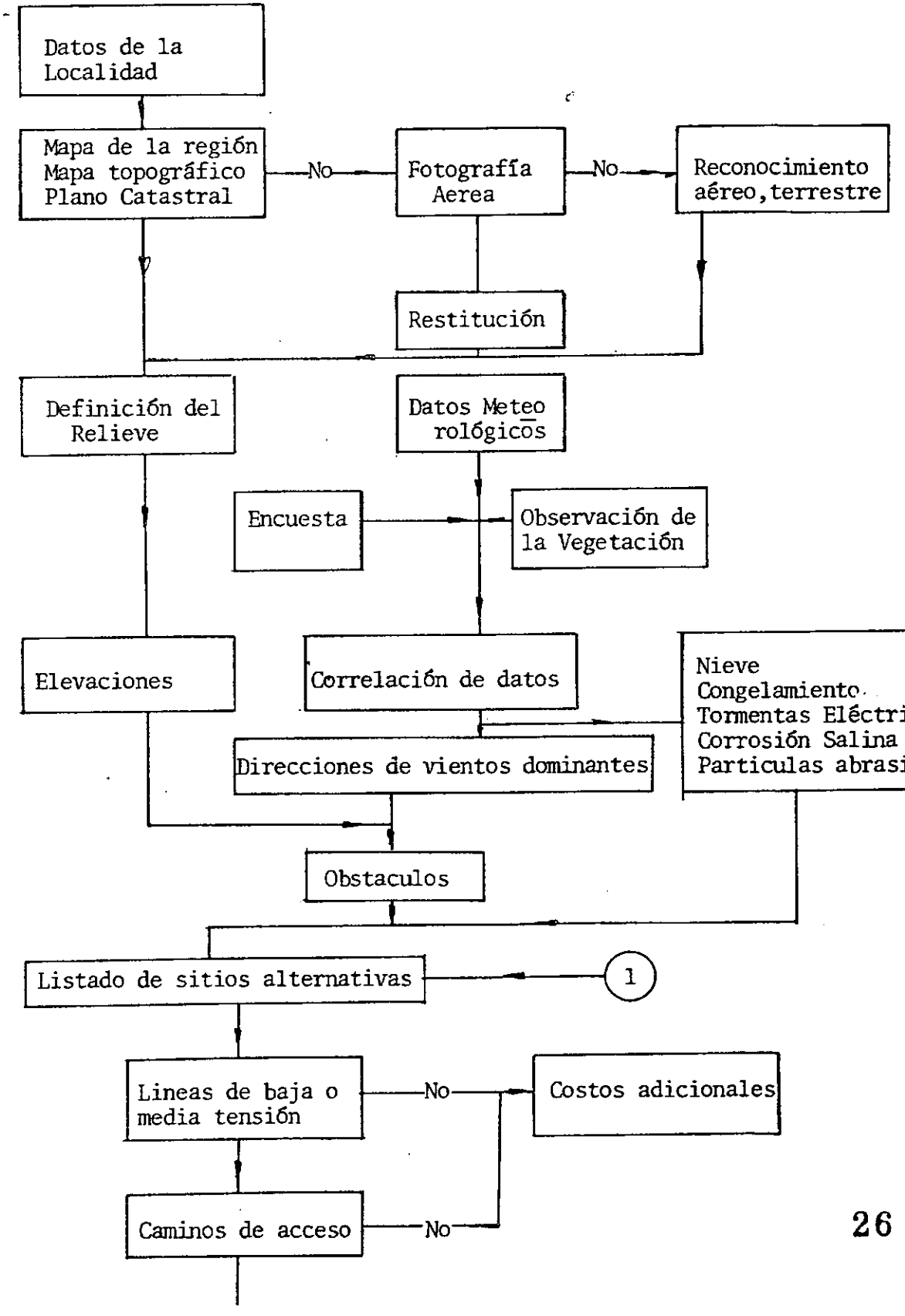
El FEDEI es el que más debe tenerse en cuenta para el equipamiento provincial en medias y bajas potencias. Su función principal es la de otorgar préstamos y aportes a las provincias y municipalidades para el financiamiento de planes de electrificación centrales y redes de distribución. Contempla cierto tipo de préstamos a empresas privadas de servicios públicos de electricidad de capacidad no superior a 2000 KVA instalados. Los proyectos de utilización de la energía eólica pueden ofrecer una rentabilidad adecuada para optar al auxilio de los Fondos mencionados. Para ello se requiere una buena constancia del recurso eólico, y una vida útil elevada de las instalaciones. Como los generadores eólicos no pueden ofrecer una disponibilidad de energía garantizada en el tiempo, los mismos no pueden ser exactamente catalogados como unidades de generación y esto puede afectar su encuadre en las reglamentaciones que rigen el manejo de los fondos. En el ámbito internacional se suele definir la energía suministrada por los generadores eólicos como una "carga negativa" ya que presenta los mismos rasgos de aleatoriedad que el consumo de energía. Esto permiti

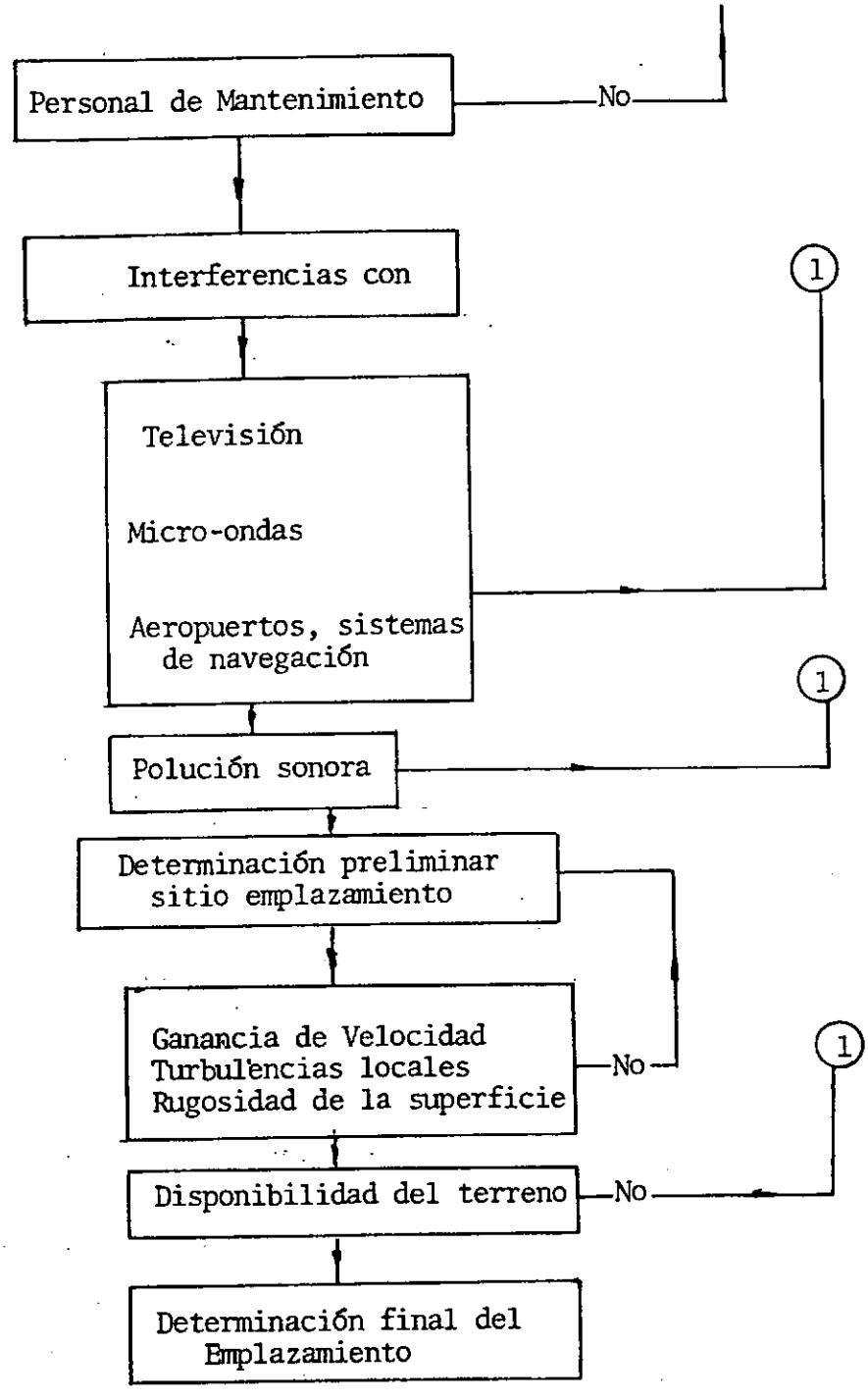
ría agrupar los generadores eólicos como equipos complementarios de las redes eléctricas tales como las baterías de condensadores que suministran energía reactiva a la red.

6.3. Fondos de Investigación

Diversos organismos públicos apoyan la realización de programas ligados al desarrollo de las energías no convencionales, entre ellas la energía eólica. La Subsecretaría de Ciencia y Tecnología (Sub C y T) tiene un programa al respecto y ha aportado fondos para varios proyectos. También al Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas puede aportar fondos para financiar investigaciones ligadas al desarrollo de la energía eólica.

ELECCION DEL SITIO DE EMPLAZAMIENTO




Personal de Mantenimiento
No
Interferencias con
1
Televisión
Micro-ondas
Aeropuertos, sistemas de navegación
1
Polución sonora
Determinación preliminar sitio emplazamiento
Ganancia de Velocidad
Turbulencias locales
Rugosidad de la superficie
No
1
Disponibilidad del terreno
No
Determinación final del Emplazamiento

7. Planificación de las instalaciones

7.1. Instalación de Eologeneradores.

Para el éxito de una instalación de máquinas generadoras de energía eléctrica eolicas debe planificarse cada una de las etapas requeridas. En el diagrama de flujo se muestra una posible estrategia para arribar al sistema instalado suministrando energía.

A partir de la decisión de instalar un eologenerador, que puede emanar de un organo político, debe crearse un cuerpo técnico que se haga cargo de las varias etapas del proyecto. Este analizará la existencia de condiciones elementales para una posible instalación: oferta eléctrica, condiciones geográficas y medias anuales de velocidad del viento a nivel regional suficientemente elevadas. A partir de la confirmación de la posibilidad de una instalación corresponde al planteo las localidades que pueden servir como alternativas. En esta etapa se procurarán para cada localidad datos estadísticos del régimen de vientos, estado y ubicación de las redes eléctricas, se definirá la potencia a instalar y se hará una primera evaluación económica. En caso de no existir datos estadísticos del viento se deberá iniciar un programa de mediciones. En algunos casos se podrá trabajar con correlaciones de datos de poblaciones cercanas que posean características geográficas comunes.

Interesa también la aprobación de las autoridades municipales y medios técnicos locales (empresa eléctrica, intendencia, etc.) para lograr su participación. Acordada la localidad se procederá a ubicar el lugar de emplazamiento tomando en consideración los puntos que mayores medias anuales de viento pueden ofrecer y en algunos casos, los que protejan las instalaciones de las ráfagas máximas, aún a costa de menores rendimientos. (Para la elección del sitio de emplazamiento se ha elaborado el cursograma correspondiente).

Una vez definidas las características del generador eolico, y el sitio de

de instalación, se podrá tener una evaluación de la inversión requerida, tanto en pesos como en divisas. Con estos valores se podrá apelar a las posibles fuentes de crédito listadas.

Una vez asegurado el respaldo económico al proyecto, se podrá realizar el concurso público y divulgar mediante la prensa la intención de instalar un eologenerador con el fin de recoger probables objecciones por parte de la población.

El concurso público, dada la poca experiencia existente en el país, conviene realizarlo en dos etapas, la primera de ellas reservada para la precalificación de las empresas intervinientes, lo que da lugar a la formación de consorcios que pueden garantizar mejor el éxito de la instalación.

Luego de analizadas las propuestas por el cuerpo técnico y decidida la adjudicación, deberán redactarse los contratos de obra en donde conviene incluir cláusulas que permitan la participación del personal de la empresa eléctrica local en todas las etapas del montaje. Dada la aleatoriedad del suministro, el período de prueba, antes de la aceptación final debe extenderse por lo menos durante tres meses.

La instalación deberá recibir durante su permanencia de vida una atención especial, registrándose los datos de carga eléctrica, horas de funcionamiento y velocidad del viento. El presente análisis brindará una información valiosa para el desarrollo de nuevas instalaciones.

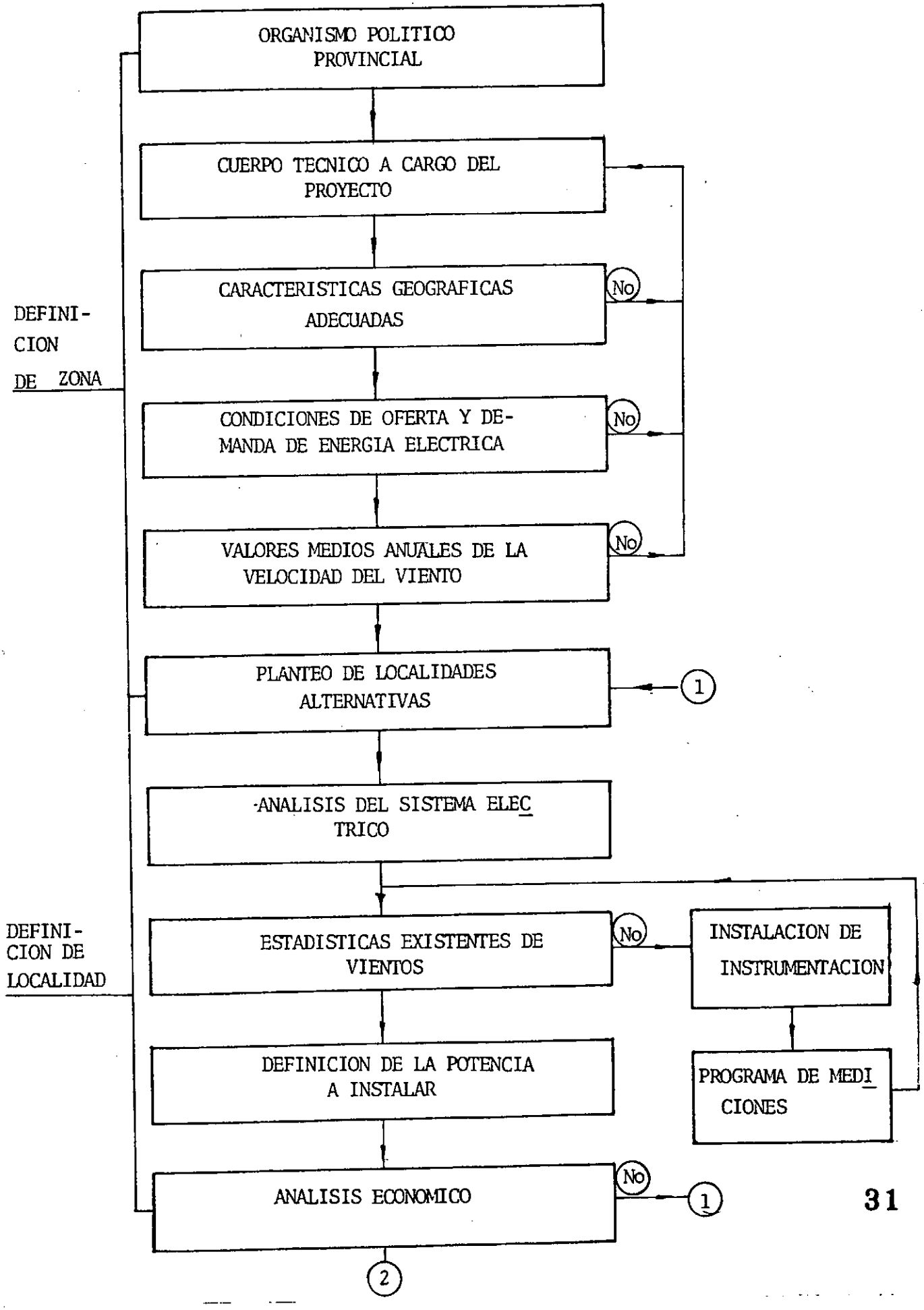
7.2. Elección del sitio de emplazamiento

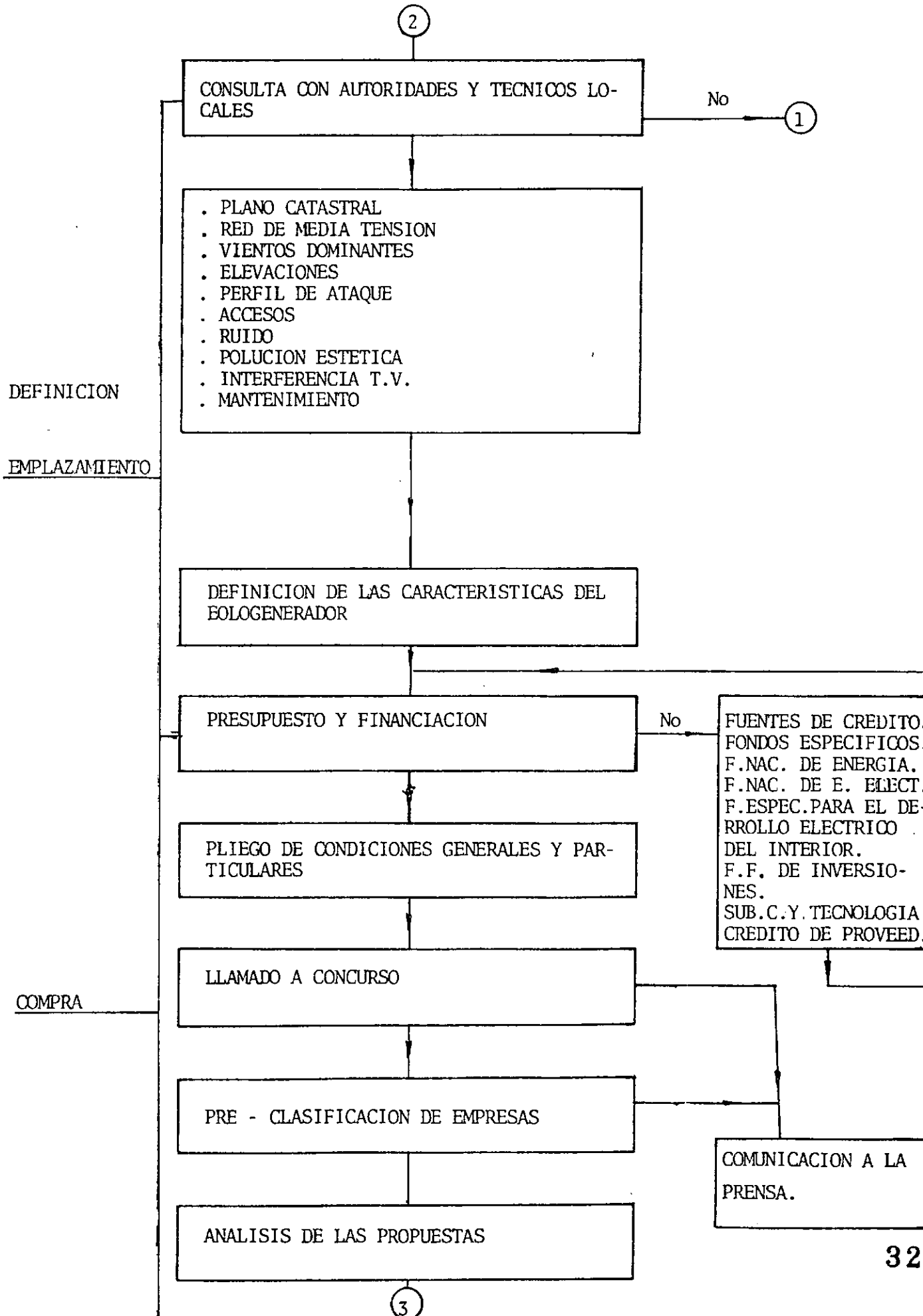
Una vez definida la ciudad o localidad donde se desea instalar un generador eólico, se debe fijar el sitio exacto del montaje. El tema ha sido objeto de numerosos estudios en particular en el caso de instalaciones de gran altura y potencia. Para el caso de máquinas por debajo de 100 kW los reque-

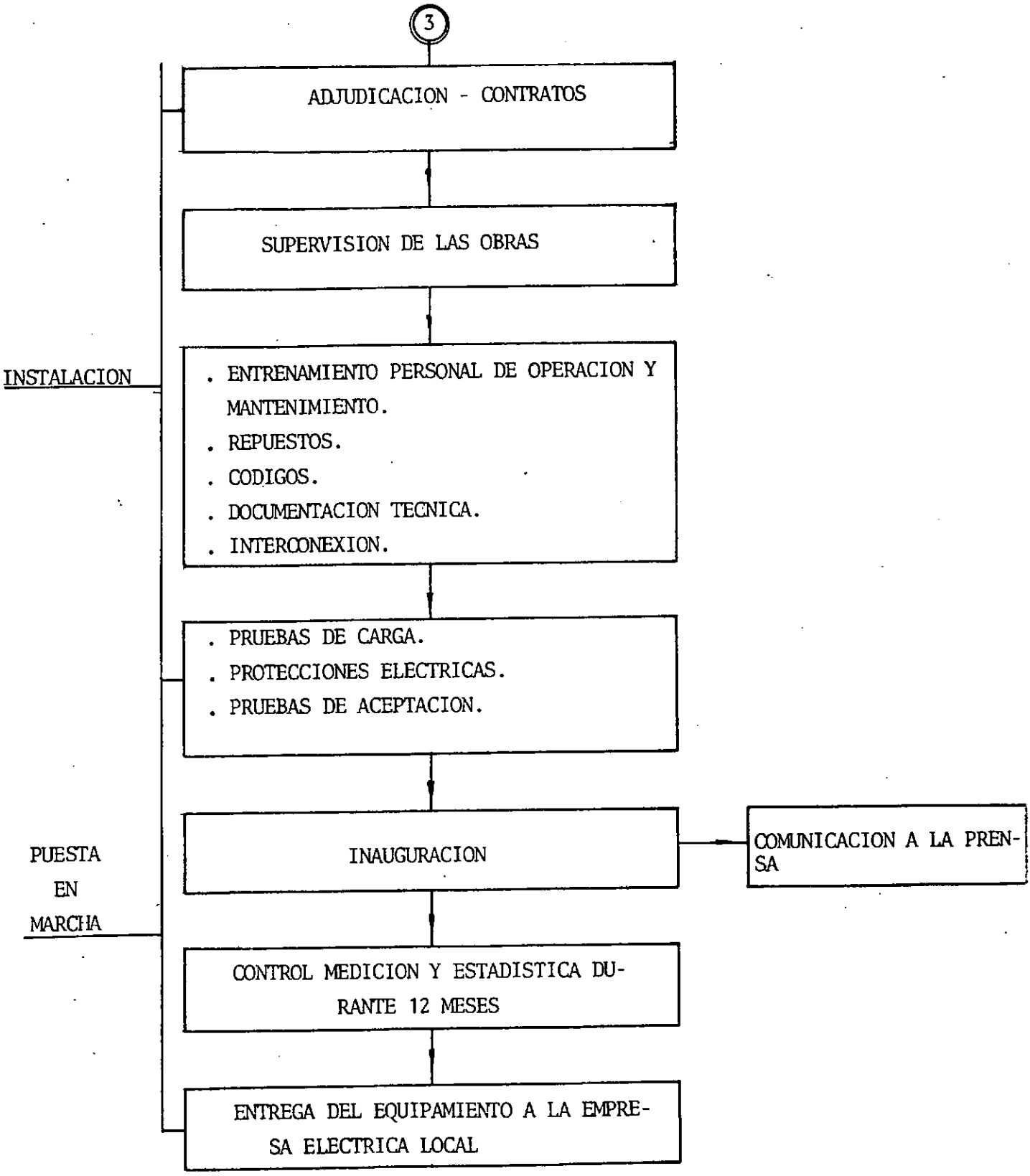
rimientos son menos rigurosos pero igualmente válidos. Se deben utilizar las elevaciones existentes, libres de obstáculos, y con máximas velocidades de viento. Al mismo tiempo debe cuidarse que la instalación no intecepte señales de televisión, radares, enlaces de microondas, etc. En el caso de bajas potencias, las consideraciones económicas del costo de la línea y la disponibilidad de personal para el atendimiento relativizan las consideraciones de máximo rendimiento de las instalaciones. Las unidades pueden ubicarse en predios pertenecientes a la empresa pública de electricidad (usinas o subestaciones) disminuyendo el costo de la instalación y el de mantenimiento a costa de una eventual menor producción anual de energía para la no optimización del régimen de vientos.

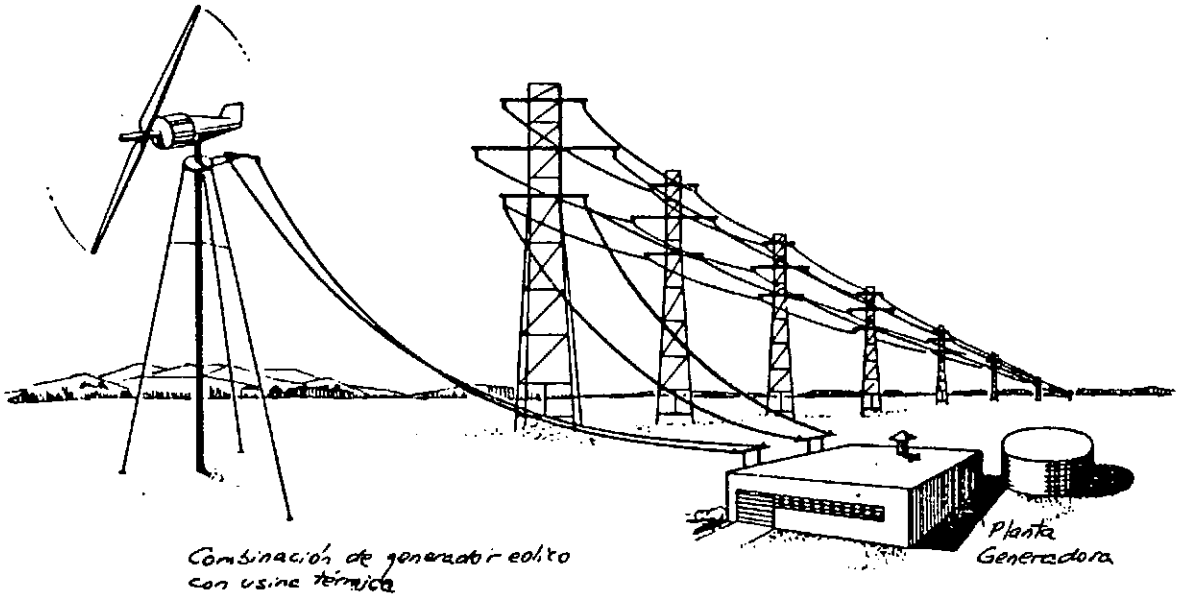
En el cursograma adjunto se esquematizan los distintos pasos para la determinación del sitio de montaje.

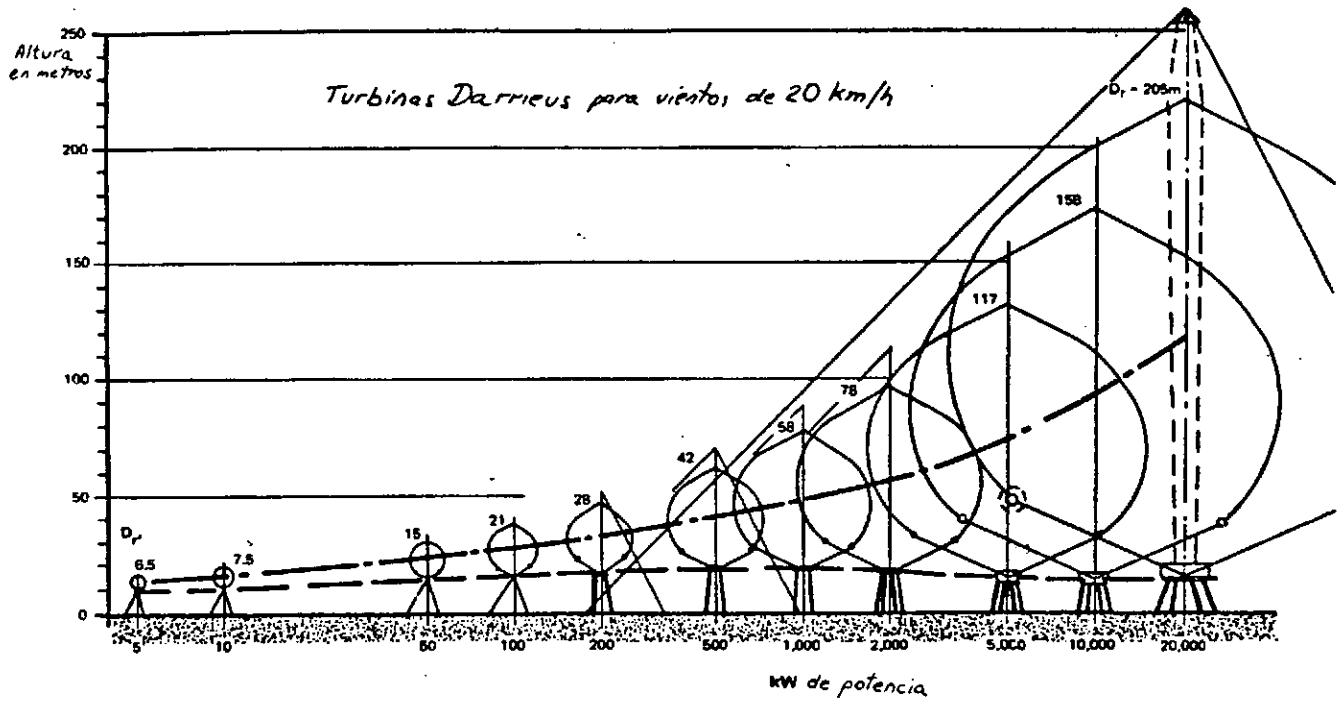
ESTRATEGIA PARA LA INSTALACION DE EOLOGENERADORES

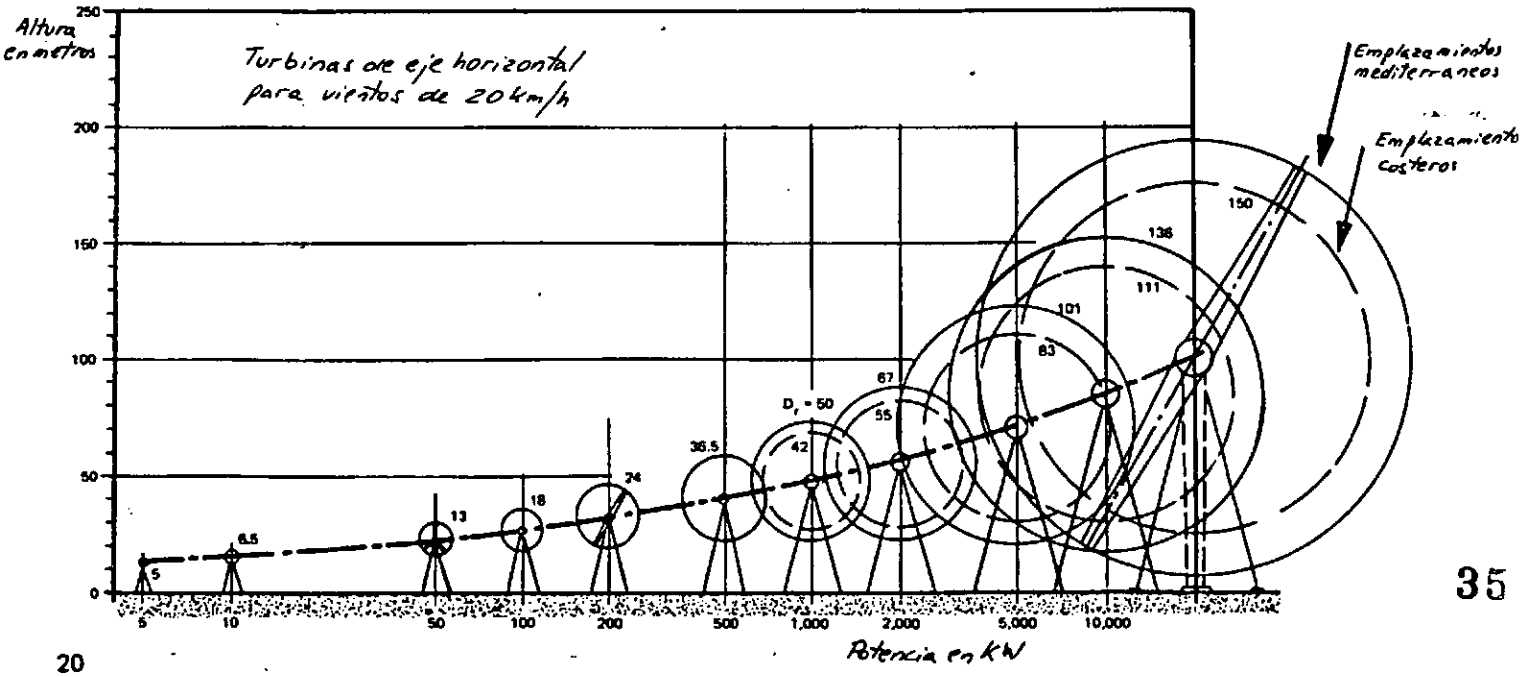


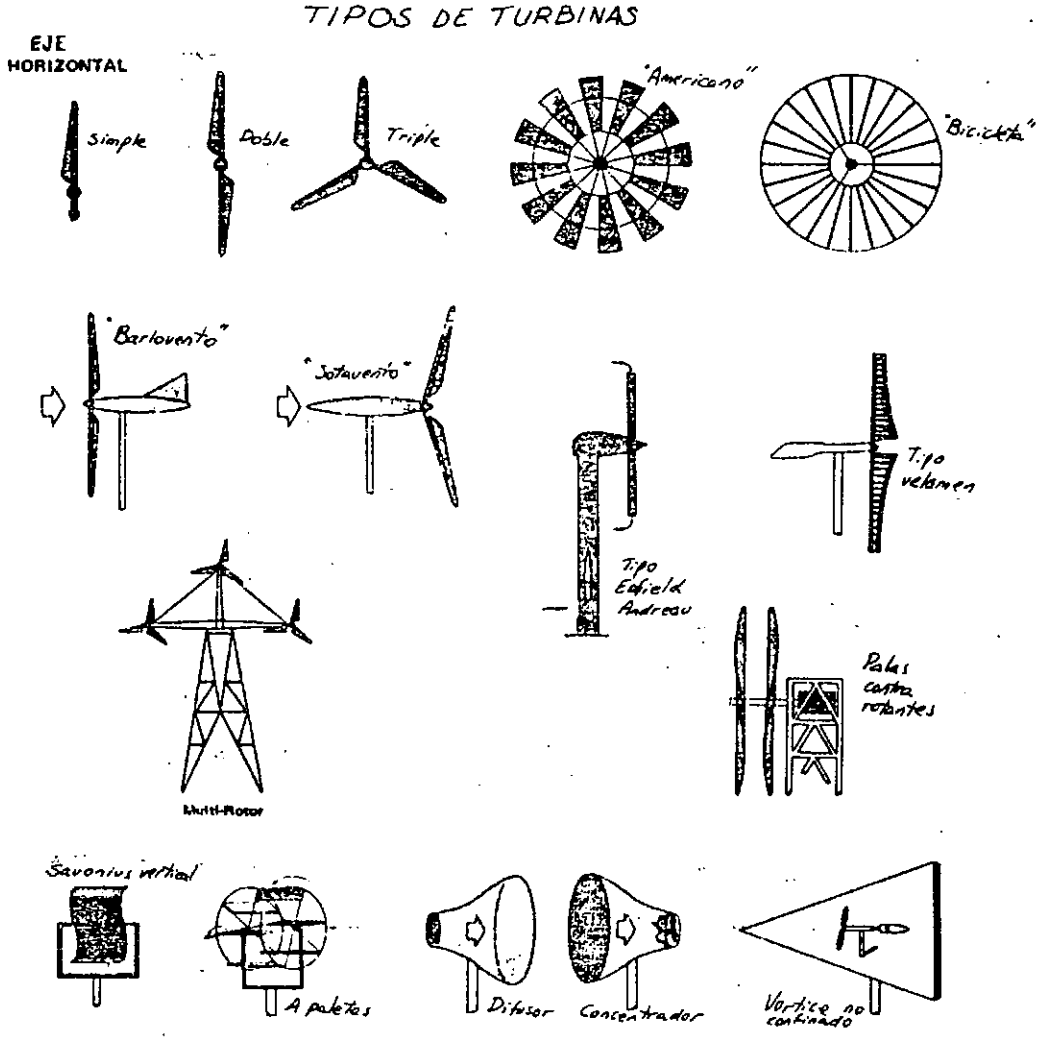

2
CONSULTA CON AUTORIDADES Y TECNICOS LOCALES
No
1
. PLANO CATASTRAL
. RED DE MEDIA TENSION
. VIENTOS DOMINANTES
. ELEVACIONES
. PERFIL DE ATAQUE
. ACCESOS
. RUIDO
. POLUCION ESTETICA
. INTERFERENCIA T.V.
. MANTENIMIENTO
DEFINICION
EMPLAZAMIENTO
DEFINICION DE LAS CARACTERISTICAS DEL EOLOGENERADOR
PRESUPUESTO Y FINANCIACION
No
FUENTES DE CREDITO.
FONDOS ESPECIFICOS.
F.NAC. DE ENERGIA.
F.NAC. DE E. ELECT.
F.ESPEC.PARA EL DE-
RROLLO ELECTRICO
DEL INTERIOR.
F.F. DE INVERSIO-
NES.
SUB.C.Y.TECNOLOGIA
CREDITO DE PROVEED.
PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES Y PARTICULARES
LLAMADO A CONCURSO
COMPRA
PRE - CLASIFICACION DE EMPRESAS
COMUNICACION A LA PRENSA.
ANALISIS DE LAS PROPUESTAS
3


3
ADJUDICACION - CONTRATOS
SUPERVISION DE LAS OBRAS
INSTALACION
. ENTRENAMIENTO PERSONAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.
. REPUESTOS.
. CODIGOS.
. DOCUMENTACION TECNICA.
. INTERCONEXION.
. PRUEBAS DE CARGA.
. PROTECCIONES ELECTRICAS.
. PRUEBAS DE ACEPTACION.
PUESTA EN MARCHA
INAUGURACION
COMUNICACION A LA PRENSA
CONTROL MEDICION Y ESTADISTICA DURANTE 12 MESES
ENTREGA DEL EQUIPAMIENTO A LA EMPRESA ELECTRICA LOCAL

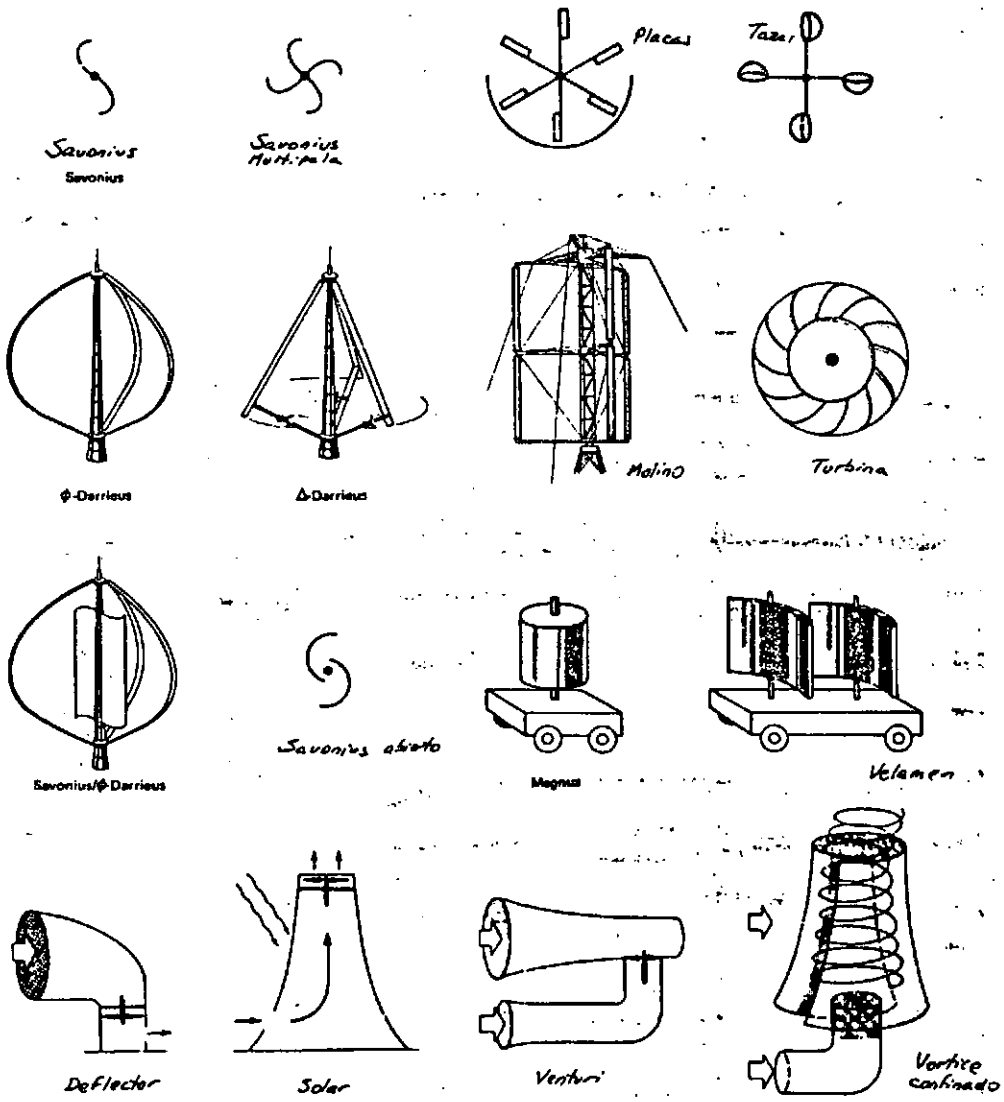

Combinación de generador eólico
con usina térmica
Planta
Generadora

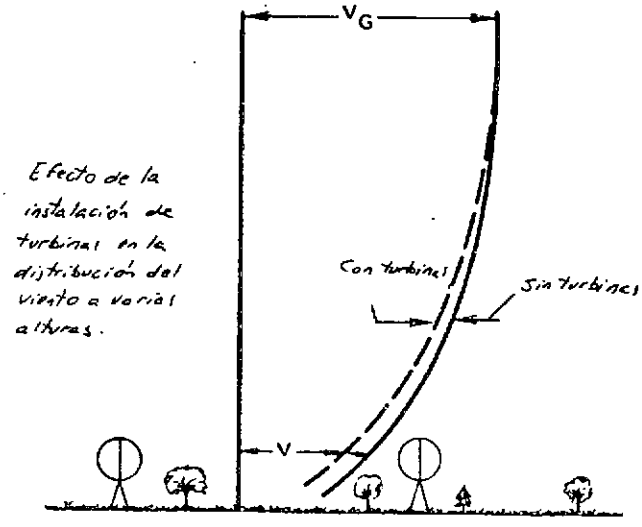

Altura en metros
Turbinas Darrieus para vientos de 20 km/h
D_r = 205m
158
117
78
58
42
28
21
15
7.5
6.5
D_r
250
200
150
100
50
0
5
10
50
100
200
500
1,000
2,000
5,000
10,000
20,000
kW de potencia

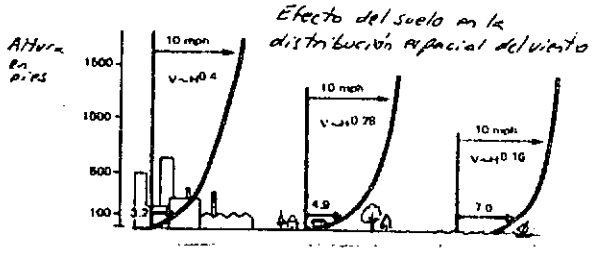

Altura en metros
Turbinas de eje horizontal para vientos de 20 km/h
Emplazamientos mediterraneos
Emplazamiento costeros
150
138
111
101
83
67
55
D_r = 50
42
36.5
24
18
13
8.5
5
250
200
150
100
50
0
5
10
50
100
200
500
1,000
2,000
5,000
10,000
Potencia en kW

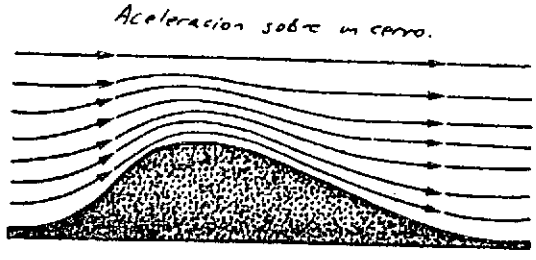

TIPOS DE TURBINAS
EJE HORIZONTAL
Simple
Doble
Triple
"Americano"
"Bicicleta"
"Barlovento"
"Sotavento"
Tipo velamen
Tipo Edfield Andreau
Multi-Rotor
Palas contra rotantes
Savonius vertical
A paletas
Difusor
Concentrador
Vortice no contenido

EJE
VERTICAL

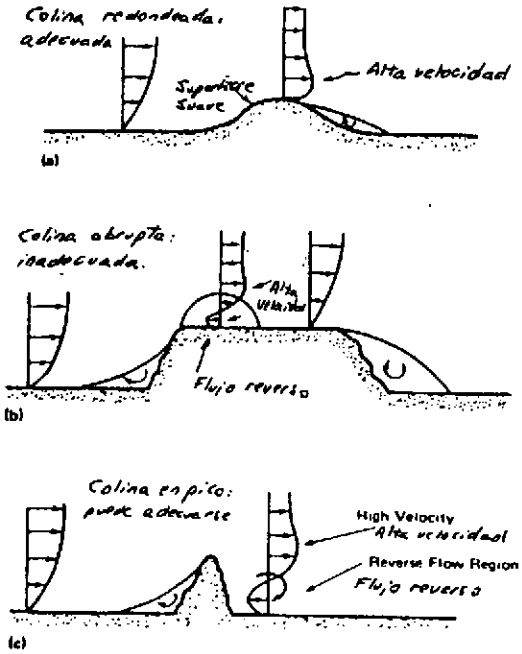


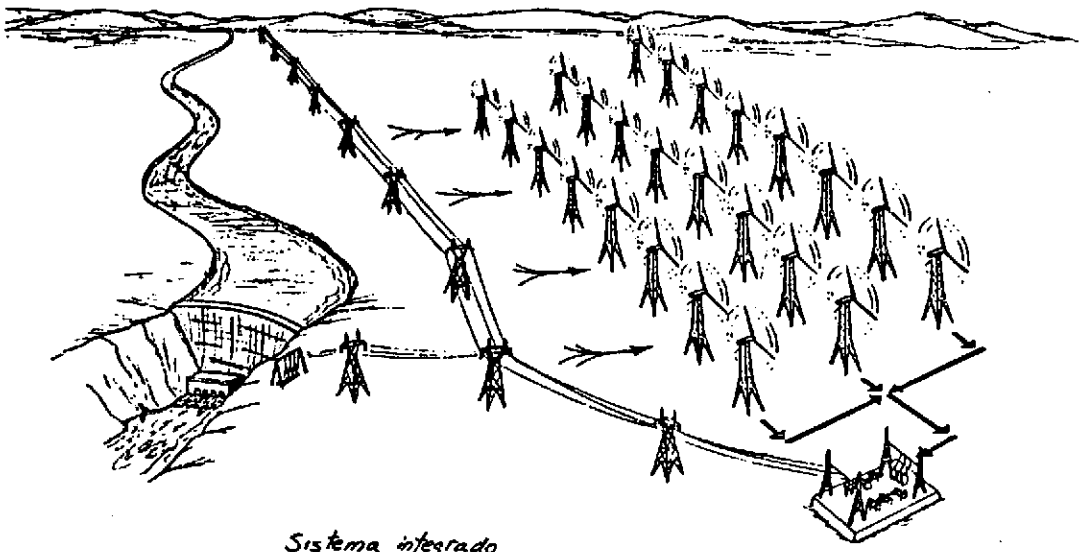

V_G
Efecto de la instalación de turbinas en la distribución del viento a varias alturas.
Con turbinas
Sin turbinas
V


Efecto del suelo en la distribución espacial del viento
Altura en pies
1500
1000
500
100
10 mph
10 mph
10 mph
4.9
7.0


Aceleracion sobre un cerro.

Selección del emplazamiento.





Sistema integrado eólico - hidroeléctrico

TOMO III

Bibliografía

1 - Barros, Vicente

Relevamiento Preliminar de la Energía Eólica en la Patagonia - Informe Nº 1 - CONICET

2 - World Meteorolegical Orgenizatión

Meteorolegical aspect of the utilization of wind as an energy source WMO-575-Tec Nº 175

3 - Banco Interamericano de Desarrollo

"Thedevelopment of new and renewable energy resources in Latin America' 1982.

4 - Rey, Ricardo

"legislación sobre Fondos Nacionales" 1978

5 - Biro, George G.

"Analysis of Site Economics for Wind Energy Conversion Systems Selection" - Gibbs Hill 1981.

6 - Putnam P.C. "Power From the wind" 1948

7 - Cherse, Daniel

"Líneas de trabajo en Energías No Convencionales" C.F.I. 1982

8 - Parera, Ricargo G.

Lineamientos de Desarrollo Institucional para el Planeamiento de Largo Plazo (1982-2000) - 1982 - C.F.I.