

ENERGIAS RENOVABLES

Fuente autóctona de generación eléctrica

Pedro Hernández Cruz, Dr. Ingeniero Industrial

La energía mecánica, que es la que ayuda al hombre a realizar tareas que, a la escala adecuada y a costa de un esfuerzo, en todo caso podría llevar a cabo con sus manos, tiene un mínimo necesario para la vida humana que es el derivado de la molienda precisa para la preparación de parte de los alimentos.

En la evolución de la Sociedad occidental durante los numerosos siglos de la antigüedad, este mínimo necesario fue aportado por la mano de obra que facilitaba la esclavitud, ayudada en algún caso por el ganado apto para el trabajo.

El desarrollo de la Humanidad siempre ha supuesto un incremento en las necesidades de energía en general y de energía mecánica en particular, consecuencia de la elevación del nivel de la cuantía y complejidad de las actividades del hombre.

Lo anterior, unido a la paulatina disminución de la esclavitud, determinó la necesidad de poner a punto las técnicas de aprovechamiento de fuentes de energía mecánica que la naturaleza ofrece y dentro de estas fuentes figura

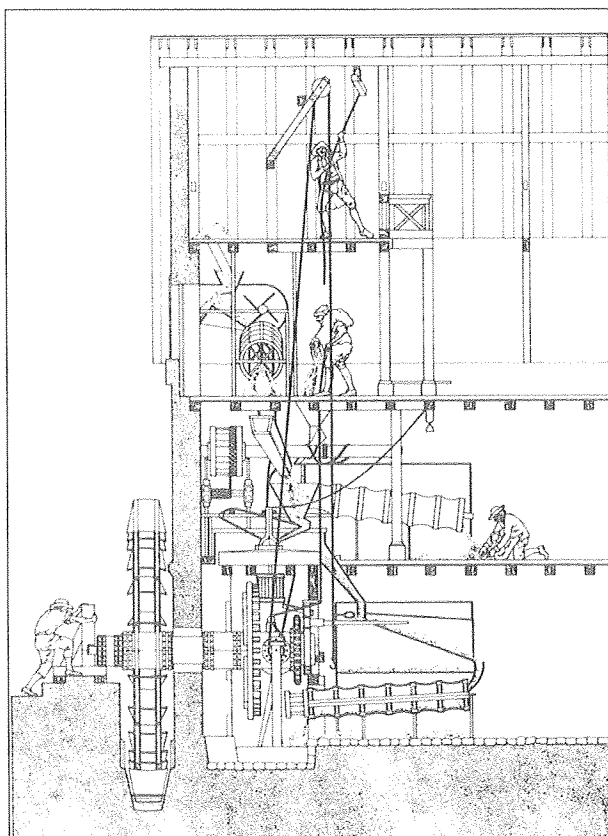
como principal la de las corrientes de agua por la superficie de la tierra: la que puede ceder el agua al pasar de una carga determinada a otra inferior.

Esta pérdida de carga es la que, sin aprovechamiento energético alguno, ocurre de forma natural al ir bajando el agua desde los orígenes de las corrientes que la lluvia produce en

las zonas altas, hasta volver a la mar. El ingenio humano fue poniendo a punto sistemas para disponer de una determinada diferencia de nivel en puntos concretos inmediatos a las corrientes de agua y utilizarla para mover estructuras mecánicas capaces de aplicar ese movimiento a la realización de la actividad que fuese normalmente a una molienda aunque no exclusivamente.

La diferencia de nivel solía estar comprendida entre uno y dos metros y se conseguía colocando una barrera o azud en la corriente de agua, río o arroyo, de forma que se pudiese derivar una parte de ella por un canal con pérdida de carga muy pequeña y defendido de las crecidas de la corriente, sobre el que se construía el edificio que albergaba el molino, donde se aprovechaba la diferencia de nivel o salto del agua, saliendo otro canal del molino a nivel inferior al de entrada, por el que el agua utilizada se reponía a la corriente natural aguas abajo del azud, que es donde se tomaba.

En la Edad Media se construyeron gran cantidad de molinos que eran utilizados para las siguientes actividades industriales:



Molino hidráulico del siglo XVIII (Fuente Encyclopediae Diderot)

Producción anual de energía eléctrica (en millones de kWh) (Total de España)

Año	Hidro- eléctrica	Termoeléctr. Clásica	Termoeléctr. Nuclear	Total	Año	Hidro- eléctrica	Termoeléctr. Clásica	Termoeléctr. Nuclear	Total
1940	3.353	264	-	3.617	1970	27.959	27.607	924	56.490
1941	3.659	231	-	3.890	1971	32.747	27.246	2.523	62.516
1942	4.065	373	-	4.438	1972	36.458	27.695	4.751	68.904
1943	4.385	433	-	4.818	1973	29.524	40.203	6.545	76.272
1944	4.016	704	-	4.720	1974	31.347	42.285	7.225	80.857
1945	3.180	993	-	4.173	1975	26.502	48.469	7.544	82.515
1946	4.587	824	-	5.411	1976	22.509	60.758	7.555	90.822
1947	5.178	773	-	5.951	1977	40.742	46.537	6.525	93.804
1948	5.172	939	-	6.111	1978	41.497	50.388	7.649	99.534
1949	3.965	1.603	-	5.568	1979	47.473	51.606	6.700	105.779
1950	5.017	1.836	-	6.853	1980	30.807	74.490	5.186	110.483
1951	6.869	1.355	-	8.224	1981	23.178	78.486	9.568	111.232
1952	7.722	1.620	-	9.342	1982	27.394	78.404	8.771	114.569
1953	7.411	2.211	-	9.622	1983	28.865	77.670	10.661	117.196
1954	7.128	2.943	-	10.071	1984	33.420	63.536	23.086	120.042
1955	8.937	2.899	-	11.836	1985	33.033	66.286	28.044	127.363
1956	11.182	2.491	-	13.673	1986	27.415	64.276	37.458	129.149
1957	9.670	4.853	-	14.523	1987	28.167	63.952	41.271	133.390
1958	11.285	5.065	-	16.350	1988	36.233	52.872	50.466	139.571
1959	14.256	3.097	-	17.353	1989	20.047	71.669	56.126	147.842
1960	15.625	2.989	-	18.614	1990	26.184	71.289	54.268	151.711
1961	15.981	4.898	-	20.879	1991	28.367	75.449	55.576	159.392
1962	16.073	6.832	-	22.905	1992	20.570	84.753	55.782	161.105
1963	21.139	4.758	-	25.897	1993	25.728	79.103	56.059	160.890
1964	20.646	8.880	-	29.526	1994	29.119	80.509	55.314	164.942
1965	19.686	12.037	-	31.723	1995	24.450	89.199	55.445	169.094
1966	27.278	10.421	-	37.699	1996	41.717	78.464	56.329	176.510
1967	22.680	17.957	-	40.637	1997	37.332	96.278	55.297	188.907
1968	24.428	21.366	57	45.851	1998	38.989	97.287	59.002	195.278
1969	30.691	20.604	829	52.124					

— Molinos específicos para grano.

— Molinos de otros productos agrarios.

— Molinos de materias primas o productos industriales en general-

- Molinos de papel.

- Molinos de pólvora.

- Batanes.

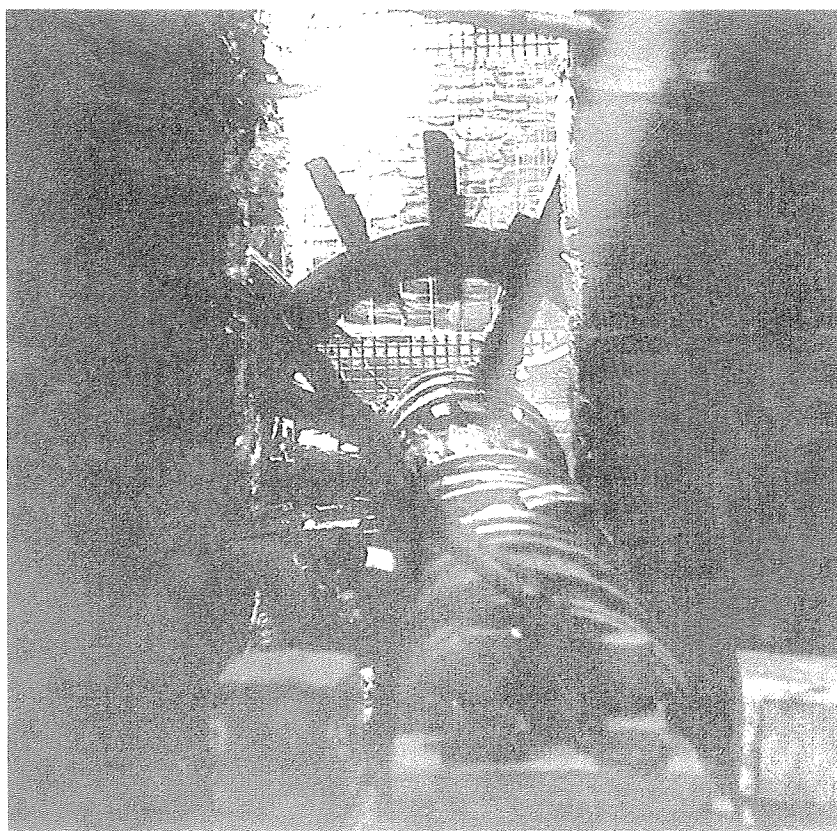
- Fábricas de acuñado de moneda.

- Ferrerías.

Atendiendo los datos ofrecidos por Nicolás García Tapia en su libro "Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII", se deduce que en esa época, y en la provincia de Valladolid, existían 360 molinos movidos por energía hidráulica. Extrapolando con toda clase de reservas (que el citado autor hace) y con los coeficientes de corrección que aparecen como lógicos, podría decirse que en la actual Castilla y León habría 4.100 y que en toda España podrían alcanzar la cifra de 15.000, formando la práctica totali-

dad del tejido industrial de la época y en el que, de modo general, no parece que España estuviese atrasada en relación con el resto de Europa.

Es curiosa la poca información de que disponemos hoy sobre todo esto que, dentro del calendario de la Historia, ocurría ayer. Se debe a que los técnicos de la época apenas escribían y cuando lo hacían facilitaban una información casi ridícula. Así, la única obra importante de la época "Los 21 libros de los ingenios y de las máquinas", del español **Pedro Juan de Lastanosa**, nos da la impresión de que ha sido escrita e ilustrada por un niño. Lo que de los técnicos de entonces conocemos se debe casi siempre a sus obras. Eran mezcla de arquitectos y de ingenieros y es claro que lo que nos ha quedado de ellos son los edificios que levantaron, casi exclusivamente, porque es lo que se ha mantenido sin grandes modificaciones hasta nuestros días.



Ferrería de Compludo (El Bierzo)

Así, sabemos que nuestro paisano **Juan de Herrera** construyó el monasterio de San Lorenzo de El Escorial y como de él se pueden hoy estudiar hasta los mínimos detalles, nos es posible conocer lo que sobre Arquitectura sabía y aplicaba. También sabemos que llevó el agua de los manantiales de Argales hasta Valladolid para abastecer a varias fuentes públicas y que la dificultad de este trabajo se debía al escaso desnivel entre los manantiales y la ciudad, lo que había hecho fracasar a varios anteriormente y que para realizarlo puso a punto un nivel que le ayudó decisivamente. De este nivel nada sabemos, pero sí que la familia de Juan de Herrera tenía relación con el mundo de las herrerías, tan abundantes entonces en Cantabria como en el resto del norte de España y que trabajó en el proyecto de una de ellas, a la que, es de suponer, aportaría mejoras en algún sentido. A pesar de todo, no sabemos ni de qué herrería se trataba.

A diferencia de los edificios importantes, bien conservados hoy,

Consumo neto de energía eléctrica (Total de España)

Años	Mill. kWh	Variación (%)
1959	13.491	-
1960	14.625	8,4
1961	16.316	11,6
1962	18.276	12,0
1963	20.088	9,9
1964	22.479	11,9
1965	25.131	11,8
1966	28.695	14,2
1967	32.049	11,7
1968	36.204	13,0
1969	41.028	13,3
1970	45.300	10,4
1971	48.611	7,3
1972	54.756	12,6
1973	61.668	12,6
1974	66.842	8,4
1975	69.271	3,6
1976	74.928	8,2
1977	78.065	4,2
1978	82.359	5,5
1979	87.965	6,8
1980	92.006	4,6
1981	93.196	1,3
1982	93.558	0,4
1983	97.979	4,7
1984	102.623	4,7
1985	105.579	2,9
1986	107.953	2,2
1987	112.022	3,8
1988	116.988	4,4
1989	125.401	7,2
1990	129.161	3,0
1991	138.046	6,9
1992	139.423	1,0
1993	139.065	0,3
1994	145.033	4,3
1995	150.289	3,6
1996	154.928	3,1
1997	161.382	4,2
1998	172.368	6,8

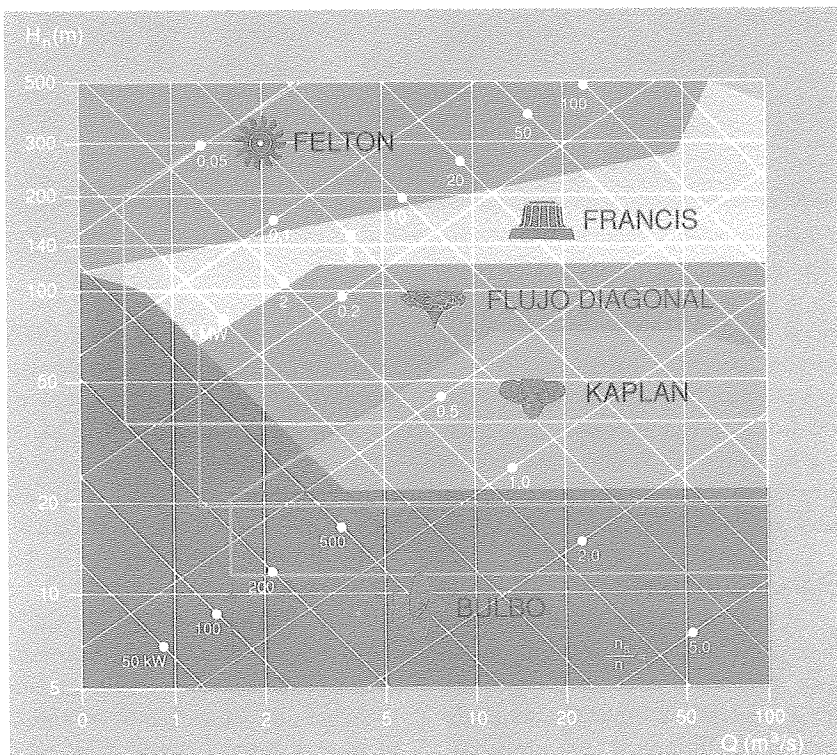
de un aparato de medida o de una instalación industrial, que al final quedó obsoleta, el tiempo todo lo ha borrado. De ahí nuestra falta de información.

Volviendo a lo nuestro y reiterando las reservas, las 15.000 instalaciones fabriles movidas por energía hidráulica en España en los siglos XVI y XVII, suponiendo una potencia media por instalación de 3 kW (necesaria para mover dos piedras de molino) arrojan una potencia total de 45.000 kW, cifra impresionante para la época y que liberó a nuestros antepasados de un enorme y penosísimo trabajo, pero ridícula si se compara con los 18 millones de kW de potencia en centrales hidroeléctricas que teníamos en España en 1998, que es

400 veces superior.

Además, es seguro que su empleo puso las bases para que luego, cuando se descubrió la máquina de vapor, se produjese la revolución industrial, ya que aunque no se disponía de una masa barata, grande y versátil de energía mecánica, que fue lo que aportó la máquina de vapor; los procesos industriales aparecieron y se fueron mejorando gracias a esa energía hidráulica, lo que permitió una base de salida adecuada a la revolución industrial tan pronto se dispuso de suficiente energía mecánica.

El funcionamiento de los molinos de grano o molinos maquileros fue disminuyendo a medida que las consecuencias de la revolución industrial supusieron cambios cada vez más rápidos en el sistema de vida de la Sociedad hasta que casi desaparecieron. Alguno queda activo hoy día si bien en Cantabria no llegan a una docena y ello por razones más



Elección de turbina en función de Q-H

románticas que económicas. Sin embargo, el aprovechamiento de la energía hidráulica no ha desaparecido, sino todo lo contrario.

El descubrimiento y la utilización de la energía eléctrica facilitaron la reconversión de los mejores molinos que se dedicaron en un principio a generar energía eléctrica para fabricar carburo cálcico.

El desconocimiento del empleo de la alta tensión para transportar aceptablemente la energía eléctrica y lo apartado del emplazamiento de muchos molinos, hacía que la energía en ellos generada no tuviese otra aplicación práctica que la fabricación de carburo cálcico al horno eléctrico, haciendo pasar el arco eléctrico a través de una mezcla de piedra caliza y de carbón. Así nació una potente y extendida tecnología de utilización del acetileno en las ciudades, sobre todo para el alumbrado doméstico y público, finalmente de vida efímera al poderse llevar la energía eléctrica a las ciudades y disponerse de aparatos receptores con los que se consiguen multitud de aplicaciones.

El descubrimiento y puesta a punto a mediados del siglo XIX de las turbinas hidráulicas y la mejora de la tecnología mecánica, que posibilitó la fabricación de máquinas cada vez mayores, hizo que se pudiese aprovechar más y mejor la energía hidráulica para generar energía eléctrica. Nacieron las empresas dedicadas a generar, transportar, distribuir y vender energía eléctrica (siempre pequeñas en su origen) que disponían de centrales eléctricas hidráulicas que soportaban el grueso de la generación y de centrales térmicas (en muchos casos con motores de gas pobre) para seguir disponiendo de suministro en épocas de estiaje.

Las centrales hidroeléctricas se concebían y diseñaban con el objetivo de que generasen el mayor número de horas posible al año, ya que los costes de generación eran muy bajos comparados con los de las centrales térmicas y la potencia que

demandaban los usuarios era pequeña. Esas necesidades, juntamente con la de evitar los efectos de las grandes crecidas de los ríos, secularmente inevitables y de funestas consecuencias, dieron origen a la construcción de grandes embalses en los mismos, que concentran el salto de un tramo largo de un río en un solo punto y regulan el caudal por su efecto amortiguador. Así se fueron construyendo centrales cada vez

para una Sociedad moderna han crecido de tal forma que se hace imposible el abastecimiento desde centrales hidroeléctricas exclusivamente. Este tipo de centrales ayudan al sistema de generación tan sólo con una parte minoritaria de la energía necesaria.

En nuestro caso español y dentro de la península, la construcción de los grandes embalses (básica para la generación hidroeléctrica y para la amortiguación de las crecidas) se



*Rehabilitación de la central hidroeléctrica de Vozmediano (Soria) en el río Queiles (320 kW)
(Fuente: ERZ)*

mayores en caudal y en salto, y se fueron abandonando las más pequeñas cuando la atención permanente del hombre, que precisaban, las hizo no rentables. Todo ello configuró la situación actual que trataremos en otro apartado.

Situación presente

Un sistema eléctrico alimentado desde centrales hidroeléctricas en las que una parte suficiente de éstas tomen el agua de embalses, se puede regular sin dificultad. Sin embargo, las necesidades de energía eléctrica

llevó a cabo desde 1950 hasta 1970, periodo en el que se pasó de una capacidad de 7.000 hm³ a otra de 37.000 hm³, manejando grandes números. Desde 1970 ha seguido aumentando la capacidad total más lentamente hasta llegar en la actualidad a situarse en el entorno de los 50.000 hm³.

En el mismo territorio de la España peninsular, la lluvia media caída entre 1947 y 1990, ambos inclusive, ha sido de 670 mm/año, lo que supone 331.085 hm³/año. Nuestra capacidad de embalse es, por

tanto, el 15% de lo que llueve en un año, por término medio.

Considerando que la altitud media del territorio español peninsular sobre el nivel del mar es de 660 m y que toda la energía potencial del agua de lluvia en el momento en que toca con la tierra pudiese ser transformada en energía eléctrica hasta que retornase al mar (lo cual es hacer números por pura diversión sin que signifiquen nada que pueda hacerse realidad) tendríamos una cantidad anual de energía de 619.025 millones de kWh o, lo que es lo mismo, 619.025 GWh. No obstante su inutilidad práctica, quedémonos con la cifra para sacar luego conclusiones.

En el caso español al que nos venimos refiriendo, se ve en el Cuadro 1 que la producción hidroeléctrica era en 1940 más del 90% del total y que se mantuvo mayor la producción hidroeléctrica que la termoeléctrica hasta 1973, a pesar de estar ya contruidos los grandes embalses, porque en esa época se produjo un rápido incremento del consumo que las instalaciones de producción hidroeléctrica no pudieron atender. A partir de ahí y seguramente de una forma irreversible, la generación hidroeléctrica supone un porcentaje pequeño, pero muy interesante, del total.

Desde 1968 a 1998, la producción hidroeléctrica anual media ha sido de 30.950 GWh habiéndose

dado la máxima en 1979, con 47.500 GWh y la mínima en 1989 con 20.050 GWh, con lo que la máxima es 2,37 veces la mínima.

En el Cuadro II se recogen los consumos netos de energía eléctrica en España desde 1959 hasta 1998, ambos inclusive.

Si estimamos que la generación española de energía eléctrica debe ser de 200.000 GWh para abastecer la demanda, se ve que tan sólo un 15% será de generación hidroeléctrica por término medio.

Siempre será deseable por su condición de energía renovable y por su coste, además de por su gran capacidad para regular el sistema, cualidad cada vez más necesaria a medida de que la generación eólica (con nula capacidad de regulación e incluso con fuerte inestabilidad) se vaya haciendo más presente.

Comparando la producción hidroeléctrica media de 30.950 GWh con la que, también por término medio sería posible, que, como se ha dicho más arriba, alcanzaría la cifra de 619.025 GWh, se ve que se aprovecha el 5% del total teórico. Es un porcentaje apreciable pero no una cifra para sentirse orgulloso. Seguramente se podría duplicar o triplicar sin grandes dificultades técnicas. Sobre esto merece la pena hacer una reflexión al hilo de la corta historia de la utilización generalizada de la energía eléctrica.

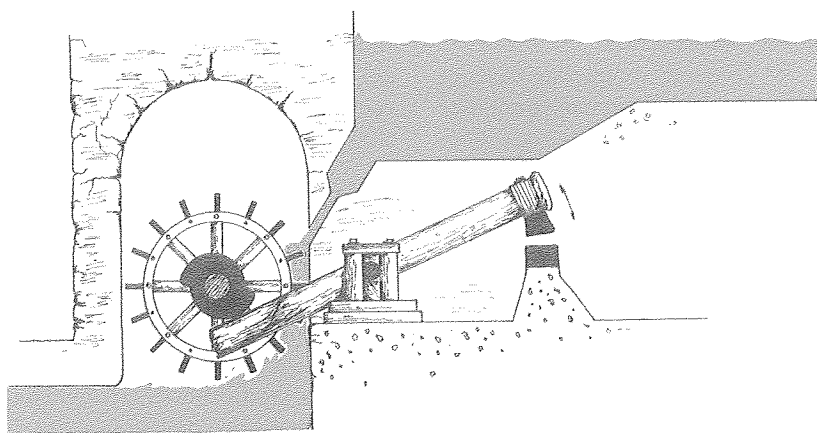
Las primeras centrales hidroeléctricas fueron molinos medievales reconvertidos y su potencia era muy pequeña tanto porque lo eran las primeras turbinas como por la pequeña potencia que se demandaba por los abonados. Con una central de 200 kVA se suministraba a una extensión territorial de 200 km² con una población de 10.000 habitantes. En esas condiciones el criterio técnico para proyectar una central era que, con agua fluyente y no embalsada, pudiese dar la potencia nominal el mayor número de horas posibles al año. De esa forma, las horas de utilización al año eran muy elevadas, pero la energía obtenida era pequeña. Eso se aprecia bien en la actualidad cuando se están rehabilitando aquellas centrales, hoy convertidas en minicentrales, después de haber estado paradas muchos años, ya que es general que se aumente la potencia nominal para obtener más energía.

El mismo fenómeno se da en los aprovechamientos hidroeléctricos que no cuentan con un embalse de suficiente capacidad. Parece como si cuando se hicieron sobrase la potencia y no se tuviese suficiente visión de futuro, porque en general se aprecia que los canales, las tuberías forzadas y las máquinas adolecen de raquitismo, con lo que en época de lluvias se vierten por los aliviaderos grandes cantidades de agua que no se puede aprovechar para generar.

Esto se hace cada vez más patente porque con una moratoria nuclear que seguramente se va a mantener en todo el mundo occidental y con sus gobiernos limitando las emisiones de CO₂, siguiendo las indicaciones de la comunidad científica, pocas opciones hay fuera de las energías renovables entre las que la hidráulica, hoy por hoy, es la principal.

El futuro deseable

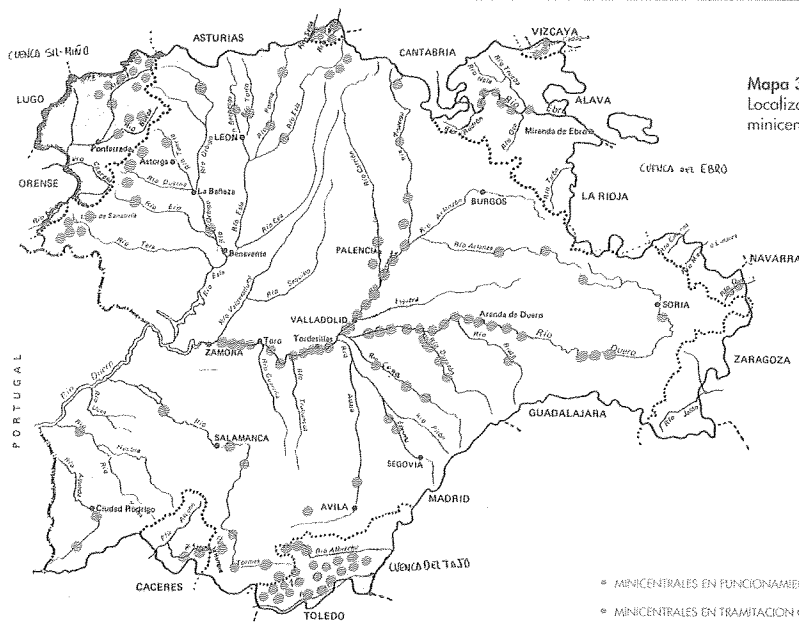
A pesar de cuantas campañas de ahorro de energía se hiciesen, y deberían sin duda alguna llevarse a cabo



Herrería de Compludo (Dibujo sintético)

para que la Sociedad despilfarrase menos, para que los receptores en general y los procesos industriales en particular fuesen menos consumidores de energía eléctrica y para que este tipo de energía no se emplease en generar calor casi en ningún caso, la demanda de una Sociedad en desarrollo aún no va a disminuir. Para satisfacerla, en el caso español, tendremos que generar 200.000 GWh más o menos y hoy por hoy tan sólo una media de 30.950 GWh serán hidroeléctricos.

Por otro lado, cada GWh generado con central térmica supone la emisión a la atmósfera de un poco más de 1.000 toneladas de CO₂, emisiones que nos hemos comprometido a disminuir notablemente en las conferencias de Madrid y de Kyoto. Desde este orden de ideas, la cola de docena y media de centrales a gas natural que espera la bendición del Gobierno parece un despropósito a menos que estimemos que en ambas Conferencias no se tomaron decisiones acertadas y que la defensa a ultranza del somormujo, por ejemplo, sea más importante que la limitación de las emisiones de CO₂. Mientras esa conclusión no esté avalada por la comunidad científica, más valdrá defender ambas cosas hasta buscar un equilibrio razonable y no seguir en la situación actual, en la que se acabarán poniendo en marcha 18 centrales a gas natural del orden de 400 MVA cada una sin que se lleve a cabo ningún debate social y la prevista construcción o ampliación de un embalse se convierte en un *casus belli* para un sector importante de la Sociedad. Quien tiene la capacidad y la responsabilidad para ello, debería afinar más el criterio imperante en cuanto se refiere a defensa



Mapa 3.1
Localización de las principales minicentrales en Castilla y León.

Localización de las principales minicentrales en Castilla y León

del medio ambiente, de forma que el desarrollo real y extendido de las energías renovables se lleve a cabo y no se dé lugar a lo que parece va a ocurrir en nuestro entorno, donde se instalará una térmica a gas en Requejada y no hay un solo Parque eólico con luz verde en toda la Comunidad Autónoma.

Centrándonos en la energía hidroeléctrica, lo que hemos de defender es la necesidad de incrementar la cantidad de energía así generada hasta donde sea razonable, basándonos en la adopción decidida de las siguientes medidas:

1ª Construcción de los embalses contemplados en el Plan Nacional de Obras Hidráulicas y aún no realizados, con el consiguiente aprovechamiento hidroeléctrico.

2º Fomento de que los titulares de concesiones de aprovechamientos de aguas para generar energía eléctrica modifiquen sus términos y sus instalaciones para generar más energía, evitando una parte importante de los vertidos de agua por aliviaderos.

3º Fomento real de la construcción de las denominadas minicentrales hidráulicas, regulando suficientemente las condiciones técnicas y medioambientales para la concesión,

para evitar la situación real actual, consistente en que las autoridades medioambientales puedan frenar y de hecho frenen en muchas regiones, todos o casi todos los proyectos de estas minicentrales, sin base razonable técnica, científica o legal. El desamparo reglamentario en que se encuentran propicia que sea la actitud humana más prudente para evitar la enorme presión que sobre ellas pueden realizar los grupos ecologistas cuyo norte aparente no es otro que dificultar la actividad económica de la Sociedad.

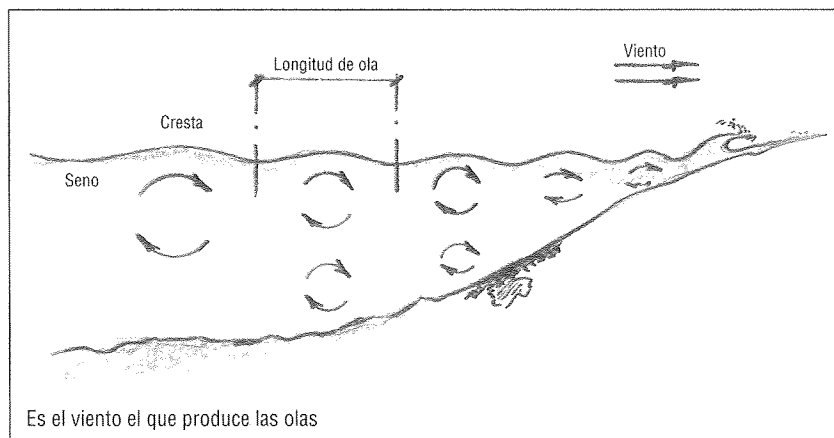
4º Modificación de los criterios de explotación de los embalses dando mayor peso a la generación hidroeléctrica dentro del conjunto de parámetros que determinan las decisiones a tomar, manteniendo la mayor cota del agua posible, dentro de minimizar el riesgo a tener que verter por los aliviaderos.

Con estas medidas, impulsadas resueltamente por los gobiernos central y autonómicos, se colocaría la generación hidroeléctrica en España en el lugar en que nuestra poca pluviosidad pero nuestra potente orografía parecen aconsejar, continuando con una tradición de aprovechamiento energético de nuestros ríos de muchos siglos de antigüedad. ■

hayan unido para trabajar en una investigación común de objetivos tan ambiciosos.

La fusión se convertirá en los tempranos años 2000 en la gran alternativa a los problemas de abastecimiento de petróleo, de gas, de carbón y de uranio. También será una solución frente a los daños ambientales que origina la quema de residuos fósiles.

Lograr una cámara de combustión capaz de resistir las muy altas temperaturas necesarias para producir la fusión (del orden de 100 millones de grados centígrados) es un grave problema ya que, por ahora, no existe ningún horno capaz de aguantar tales temperaturas. Otro problema sería



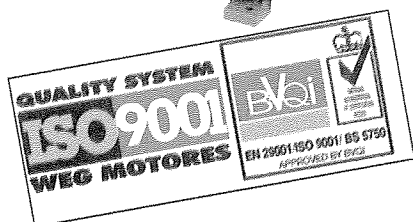
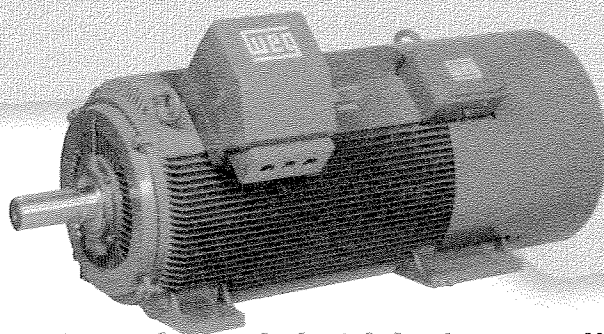
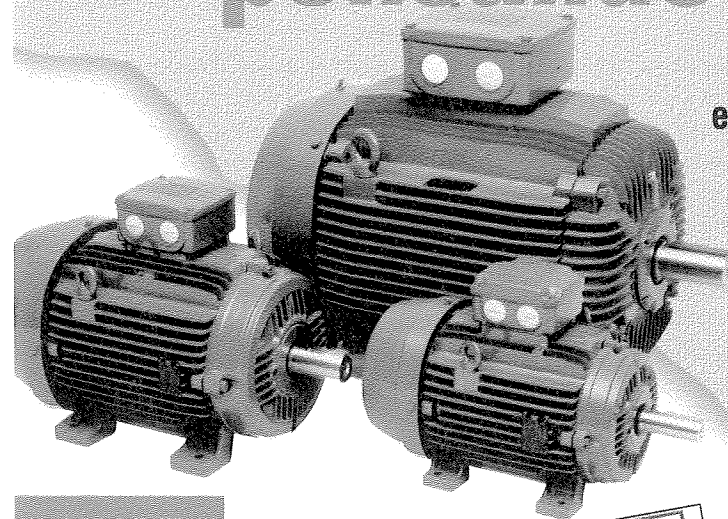
mantener esa temperatura constante necesaria para producir la fusión, por lo cual habría que aislar el combustible de las paredes. En la energía de fusión, bastan unos pocos gramos de

combustible para obtener partículas altamente energéticas (alfa) que se autocalicientan y producen ignición. ■

(De la Revista General de Marina, marzo 1999)

pensando en MOTORES

Pensando en motores, WEG es uno de los mayores fabricantes del mundo. Pensando en aplicaciones, WEG tiene el motor que necesita para cualquier aplicación.



Para motores de uso industrial, piense en WEG

Weg Iberia, S.A.

OFICINAS CENTRALES

dro Teixeira, 8 - 28020 MADRID
91 556 02 15 - Fax: 91 555 84 32
-mail:weg.iberia@offcampus.es

CATALUÑA Y LEVANTE

Rosellón, 495
08025 BARCELONA
Tel. y Fax: 93 456 24 51

INTERSUINSA

DISTRIBUIDOR OFICIAL

Herreros, 37-Polig. Ind. Los Angeles-28906 GETAFE (Madrid)
Tel.: 91 696 35 55 - Fax: 91 696 36 02
e-mail:intersuinsamd@jet.es