

¿Cómo conseguir la energía eléctrica que España necesita?

Making up Spain's deficit in electrical energy?

José Liria Montañés. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
jliria@ciccp.es

Resumen: España es un país muy deficitario en energía eléctrica y por supuesto en todas las energías de tipo combustible, hasta el punto que tiene que importar hasta más del 80% de sus necesidades totales. Ello plantea un problema nacional de envergadura y se producen discusiones acerca de las soluciones más recomendables a adoptar. Lo malo es que en estas discusiones no se esgrimen fundamentalmente criterios técnicos y económicos, sino que frente a un desconocimiento importante de la mayoría de la población se proponen posturas que no son las mejores o incluso son desacertadas, basadas en opiniones de grupos sociales o políticos.

Las técnicas de producción de energía eléctrica son muchas y variadas y cada una tiene sus especialistas a los que es imprescindible consultar. Este artículo no tiene la pretensión de perfeccionar ninguno de estos métodos, sino simplemente recalcar de forma comparativa algunas de sus características, de forma que el lector pueda formar, con más criterio que antes, su opinión sobre el esquema más recomendable a adoptar. Todo ello a la vista de que la electricidad necesaria en España alcanza valores importantes, ya que la potencia instalada alcanza más de 65.000 MW y la producción anual más de 250.000 GWh (cifras de hace unos tres años).

Palabras Clave: Biomasa, Biodiesel; Energía Solar; Hidroeléctricas; Mareomotrices; Geotérmicas; Centrales de Carbón; Centrales de Gas; Nucleares

Abstract: Spain is a country with a large deficit in electrical energy and in all fuel-based energies, to the extent that it has to import over 80% of its total requirements. This raises a problem of national scale and has led to all manner of discussions regarding the solutions that need to be adopted. The downside of all these discussions is that they are not essentially based on technical and economic criteria and, in the light of the lack of awareness largely shown by the general public, tend to be focused on standpoints based on the opinions of social or political groups which do not serve for improvement and which, in some instances, are ill-advised.

There are many different means of producing electrical energy and each of these areas has its own specialists who must be consulted. This article does not intend to perfect any of these methods and purely aims to compare the characteristics of the same so that the reader may come to their own opinion, on the basis of a somewhat improved criterion, regarding the most suitable form. All this in view of the substantial electricity requirements in Spain where the installed capacity is over 65,000 MW and the annual production over 250,000 GWh (figures from 2005).

Keywords: Biomass; Biodiesel; Solar Energy; Hydroelectricity; Tidal Power Plants; Coal Power Plants; Gas Plants; Nuclear Power Stations.

Metodología del estudio

Para la realización de este estudio vamos a citar las distintas centrales de producción de energía eléctrica, con unas brevísimas notas de cada una para señalar sus puntos característicos, empezando por las llamadas de energía renovable (biomasa, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, hidráulicas,

Methodology of the study

In this study we shall make reference to the different forms of electrical energy production with a brief indication of the most characteristic aspects of the same. The study shall start off by considering the renewable energies (biomass, solar thermal energy, photovoltaic solar energy, hydropower, wind power,

eólicas, mareomotrices, geotérmicas, ...), para continuar con las de energía no renovable (carbón, petróleo, gas natural y nucleares). En este último grupo es ineludible una alusión previa al compromiso de Kyoto. Finalmente, como consecuencia, proponemos una forma de actuación.

Centrales térmicas de biomasa

Se llama biomasa a un combustible no formado en épocas geológicas, sino obtenible a partir de productos agrícolas, renovables cada año por efecto de la energía solar, que transforma los nutrientes naturales y los abonos aportados al suelo en material capaz de transformarse en energía calorífica en una central térmica.

Con la biomasa pueden producirse combustibles líquidos, de los que el más representativo es el biodiesel. Es un sustituto del diesel natural y es relativamente fácil de obtener. Los biocombustibles pueden utilizarse en automoción, tema no incluido en este artículo pero que fue muy desarrollado en Brasil en los años 80.

Siendo el diesel un combustible utilizable en ciertas centrales térmicas, también lo es el biodiesel, dando lugar a un tipo específico de centrales de energía renovable. En U.S.A. se han hecho estudios sobre esta solución, deduciendo que de plantaciones de colza (de la que se obtiene un aceite industrial) se pueden obtener 1.300 litros de biodiesel por Ha. Teniendo en cuenta que para producir un KWH se necesitan 0,25 litros de gasoil, con una Ha se pueden producir unos 5.200 KWH al año. Si teóricamente nos propusiéramos tener un parque nacional de centrales de biomasa, capaz de hacer frente al consumo nacional actual, que es de más de 250.000 GWH anuales, se necesitarían 48 millones de Ha. Como la superficie total de España es de unos 50 millones de Ha., toda la superficie de la nación tendría que dedicarse al cultivo de biomasa, resultado evidentemente absurdo.

La razón es que la energía solar se transforma en energía biocalorífica mediante un complicado proceso de fotosíntesis, con unos rendimientos muy bajos (quizás del 1%) debido a que la propia planta utiliza para vivir parte de los productos obtenidos y que parte de la energía solar la utiliza en labores complementarias, pero imprescindibles, como es

tidal power, geothermal power ...) before moving on to the non-renewable energies (coal, oil, natural gas and nuclear) and with inevitable reference to Kyoto Protocol. By way of summary, we shall then propose a form of action.

Biomass thermal plants

Biomass refers to a fuel not formed during geological periods and one obtained from agricultural products that are renewed each year through solar energy and which transform the natural nutrient and fertilizers given to the soil into a material capable of conversion into calorific energy within a thermal power plant.

Biomass produces liquid fuels, the most characteristic of which being that of biodiesel. This is a substitute for natural diesel and is relatively easy to obtain. Biofuels may be employed by vehicles and, while not the subject of the present article, was widely developed in Brazil throughout the eighties.

As diesel fuel is employed in certain thermal power plants, this may similarly be the case of biodiesels and gives rise to a specific type of renewable energy power plant. Studies on biodiesels conducted in the USA have shown that rapeseed plantations (from which industrial oil is made) may provide up to 1,300 litres of biodiesel per hectare. When considering that 0.25 litres of gas oil are required to produce one KWH, a hectare may then produce some 5,200 KWH per year. If one were to propose a national park of biomass plants capable of meeting our current domestic consumption of 250,000 GWH per year, it would be necessary to devote 48 million hectares of land. As the total land surface of Spain is some 50 million Ha, the entire surface of the country would have to be dedicated to the cultivation of biomass, which is frankly absurd.

This is down to the fact that solar energy is transformed into biocalorific energy by a complicated process of photosynthesis, with very low yields (of around 1%) as the plant itself requires part of the product obtained for its very existence and part of the solar energy is required for complementary, but essential, purposes, such as raising the sap to the upper parts of the plant.

The supporters of this type of electrical energy production have put forward possibilities and



Materia prima
para el
biodiesel/
Raw material for
biodiesel.

por ejemplo la elevación de la savia hasta las partes más elevadas de la planta.

Los defensores de este sistema de obtención de energía eléctrica esgrimen posibles y actitudes para mejorar la producción de biomasa o el costo de la electricidad resultante. Unos creen que la implantación del regadío es una solución, olvidando los altos costos de este sistema y la propia escasez de agua del país y otros piensan que la biomasa se debe producir en zonas pobres subdesarrolladas en donde se pueda disponer de vegetación espontánea, sin tener en cuenta que la recolección reiterada de la cosecha produce un empobrecimiento del terreno, como no sea que se utilicen los necesarios abonos y cambiando por tanto el concepto y costo de la explotación agrícola.

Pero lo más grave es que la biomasa es un competidor de los productos agrícolas destinados al consumo humano. En estos momentos en que la producción de alimentos escasea y sus precios suben disparatadamente (el arroz en pocos meses de 2008 ha subido su precio internacional al por mayor desde 350 dólares la tonelada a 1.000 dólares) no es recomendable aumentar la producción de biomasa a costa de reducir la de los alimentos.

Muy tentadora resulta a primera vista para el ingeniero la posible utilización de residuos urbanos para la producción de energía eléctrica. Hay que tener en cuenta que el problema que tienen las grandes ciudades para liberarse de las basuras es enorme, costoso y difícil. La eliminación por combustión de parte de ellas, ayuda sin duda a la resolución del problema y la electricidad que pueda producirse rebajará los costos de la operación. Pe-

proposals to improve the production of biomass or the cost of the ensuing electricity. Some believe that the use of irrigation would serve as a solution while ignoring the considerable costs entailed by the same and the scarcity of water in the country. Others maintain that the biomass should be produced in poorer, under-developed areas where spontaneous vegetation is available, without considering that the repeated harvesting of the crop leads to the impoverishment of the soil unless this is duly fertilized and, thereby, changing both the concept and the cost of the agricultural farming.

More importantly, biomass competes with agricultural products destined for human consumption. At a time where food production is suffering cutbacks and where prices are rising alarmingly (the international wholesale price of rice has soared from 350 dollars a ton to 1,000 dollars in just a few months this year), it is not recommendable to increase the production of biomass to the detriment of foodstuff.

On first sight it is very tempting for the engineer to embrace the potential use of urban waste to produce electrical energy. It is necessary to bear in mind that the refuse disposal problems of large cities are enormous, costly and complicated. The elimination of part of this waste by incineration undoubtedly goes some way to solving the problem and the ensuing production of electricity helps to reduce operational costs. However, this has a very minor influence when considering the wider picture of solving the electrical energy problem in Spain. This may be readily verified by the proposals to install a 19.6 MW power plant at the Valdemingómez landfill (Madrid) and another one



Vertedero/
Landfill.

ro desde el punto de vista de solucionar el problema de la energía eléctrica en España, es de influencia despreciable. Basta ver que se habla de la instalación de una central de 19,6 MW de potencia en el vertedero de Valdemingómez (en Madrid) y de otro de la misma potencia en San Adrián (Barcelona). Frente a la potencia total instalada en España de 65.000 MW, su influencia es despreciable.

Si tenemos una central de biomasa, buena es, pero no parece recomendable disparar su número y desde luego la solución de España va por otros derroteros.

Centrales solares térmicas

El sol proporciona una energía térmica importantísima, que la gastemos o no continúa llegando de forma insistente. Gran parte de ella es de tipo calorífico, lo que permite construir centrales eléctricas que la utilicen. En general utilizan espejos de forma parabólica (o parecida) que concentran la radiación en su foco, donde hay unas tuberías que conducen un fluido, cuyo sobrecalentamiento se aprovecha en la central. Otra forma de captar y concentrar la energía térmica es que los rayos concentrados de muchos espejos se reúnan en un punto determinado. No es misión de este artículo analizar las ventajas e inconvenientes de cada sistema, pero sí el analizar los beneficios y servidumbres que van anejos a la utilización de este tipo de centrales.

of the same capacity at San Adrian (Barcelona). In the light of the total installed capacity in Spain of 65,000 MW, the influence of these plants is truly negligible.

While it is fair to accept existing biomass plants, we do not consider it recommendable to go too far in this direction as the solution for Spain requires other courses of action.

Solar thermal power plants

The sun provides a vast amount of thermal energy that continues to be produced regardless of any use we may make of the same. A large proportion of this is of calorific nature which may be employed by electric power plants. These generally employ parabolic (or similar shaped) mirrors that concentrate the radiation at the focal point where fluid-filled pipes generate super-heated steam for use in a power plant. A further means of collecting and concentrating thermal energy is that employing a whole series of mirrors and where the sun's rays are focused on one specific point. This article does not aim to analyse the advantages or disadvantages of each system, but to consider the associated benefits and limitations of these types of plants.

The first question to be asked is the area of ground necessary for a specific power. We have examined the data for a plant of this type recently proposed for Miajadas del Tiétar (Extremadura). This was due to have a power of 50 MW and a total surface area of 233 Ha, which then implies 4.66 Ha per MW. While it is the true that other companies have reduced this figure to nigh on one quarter, it is also the case that the reflecting surface area of the mirrors is not the same as the total surface area around the plant.

When accepting the figures for the Extremadura project, in order to provide an installed capacity similar to that existing at present in Spain of over 65,000 MW with this type of plant, it would then be necessary to set aside $65,000 \text{ MW} \times 4.66 \text{ Ha/MW} = 302,900 \text{ Ha}$, which while very much lower than that required for biomass, is still considerable and impossible to obtain under normal methods of expropriation or enforced purchase of land in Spain. This surface area is more than double the entire irrigated land area under the Badajoz Plan.

It is also necessary to make two additional observations. The first refers to the calorific solar power

La primera pregunta interesante es saber cual es la superficie de terreno necesaria para una potencia determinada. Hemos cotejado datos de una central de este tipo cuya construcción estaba propuesta muy recientemente en Miajadas del Tiétar (Extremadura). Su potencia sería de 50 Mw y la superficie total de ocupación 233 HA., lo que conduce a 4,66 HA. por MW. Bien es verdad que existen empresas que reducen esa cifra a casi la cuarta parte, pero es evidente que no es lo mismo la superficie reflectante de los espejos que la superficie total cercada de la central.

Dando por buena la cifra del proyecto de Extremadura, para tener con este tipo de centrales una potencia instalada igual a la existente ahora en España, que sobrepasa los 65.000 MW harían falta $65.000 \text{ MW} \times 4,66 \text{ Ha/MW} = 302.900 \text{ HA}$, cifra muy inferior a la antes citada para la biomasa, pero no obstante muy importante e imposible de obtener con los medios normales de expropiación o compra de terrenos en España. Esa superficie es más del doble de los terrenos de regadío de todo el Plan Badajoz.

Hay que hacer además dos observaciones importantes. La primera se refiere a la potencia solar calorífica disponible en distintas regiones. Los países más ricos en este sentido se encuentran en dos paralelos, uno en el Hemisferio Norte y otro en el hemisferio Sur. El del Norte incluye California, Arizona, Mauritania, Mali, República Centroafricana, Sudan, Arabia Saudita, Afganistán e Irán. Otros países del mismo paralelo no disfrutan de la misma riqueza, porque razones climatológicas debidas a vientos marinos, disminuyen su potencial. En el paralelo del hemisferio Sur los países más beneficiados son Perú y quizás Bolivia, gran parte de la antigua Unión Sudafricana y la mayor parte de Australia. La potencia disponible por Ha. en la mitad Sur de España es del orden de la mitad de la de por ejemplo Mauritania y la mitad Norte de nuestro país, de tan sólo la tercera parte. Posiblemente el lugar elegido mencionado de Extremadura es uno de los mejores (quizás Almería también lo fuera), pero en general nuestro país no es favorable para este tipo de instalaciones. Cosa diferente es en lugares de Arizona y California, donde hay varias empresas españolas con proyectos de envergadura.

La segunda observación importante se refiere al horario de producción de energía, muy diferente al de la curva de la demanda, lo que exige que estas

available in different regions. The countries with the highest sources of solar radiation are located in two parallels, one in the Northern Hemisphere and one in the Southern Hemisphere. The parallel in the Northern Hemisphere includes California, Arizona, Mauritania, Central African Republic, Sudan, Saudi Arabia, Afghanistan and Iran. Other countries within the same parallel do not receive the same intensity as their weather conditions and sea winds reduce their potential. In the parallel in the Southern Hemisphere the countries with the highest solar radiation are Peru and possibly Bolivia, a large part of the former Union of South Africa and the majority of Australia. The available power per hectare in the southern half of Spain is about half that of, say, Mauritania and that of the Northern half of the country is just around a third. The area of Extremadura, referred to above, is one of the best areas (along with Almeria) but in general terms, Spain is not well suited to these types of installations. A very different case is that of places such as Arizona and California where various Spanish companies have undertaken large-scale projects.

The second observation to be made refers to the daily period for energy production which is very different to the demand curve, and which then requires the parallel construction of heat-accumulator plants or other types of energy storage alongside the solar plants. The hourly curve of energy production consists of one part similar to a horizontal line, which extends from just after sunrise to just before sunset, with an abrupt rise at the beginning and a similarly sharp fall at the end. The almost horizontal part of the curve is higher or lower depending on the season.

The importance of these types of power plants cannot be put into question, but Spain is not particularly well suited to the same.

Photovoltaic power plants

Sunlight acts in a fascinating way on solar cells formed by semi-conductor materials (normally silicon which has the property of insulating at low temperatures and acting as a conductor at high temperatures) that are placed in two insulated layers. Sunlight is capable of displacing an electron of silicon, which is immediately replaced by another from the next atom. This then creates an electrical current which runs from one layer to the other which act as positive and negative poles. A

centrales vengan acompañadas de importantes centrales hidráulicas de acumulación o de otro tipo de centrales de puntas. La curva horaria de producción de energía consta de una parte parecida a una línea horizontal, desde poco después del amanecer hasta poco antes del ocaso, con una subida abrupta al principio y una bajada también muy abrupta al final. La parte casi horizontal de la curva está más alta o más baja dependiendo de la época del año.

La importancia de este tipo de centrales no es en absoluto menospreciable, pero España no es un país especialmente bien dotado para ella.

Centrales solares fotovoltaicas

La energía lumínica del sol es capaz de actuar de una forma interesante sobre las llamadas células solares, formadas por materiales semiconductores (normalmente silicio, que tienen la propiedad de ser aislantes a bajas temperaturas y conductores con altas) colocados en dos capas aisladas. La luz solar es capaz de desprender un electrón del átomo de silicio, que es sustituido inmediatamente por otro de un átomo próximo. De esta forma se puede formar una corriente eléctrica que circula de una capa a otra, que actúan como polos positivo y negativo. Una célula fotovoltaica típica de 100 cm^2 de superficie puede crear una corriente de 0,5 voltios de tensión y 3 amperios de intensidad, es decir alrededor de 1,5 vatios. El rendimiento de la transformación es aún pequeño (del orden del 15%), pero sigue aumentándose. Las células se conectan entre sí formando módulos, que normalmente funcionan a 12 ó 24 voltios. Con ellos se forman paneles solares. En la actualidad el costo del KWH producido (según algunos fabricantes) puede andar alrededor de 0,5 euros.

La corriente que producen los módulos es continua y por tanto no puede conectarse directamente a la red. Sin embargo puede ser de gran utilidad para su uso en comunicaciones terrestres o de satélites, transmisión de señales de medidas hidráulicas o meteorológicas, luces de seguridad, usos domésticos en viviendas aisladas etc. Debe complementarse con baterías de acumulación.

Todo lo dicho hasta aquí no tiene aún aplicación práctica para resolver el problema de la energía en España. Sin embargo es muy interesante el conocer la Ordenanza del Ayuntamiento de Madrid, de



Paneles solares/
Solar panels.

typical photovoltaic cell with a surface area of 100 cm^2 is capable of creating a 0.5 volt and 3 amp current, equivalent to around 1.5 watts. The transformation efficiency is still quite low (around 15%) but continues to increase. The cells are interconnected to form modules which normally operate at 12 or 24 volts and these then form the solar panels. At present the cost per KWh produced (according to some manufacturers) may be set around 0.5 euros.

The current produced by the photovoltaic modules is direct current and cannot be directly connected to the grid. However, this can be of great use for land communications, powering satellites, remote sensing or for weather stations, safety lights or for off-grid power in remote dwellings, etc. This system has to be supplemented by storage batteries.

The system so far described does not yet have a practical application for solving Spain's energy problem. However, it very interesting to learn of the Order issued by Madrid City Council on 27.03.2003 which referred to the collection of solar energy for heating purposes.

This council order referred to new buildings constructed within the municipal district of Madrid and the obligatory installation by owners or promoters of solar collectors for warming domestic hot water and for heating swimming pools.

The order imposes certain minimum uses of solar energy to allow the supply of 30 litres of water at 60°C

27/03/2003, referente a la captación de energía solar para usos térmicos.

Se refiere a edificios de nueva planta situados en el término municipal de Madrid y a la obligada incorporación de sus propietarios o promotores a la captación y utilización de la energía solar para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción de piscinas.

En la orden se imponen unos mínimos de utilización de energía solar, que permitan suministrar 30 litros de agua a 60 grados centígrados por persona en viviendas unifamiliares y otras cifras en otros casos. Los paneles solares pueden estar colocados encima de los faldones inclinados de la cubierta o bien en superficie horizontal.

En la Orden se prevé el uso complementario de otras fuentes de energía (gasóleo, gas natural, electricidad etc).

La finalidad de esta Orden es sin duda sólo el ahorro del consumo de combustibles en general, pero debemos considerar la cantidad de energía máxima que es posible suministrar al edificio por este sistema. Si pensamos por ejemplo en una vivienda unifamiliar de unos 80 m², en la cubierta del edificio se podrán colocar como máximo otros 80 m² de paneles, porque aunque los faldones estén inclinados, siempre hay espacios muertos. La energía producible será $1,5 \text{ W}/100 \text{ cm}^2 \times 80 \text{ m}^2 \times 10.000 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 12.000 \text{ W} = 12 \text{ KW}$. Con edificios de seis plantas (muy normales en Madrid), se dispondrá entonces de una potencia por piso de 2 KW. Teniendo en cuenta que la potencia que normalmente se contrata por vivienda con la Compañía eléctrica es de unos 4 Kw, sin contar la necesaria para el agua caliente sanitaria y desde luego sin contar las piscinas, resulta que la energía fotovoltaica de producción doméstica es francamente insuficiente para el conjunto del problema español. Bueno será sin embargo lo que pueda producir.

Si pensamos en una central de mayores dimensiones, capaz de estar conectada a la red, es imprescindible dotarla de elementos de conversión en corriente alterna y transformadores de tensión.

Centrales hidroeléctricas

Poco debemos decir de ellas, pues sin lugar a duda son las mejores y son sobradamente conocidas. Son de energía limpia y suelen dar menos problemas que otras. Las de agua fluyente (como las que hay en el Rhin) sólo pueden ser centrales de base, pero las que tienen un embalse regulador tienen la enorme



Central hidroeléctrica de Bolarque (Guadalajara)/ Bolarque hydroelectric power plant (Guadalajara).

per person in individual houses and other figures for other cases. The solar panels may be placed on top of the sloping sides of the roof or laid on a horizontal surface.

The order considers the supplementary use of other sources of energy (gas oil, natural gas, electricity, etc).

The purpose of the Order is undoubtedly to save on fuel, but it is also necessary to consider the maximum amount of energy that may be supplied to a building by this system. If we take, by way of example, an individual house of some 80 m², the maximum surface area of the solar panels installed will similarly be around 80 m², as while the roofs are pitched there will always be dead spaces. The energy that may be produced would then be $1.5 \text{ W}/100 \text{ cm}^2 \times 80 \text{ m}^2 \times 10.000 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 12.000 \text{ W} = 12 \text{ kW}$. When applying these figures to a six-storey building (very

ventaja de que se pueden ajustar a las necesidades de la demanda con gran rapidez, lo que las hace unas excelentes centrales de puntas, ajustándose a la curva de la demanda. Las reversibles (que bombean el agua en momentos de sobra de energía y la turbinan para producir energía en momentos de grandes demandas) son las mejores para ajustar la producción al consumo. Desgraciadamente en España tenemos prácticamente agotadas las posibilidades de construcción de nuevas centrales y sólo diremos que hay que esforzarse en construir, aunque sea "con calzador" nuevas centrales reversibles, necesarias para una buena explotación. Sería bueno conseguir construir contraembalses aguas debajo de los pantanos que tienen centrales de pie de presa. Serían excelentes centrales de puntas.

Desde hace algunos años el Gobierno ha impulsado la construcción de minicentrales hidráulicas. Aún quedan por hacer y son modernamente posibles gracias a que se las puede dotar de toda clase de automatismos para estar conectadas a la red, sin necesidad del personal de explotación que antes las hacía prohibitivas. Son sin duda muy útiles en general, pero en el conjunto de potencia total instalada en España tienen muy poca influencia, no llegan a igualar la potencia de dos centrales nucleares.

Centrales eólicas

Son centrales que utilizan el viento como fuerza motriz para mover el rotor de unas turbinas. Desde el punto de vista de su funcionamiento, se hacen simpáticas al ingeniero hidráulico, pues se parecen bastante a las centrales hidráulicas. Sin embargo hay diferencias que resultan esenciales entre ellas y sobre todo dos que son fundamentales.

La primera diferencia esencial es que unas se mueven por el agua en movimiento y las otras por el aire. La mecánica de fluidos, por la que se rigen ambas, nos enseña que la energía se expresa por la misma fórmula, que es $K \cdot M \cdot V^2$, en la cual M es la masa por m^3 y V es la velocidad. La masa del agua es de 1.000 Kg por m^3 , mientras que la del aire es de sólo 1,3 kg/ m^3 , es decir el 0,13 % del agua. La consecuencia es que comparando dos caudales iguales, uno de agua y otro de aire, el segundo sólo es capaz de producir el 0,13 % de energía eléctrica que el primero. Como consecuencia las dimensiones de las turbinas

common in Madrid) of the same surface area, this would then give a power of 2 kW per floor or flat. When considering that the power supply normally contracted with the electricity company is around 4 kW, without considering that necessary for hot domestic water and, obviously, without considering swimming pools, domestically produced photovoltaic energy may then be seen to clearly insufficient for the Spanish problem as a whole, even though everything it produces is well received.

If plants of far greater dimensions are used for grid-connected power generation, an inverter is then required to convert the DC to AC.

Hydroelectric plants

Very little needs to be said about these types of plants as they are undoubtedly the best and most widely known. These plants provide clean energy and tend to pose fewer problems than other types. Plants employing flowing water (such as those on the Rhine) may only be employed as base load plants, while those with regulating reservoirs have the enormous advantage in that they may be very rapidly adjusted to suit demand which then makes them excellent load-following or peaking power plants. Reversible turbine/generator assemblies (that pump water at time of excess generation capacity and release water through a turbine when there is higher demand) are best suited to adjusting production to demand. Having said this, it is now very unlikely that anymore hydroelectric plants will be built in Spain and a very exerted effort would be required to "squeeze in" new reversible plants that may be correctly exploited. It would be convenient to build counter-dams downstream from impoundments with plants at the foot of the dam, as these would serve as excellent peaking power plants.

For several years now, the Spanish government has promoted the construction of mini hydroelectric power plants. These have still yet to be completed and are made all the more possible nowadays by fitting these with all manner of remote sensing devices to connect these to the grid without the need for operating personnel that previously made this type of plant unviable. While there is no doubt concerning the general benefit of these types of plant, in terms of the total installed capacity in Spain these will have very



Parque eólico/
Wind farm.

eólicas (y por tanto las centrales) deben ser mucho más grandes que las hidráulicas.

La segunda diferencia esencial se refiere a la posibilidad de producir energía en las horas que nos convienen por haber más demanda (que hemos citado como beneficio importante de las centrales hidráulicas que no sean estrictamente de agua fluyente), lo que es imposible en las eólicas. Estas últimas necesitan trabajar en conjunción con centrales de puntas y mejor aún, con centrales de acumulación que sean capaces de almacenar la energía sobrante producida durante las horas de bajo consumo.

little influence and will not reach the total power produced by two nuclear plants.

Wind power plants

These plants employ wind action to move the blades of a turbine. From a functional point of view these are looked kindly upon by the water engineer as they operate in a manner akin to that of hydroelectric plants. However, there are essential differences between these energy sources and two in particular.

The first essential difference is that one employs water for its movement while the other employs air. In accordance with fluid mechanics, which governs both forms, energy is expressed by the same formula of $K.M.V^2$, where M is the mass per m^3 and V the velocity. The mass of water is 1,000 kg per m^3 , while that of air is just 1.3 kg/ m^3 , that is 0.13% that of water. As such, when comparing two equal flows of water and air, the latter will only be able to produce 0.13% of the electrical energy of water. As a result the dimensions of the wind turbines (and, subsequently, that of the plants) has to be much larger than that of their hydraulic counterparts.

The second essential difference refers to the possibility of producing energy at times of peak demand (which we have already referred to as an important benefit of reservoir-based hydroelectric plants) and which is not possible with wind energy. Wind plants or farms need to work in conjunction with peaking power plants and, better still, with accumulator installations capable of storing surplus energy produced during times of low demand.

In all reality there is a third important difference. The water flow circulating at hydroelectric plants at any particular time may be forecasted earlier and more precisely than the wind at wind plants. This is an important factor for the general operation of the plant. It is also worth pointing out that the number of effective operating hours for wind plants does not exceed 3,000 hours per year which is somewhat low for a power plant that is not purely a base load plant.

Modern wind turbines (or windmills) normally have a maximum blade diameter moved by the wind of some 130 metres and reach maximum powers of 5,000 kW per mill, though it is more common to find smaller dimensions and capacities. These wind farms would need many individual turbines to produce energy on

En realidad hay una tercera diferencia también importante. El caudal de agua que va a circular en las centrales hidráulicas en un período próximo se puede predecir mejor y con más anticipación que el viento en las centrales eólicas. Ello es un factor importante en la explotación general. Así mismo es de señalar que el número útil de funcionamiento no pasa de unas 3.000 horas anuales, lo cual es poco para centrales que no son auténticamente de base.

Los grupos eólicos actuales (los llaman también molinos) suelen tener como máximo un diámetro de la hélice movida por el viento de unos 130 metros y llegan como máximo a potencias por molino de 5.000 KW, aunque los más frecuentes son de menores dimensiones y capacidad. Para conseguir centrales de suficiente importancia para un consumo nacional, hay que hacerlas con muchos molinos, lo cual origina un paisaje sobrecargado de postes verticales que sin duda originará en plazo no muy largo quejas ecologistas por deterioro del paisaje.

Por lo demás se trata de una energía limpia y renovable, digna de ser tenida en cuenta en las debidas proporciones. Es de señalar que no todos los lugares son igualmente favorables por disponer de más o menos horas de viento anuales y de velocidades dominantes distintas. En muchas ocasiones los lugares junto a la costa son los mejores.

Si hemos supuesto al principio que en la actualidad hay en España una potencia de generación eléctrica total de 65.000 MW, diremos, con el mismo orden de exactitud, que corresponden unos 8.000 MW a la procedencia eólica.

Centrales mareomotrices

Las centrales mareomotrices aprovechan energía de las mareas para producir energía eléctrica. Se basan en el aprovechamiento de una bahía o estuario para construir con una presa un embalse junto al mar. En la presa se implantan unas compuertas que permiten pasar el agua o interceptarla y unas turbinas, que aprovechan el desnivel entre el mar y el del agua del embalse. La explotación se realiza de forma que el agua que se permite pasar desde o hacia el embalse provoque un desnivel suficiente (como mínimo el exigido por las turbinas) durante el mayor tiempo posible (para producir el máximo de energía). Ambas condiciones exigen que la carrera de marea sea grande.

a sufficient scale for national consumption and this would then fill the countryside with vertical posts and undoubtedly lead, in the short term, to ecological complaints regarding the deterioration of the landscape.

However, wind energy is clean and renewable and is worthy of consideration when kept in due proportion. Consideration also has to be given to the sites for these wind farms on account of the varying number of annual wind hours and prevailing wind speeds at different locations throughout the country and where the best sites are frequently to be found on the coast.

We have indicated at the very outset that the total installed capacity in Spain is 65,000 MW, and we may state with the same degree of precision that some 8,000 MW of the same corresponds to wind power production.

Tidal power plants

Tidal power is a form of hydropower that converts the energy of tides into electricity. These plants consist of a barrage set in a bay or estuary that incorporates sluice gates within the barrage wall to stop or allow the passage of water and turbines which use the difference in height between the sea and the water in the basin to produce power. These barrage walls allow water to pass to and from the basin or lagoon in order to create a sufficient head of water across the barrage (to allow the turbines to operate) over the maximum time possible (to create the maximum energy).

One such power plant has been built on the Rance River at its entrance to the English Channel. The Rance tidal power plant has a 250 MW capacity and

Central maremotriz de La Rance, en el Canal de La Mancha/ Rance tidal power plant.



En Francia hay construida una central de este tipo en La Rance, en el Canal de la Mancha. Su potencia es de 250 MW. En ese lugar la carrera de marea máxima es de casi 14 metros, lo que lo hace privilegiado para este tipo de centrales. Hay que recordar que las máximas mareas vivas equinocciales en España se producen en la costa cantábrica, con una altura máxima del orden de 4,50 metros y que en el Mediterráneo son casi nulas. Puede concluirse que no es posible construir centrales de este tipo en España. Tampoco debemos extrañarnos, pues en todo el mundo no totalizan mucho más de una docena de lugares.

Centrales geotérmicas

Son centrales que utilizan la energía geotérmica, es decir la que existe en la tierra a cierta profundidad bajo el suelo. Hay lugares en los que la energía existente es enorme y relativamente poco profunda, pero hay otros en los que es más escasa y más profunda. Un clásico ejemplo de ello es el caso de Filipinas, país en el que la producción eléctrica de este origen alcanza el 27 % del total, o bien el de Islandia, donde el agua caliente de la capital y de los suburbios próximos se obtiene con esta fuente de energía. También hay unos geysers en California que se utilizan con éxito para la producción eléctrica.

El sistema normal de aprovechamiento consiste en realizar dos sondeos relativamente próximos, como los que se hacen para obtener petróleo. Por uno de ellos se inyecta agua que se bombea caliente por el otro. La energía de ésta última se utiliza para producir electricidad.

Salvo una zona que conocemos en la isla de Lanzarote, nunca hemos conocido ningún lugar en España que tenga características aprovechables de esta energía.

Protocolo de Kyoto

Dada la importancia que este tema tiene para la producción de energía eléctrica del mundo y sobre todo de España, hemos considerado imprescindible una corta alusión al mismo.

Tras varios años de gestión, se firmó en 1997, por más de 55 países (cifra mínima exigida), el llamado

at the point of the barrage there is a large range between low and high tide levels that extends to nigh on 14 metres which makes it a very privileged site for these types of plant. In Spain the maximum Spring or Equinoctial tides occur on the Cantabrian coast with maximum heights of around 4.50 metres and in the Mediterranean these tide ranges are practically null. As a result, it is not possible to build this type of plant in Spain, though this is not unduly alarming as there are only around a dozen potential sites throughout the entire world.

Geothermal plants

Geothermal power plants employ energy generated by heat stored beneath the Earth's surface. There are places where there is enormous energy at relatively small depths, though there are others where this energy is more scarce and set at far greater depths. A good example of this is the case of the Philippines where combined geothermal energy accounts for approximately 27% of the country's electricity generation, or Iceland where the this source of energy is employed to heat the homes of the capital and neighbouring suburbs. Geysers have also been successfully harnessed in California to produce electricity.

At a typical site two holes are bored relatively close together, much in the manner of oil bores. Water is then pumped down one bore hole and steam comes up the other. The energy produced by this steam is then employed to generate electricity.

With the sole exception of the Island of Lanzarote, there are no other known locations in Spain with the characteristics necessary for this type of energy production.

Kyoto Protocol

It has been considered essential to make a brief reference to this protocol, given its bearing on the world's production of electric energy.

After several years' negotiation, the Kyoto Protocol was signed by over 55 countries (the minimum required) in 1997. The aim of this Protocol was to combat the problem of climate change through the introduction of international agreements to drastically

Protocolo de Kyoto. Su finalidad era luchar contra el problema del cambio climático, para lo cual se proponía conseguir acuerdos internacionales mediante los cuales se redujeran drásticamente las emisiones de gases que producen el llamado efecto invernadero. Los gases expresamente mencionados fueron seis y entre ellos sobresalen dos, que son el anhídrido carbónico y el metano. El anhídrido carbónico es emitido principalmente por las centrales eléctricas de combustión, sobre todo por las de carbón y conscientemente o no, la finalidad fundamental del Protocolo era reducir el uso de esas centrales. Dos países muy importantes, Estados Unidos y Australia, cuya producción eléctrica proviene fundamentalmente del carbón (tienen magníficas minas, algunas de las cuales se explotan a cielo abierto), no firmaron el Protocolo. Tampoco lo firmaron Japón ni Canadá.

Tras un período de transición, el funcionamiento real del Protocolo ha empezado en 2008, por un primer período de cuatro años, hasta 2012. Los países firmantes (entre ellos España) habían adquirido el compromiso de que la emisión de CO₂ en 2007 no aumentase más de un 5,2% de la emisión en 1997 (esta cifra se corrigió posteriormente). Las cifras toleradas para años sucesivos son función de las existentes en 1997.

Las medidas adoptadas por los diversos países fueron varias. Hay que señalar que aunque las centrales de gas natural también emiten anhídrido carbónico, lo hacen en mucha menor proporción que las de carbón. Mientras éstas producen 750 gramos por KWh, las de gas natural sólo producen 370 gramos, es decir la mitad. Esta característica ha sido aprovechada por Inglaterra, que ha sustituido muchas de sus centrales, que eran de carbón, por otras de gas natural, con lo cual ha reducido las emisiones de CO₂ que en 1990 eran de 10,4 Ton /habitante y año a 9,6 Ton en 2004. Es notable el caso de Francia, cuya producción eléctrica proviene en un 80 % de centrales nucleares (las cuales no emiten ninguno de los seis gases perseguidos por el Protocolo de Kyoto). Gracias a ello su emisión de CO₂ que era de 6,5 Ton por habitante y año en 1990, sólo se ha incrementado a 6,7 Ton en 2004. Pero España, que emitía 5,7 Ton por habitante y año en 1990 ha subido nada menos que a 9 Toneladas en 2004.

La situación española es evidentemente grave, pues el Protocolo de Kyoto ha previsto una fórmula para aquellos países que no puedan (o no quieran) limitar su emisión de CO₂. Consiste en considerar que lo que interesa es limitar la producción mundial y que por tanto un

reduce greenhouse gas emissions. Six greenhouse gases were expressly referred to with particular emphasis on two of the same and, namely, carbon dioxide and methane. Carbon dioxide is mainly emitted by coal-fuelled electricity power plants and, whether intentionally or not, the main aim of the Protocol was to reduce the use of these power plants. Two very important countries, the United States and Australia, who rely heavily on coal for electricity generation (both with magnificent mines, some of which being open-pit coal mines) did not sign to the Protocol and this was similarly the case of Japan and Canada.

Following a transitional period, the first real commitment period of the protocol began in 2008 and will extend to 2012. The signatory countries (including Spain) have undertaken to cap rises in CO₂ emissions to 5.2% of 1997 emissions (this figure was subsequently corrected). The figure allowed for successive years are all in function of those prevailing in 1997.

Various measures were adopted for different countries. It is of note that while natural gas plants emit carbon dioxide, they do so to a far lesser extent than coal power plants. While these latter produce 750 grams per kWh, natural gas plants produce 370 grams, or just less than half. This characteristic has been taken on board in England where many of the coal power plants have since been replaced by natural gas plants, with ensuing reductions in CO₂ emissions from 10.4 tons per habitant in 1990 to 9.6 tons in 2004. The case of France is also worthy of mention, where nuclear power plants (which do not produce any of the six gases targeted by the Kyoto Protocol) account for 80% of all electricity generation. As a result, the CO₂ emissions of 6.5 Ton per habitant recorded in France in 1990 only rose to 6.7 tons by 2004. In Spain, however, the CO₂ emissions of 5.7 tons per habitant per year registered in 1990 soared alarmingly to 9 tons in 2004.

The Spanish situation is obviously very serious as the Kyoto Protocol establishes a mechanism for those countries who cannot (or do not wish) to reduce their CO₂ emissions. This is based on the consideration that it is necessary to restrict world production and, as a result, those countries with excess production may financially aid those with lower production and, in this manner, a group of countries may then comply in block with the permitted figures. This has given rise to

país con exceso de producción, puede ayudar económicamente a otro país para que tenga menor producción y que así el conjunto de varios países cumplan en bloque el conjunto de las cifras permitidas. Ha surgido así el llamado Mercado de Carbón (en realidad es de anhídrido carbónico), dentro de una actuación que llaman MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) a cuya sombra se han formado diversas organizaciones que tratan de gestionar acuerdos entre empresas de diferentes paises. Hemos leído que en Latinoamérica algunas de estas gestoras auguran que tendrán éxito en conectar empresas eléctricas españolas con otras empresas de su continente. Los derechos de emisión de la Tonelada de CO₂ han oscilado entre 6 y 21 €/Tonelada, con un máximo de 29 €, aunque en algún momento se han venido abajo. Para los cálculos que haremos a continuación vamos a suponer un valor medio de 15 €/ ton.

Si examinamos una factura de consumo eléctrico doméstico, el precio del KWH cobrado es 9,33 céntimos de euro (sin I.V.A., ni elementos de medición). Según estudios técnicos publicados, el costo de la producción es el 63,3% del total, es decir $0,633 \times 9,33 \text{ cts/KWH} = 5,90 \text{ céntimos /KWH}$. Recordando que la producción de un KWH en una central de carbón emite 0,750 kg de CO₂, el costo de los derechos de emisión será $0,75 \text{ Ton}/1000/\text{KWH} \times 15 \text{ €/Ton} = 1,125 \text{ céntimos/KWH}$, es decir que la producción se encarece $1,125/5,90 = 19\%$. Si consideramos la reciente elevación mínima de la tarifa del 6%, el sobrecosto por emisión de CO₂ se reduce a $19\% / 1,06 = 17,9\%$. Si la central es de gas natural, en lugar de carbón, el sobrecosto por emisión de CO₂ es de sólo el 8,9%.

Centrales de Carbón

El carbón que se produce en España es escaso y con altos costos de extracción, debido a las malas características de las minas. El carbón importado de por ejemplo Sudáfrica es mucho más económico. Si se subvenciona en nuestro país es por razones sociales y porque después de todo es una energía que no hay que importar, lo cual es un gran alivio para un país como España que trae del exterior el 85% de a energía que consume. A la vista de lo que hemos dicho sobre el Protocolo de Kyoto, las centrales de carbón están en desuso en el mundo cada vez más. No obstante están en marcha unas importantes investigaciones para conseguir unas emisiones más limpias,



Central de carbón/
Coal-fired
power plant.

the so-called Coal Market (though in reality this refers to carbon dioxide) within a process known as the Clean Development Mechanism (CDM) and under which diverse organisations have been formed to foster company agreements in different countries for the purchasing of GHG emissions. We have read that the pertinent exchange agencies are certain of the mutual benefit to be obtained in South America by connecting Spanish electricity companies with other companies in the continent. The emission reduction rights for one ton of CO₂ range between 6 and 21 €/Ton, with a maximum of € 29, though these prices may drop at any time. In the calculations that follow we have taken an average value of 15 €/ton.

If we consider a domestic electricity bill, the price of the kWh charged is € 0.0933 (without VAT or meterage). According to technical studies, the production cost is 63.3% of the total, that is $0.633 \times 0.0933 \text{ €/kWh} = € 0.059/\text{kWh}$. When considering that the production of one kWh at a coal power plant emits 0.75 kg of CO₂, the cost of the rights of emission would be $0.75 \text{ ton} / 1000 / \text{kWh} \times 15 \text{ €/Ton} = € 0.0125/\text{kWh}$, that is to say that production costs would go up by $0.0125/0.059 = 19\%$. In view of the recent minimum rise in electricity rates by 6%, the surcharge for CO₂ emission is then reduced by $19\% / 1.06 = 17.9\%$. If this is applied to a natural gas plant instead of a coal-fired plant, the CO₂ emission surcharge is just 8.9%.

Coal-fired power plants

Very little coal is produced in Spain and at high mining cost on account of the poor conditions of the

Gasoducto/
Gas pipeline.



lo que les daría un nuevo impulso. Nuestras noticias es que ello no es inmediato.

Centrales de Gas Natural

El gas natural es un combustible que tiene ciertas ventajas sobre el carbón. Por lo pronto produce la mitad de las emisiones de CO₂. No existe en la Unión Europea (salvo la posible consideración de yacimientos entre U.K. y Noruega), pero sin embargo se utiliza mucho en Europa. Su procedencia fundamental es de Argelia y de Siberia. Su transporte se hace o por gasoductos o con buques especiales.

Para el transporte por buques hay que licuar el gas, como medio de que ocupe mucho menos volumen, ya que llevarlo comprimido representaría un peligro. Para licuarlo hay que refrigerarlo a 165 grados bajo cero, lo que exige unas plantas especiales de tratamiento en el puerto de embarque y en el de llegada, para gasificarlo de nuevo. Los puertos españoles especialmente preparados para ello son los de Barcelona, Cartagena y Huelva. El 65% del consumo español llega por este sistema

Pero lo más corriente es transportar el gas por medio de gasoductos, que en el caso de España se hace a través del que nos une con Argelia, pasando el Estrecho desde el oeste de Tarifa. Dentro de poco se complementará con otro nuevo que llegará hasta Almería.

La otra fuente de gas natural utilizado en la Unión Europea está al otro lado de los Urales, en Siberia. Los rusos tienen un magnífico gasoducto que se ramifica y llega a San Petersburgo por el norte, llega a abastecer a Alemania y la República Checa y con otro ramal a Ucrania y otros países. En ciertas ocasiones ha

mines. To date it has been far more economical to import coal from countries such as South Africa. If coal continues to be subsidised in this country, it is for social reasons and on account that it still remains one of the energy forms that does not have to be imported, which comes as some relief to a country such as Spain that imports 85% of the energy it consumes. In the light of that indicated regarding the Kyoto Protocol, coal-fired power plants are increasing falling into disuse throughout the world. However, a number of investigations are currently underway to provide "clean" coal power plants with very reduced emissions. While this would indeed renew the interest in this form of energy, there is no indication that this is about to occur in the near future.

Natural Gas fired plants

Natural gas is a fuel that has certain advantages over coal. It produces half the CO₂ emission of coal and while there are no gas fields in the European Union (with the exception of those between the UK and Norway), gas imported principally from Algeria and Siberia is widely used throughout Europe. This gas is transported by gas pipelines or specially constructed tankers.

In order to transport gas by tankers it is first necessary to convert it into liquid form to reduce volume and eliminate the hazards posed by compressed gas. Natural gas is condensed into a liquid by cooling at -165° C at special treatment plants for ensuing shipping to markets where it is subsequently regasified. Barcelona, Cartagena and Huelva are the three Spanish ports specially equipped for this regasification process and 65% of all natural gas consumed in Spain passes through these ports under these means.

However, it is becoming far more common to transport gas by gas pipelines and in the case of Spain this is made via a pipeline from Algeria which crosses the Strait of Gibraltar from the west of Tarifa on mainland Spain. This pipeline will soon be supplemented by an additional line stretching to Almería.

The other source of natural gas employed in the European Union is located on the other side of the Urals in Siberia. The Russians have a magnificent ramified gas pipeline that reaches St. Petersburg in the

habido problemas con el suministro de gas a países europeos, por motivos políticos.

Es de esperar que en un futuro próximo España sea un país de tránsito para gasoductos que alimenten a Europa desde el sudoeste. Pero hay que reconocer que en lo referente al gas natural, Europa en general y España en particular, tienen gran parte de su abastecimiento de gas dependiendo de la política.

Hay que señalar que las centrales de gas tienen ventajas e inconvenientes muy marcados. Además del inconveniente de la dependencia política, hay que señalar el elevado costo de la producción de la energía resultante, que según los expertos es de cuatro veces el correspondiente a las centrales nucleares. Este inconveniente se ha reducido enormemente con las centrales llamadas de ciclo combinado, que utilizan la energía del gas en dos etapas sucesivas. En la primera se quema el gas, que mueve una turbina de la que sale a unos 650 grados, es decir aún con mucha energía. Ésta se aprovecha en una segunda fase, por ejemplo para calentar agua en una caldera para su uso en una central con turbinas normales de vapor. El rendimiento del conjunto mejora bastante. No se puede olvidar que las centrales de gas tienen unas emisiones de CO₂ que, aunque la mitad de las de carbón, son importantes, desde el punto de vista de los derechos de emisión.

Hay que reconocer que no obstante tienen muchas ventajas. Una de ellas es la rapidez de su construcción, que permite disponer de ellas en menos tiempo que otro tipo de centrales. Otra ventaja importante es que se pueden usar como centrales de puntas, dado el relativamente poco tiempo que necesitan para su arranque y parada. Esto es muy importante para un país como España, donde las centrales hidráulicas aún sin construir son escasísimas.

Centrales Nucleares

Las centrales nucleares son en definitiva centrales térmicas cuyo combustible es un material nuclear (a base de uranio o plutonio), que alojado en una vasija enormemente resistente, no sólo a la rotura sino a las fugas, produce altas temperaturas. En la vasija hay también lo que se llama un moderador, con la misión de regular la velocidad de la fisión de los átomos del combustible. El calor producido sirve para calentar un fluido en una caldera. A la caldera llegan tuberías

north and supplies Germany and the Czech Republic and another branch to Ukraine and other countries. However, there have been certain problems concerning the gas supply to European countries for political reasons.

It is to be hoped that, in the near future, Spain will become a country of transit for gas pipelines which will supply Europe from the southwest. However, it also has to be acknowledged that the supply of natural gas to Europe in general and Spain in particular will largely be governed by politics.

In terms of energy production, gas-fired power plants have very marked advantages and disadvantages. In addition to the inconvenience brought about by political dependency, it is also necessary to indicate the high cost of production of the resultant energy and which, according to the experts, is four times that of nuclear power plants. This inconvenience has been considerably reduced by the introduction of combined cycle power plants that use gas energy in two successive stages. In the first cycle the gas is burned to move a turbine and the waste heat exits from the same at some 650 degrees. This waste heat is used in the second cycle to make steam to generate additional electricity via a steam turbine. The combined yield then offers a substantial improvement over conventional gas-fired production. It is also necessary to consider that while gas-fired power stations produce half the CO₂ emissions of a coal-fired plant, this is still a considerable amount in terms of emission reduction rights.

However, this form of energy undoubtedly has its advantages. These plants may be made available in shorter periods of time than other plants on account of their rapid construction. A further important advantage is that they may be employed as peaking power plants given the relatively short time required for the starting up and stopping of these plants. This is very important in a country such as Spain where the possibilities of constructing new hydroelectric plants are extremely limited.

Nuclear power plants

Nuclear plants are thermal power plants that employ nuclear material (uranium or plutonium) housed in a highly resistant reactor vessel within a

Central nuclear
de Trillo
(Guadalajara)/
Trillo nuclear
power plant
(Guadalajara).



que, en circuito independiente, llevan el vapor producido a una turbina, a cuya salida se refrigeran y condensan, para lo cual hace falta una disponibilidad de agua fluuyente, además de la clásica chimenea de las centrales térmicas. Aunque alguien ha dicho que en España no podemos construir centrales nucleares porque no tenemos suficiente agua para su refrigeración, lo cierto es que necesitan la misma que otras térmicas.

Las nucleares tienen indiscutibles ventajas e inconvenientes. Son capaces de alcanzar fácilmente potencias grandes (incluso mayores de 1.300 MW), son excelentes como centrales de base, teniendo un número muy grande de horas de funcionamiento anual y su costo de funcionamiento es barato (del orden de la cuarta parte que las de gas). Como contrapartida necesitan un plazo de construcción mucho más largo que otras y no libran a España de seguir importando el combustible. Pero el mayor inconveniente que tienen es el rechazo de parte de la población, asustada por dos grandes contratiempos ocurridos en el mundo, lo cual merece una indudable atención.

El mayor de ellos fue en Chernobil, en Ucrania cerca de la frontera con Bielorrusia. Allí hay una central nuclear importante, con varios grupos, para cuya construcción y mantenimiento hubo que edificar previamente una ciudad próxima. En 1986 hubo un incendio en el almacén de residuos de baja radioactividad. Fallecieron 31 personas y tuvieron que evacuar a 135.000. El número de personas que enfermaron (muchas de cáncer) fue muy grande y se dice que la radioactividad de la zona fue 500 veces mayor que en Hiroshima. Debido al hermetismo en la información, el conocimiento de lo que realmente pasó no es completo, pero parece que la gravedad fue de grado 7. En 1982 y en 1991 hubo otros dos incidentes, aunque no tan graves, pero que hacen sospechar en un diseño insuficientemente pen-

containment structure and which produces very high temperatures. A moderator slows down the fast fission neutrons in the reactor in order to sustain its chain reaction. The heat produced serves to heat a fluid in a steam generator. An independent circuit then carries the generated steam to a turbine and on passing through the same, this is then cooled and condensed. This then requires the availability of flowing water in addition to the traditional cooling tower. It has been said that Spain cannot construct nuclear power plants as the country does not dispose of sufficient water for the cooling process. However, the fact of the matter is that these plants require the same amount of water as any other thermal plant.

Nuclear plants have clear advantages and disadvantages. They are capable of reaching large power outputs with relative ease (on occasions, in excess of 1,300 MW), they are excellent base power plants, have very high annual operating hours and are cheap to operate (costing around a quarter of gas-fired plants). On the downside, the construction period of these plants is much longer than that of other power plants and, as far as Spain is concerned, do not eliminate the need to continue importing fuel. However, the main disadvantage lies in their rejection by a sizeable part of the population in the light of two major nuclear incidents worldwide and which require further attention.

The largest of these accidents occurred in Chernobyl in the Ukraine close to the border with Belarus. The site was the location of a very large nuclear plant with various reactors and a town had been built nearby to house construction and maintenance workers. In 1986 a fire in a low-level radioactivity waste plant caused 31 deaths and led to the evacuation of 135,000 people. Very large numbers of people were subsequently affected by the fallout (with multiple cases of cancer), it being indicated that the radioactivity in the area was some 500 times greater than that released in Hiroshima. Given the large degree of secrecy regarding the incident, the circumstances of the same are not fully known, but it would appear that this was the only instance so far of a level 7 event on the International Nuclear Event Scale. Two further, though less severe, incidents occurred in 1982 and 1991 which seems to suggest that this was a question of poor design. It would also appear that preliminary tests were not carried out before the plant was put



Central nuclear
de Cofrentes
(Valencia)/
Cofrentes
nuclear power
plant.

sado. Parece ser que además no se hicieron pruebas previas al funcionamiento. La enseñanza es que hay que ser muy meticulosos en el diseño y en la construcción.

El otro incidente grave ocurrió en la ciudad de Tokaimura, a 140 Km. de Tokio. En 1998 hubo un incendio en la planta de residuos de baja radioactividad. Se apagó con agua y no hubo daños graves. Es de notar que al igual que en Chernobil los incendios comenzaron en la planta de residuos. Mucho más grave fue el accidente ocurrido en la misma central en 1999. Posiblemente por un error humano, se hizo una sobrecarga de uranio de 16 Kg cuando el máximo admitido era de 2,5 Kg. Hubo que recluir en sus casas a 310.000 personas.

Pero el resto de las nucleares del mundo no son así. En Francia existen funcionando más de medio centenar y se obtiene por este método el 80% de la energía eléctrica, exportándose una parte a nuestro país y consiguiendo buenos beneficios. En el Reino Unido existen 19 centrales con una potencia total de 11 GW, sin ningún problema, habiéndose incentivado por el Gobierno, en Enero de 2008, la construcción de otras nuevas. En Alemania existen 17, en Canadá 18 y en Rusia 31. El país que más tiene es U.S.A con 103, siguiéndole Japón con 55. En España tenemos 6 funcionando, que proporcionan el 17% de las necesidades del país. El total en el mundo, en 2007, era de 435 centrales.

Un tema importante de la producción de energía nuclear es la eliminación de residuos radioactivos. Tiene la ventaja de que su volumen es muy inferior al producido por las térmicas normales, un millón de veces menor, pero es más o menos radioactivo. Los residuos de baja y media radioactividad se guardan en almacenes especialmente blindados en las mismas centrales. Los de alta radioactividad se deben guardar en un sitio cen-

into operation and this all goes to underline the need for extreme care when designing and constructing these plants.

A further incident occurred in the city of Tokaimura, 140 km from Tokyo. In 1998 there was a fire at a low-level radioactivity waste plant. The fire was extinguished by water and there was no serious damage. It is of note that both the Tokaimura and Chernobyl fires started in the waste plant. A much more serious incident occurred at the same plant in 1999. As a possible result of human error, 16 kg of additional uranium was brought together when the maximum permitted was just 2.5 kg. 310,00 people were forced to remain confined to their homes as a result.

However, other nuclear plants operating throughout the world have not been affected by such incidents. In France there are over fifty nuclear power plants in operation which contribute 80% of the country's electric energy and allow exports of energy to Spain at very high return. There are nineteen nuclear power plants operating without problem in the United Kingdom with a combined output of 11 GW and in January of this year the British Government ordered the construction of further plants. There are 17 plants in Germany, 18 in Canada and 31 in Russia. The country with the most nuclear power plants is the USA with 103 plants, followed by Japan with 55. In Spain there are 6 plants in operation which cover 17% of the country's electricity requirements. In 2007 there were a total of 435 nuclear power plants throughout the world.

One very important aspect of nuclear energy production is the elimination of radioactive waste. While this waste has the advantage that it occupies far less volume than that produced by normal thermal power plants – one million times lower – the problem lies in the degree of radioactivity of the same. Low and medium-level radioactive waste is stored in specially protected areas at the same power plant, while highly radioactive waste has to be deposited at a specially prepared centralized area. The most recent Radioactive Waste Plan in Spain dates back to 2006 and the Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, ENRESA, is responsible for enforcing the same. The Spanish Nuclear Safety Council was created by decree in 1980 to guarantee the management of radioactive waste from the power plants and from the ENRESA waste

tralizado, especialmente preparado. En España el último Plan de Residuos Radioactivos es de 2006, existiendo la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, ENRESA, que se debe encargar de ello. Desde 1980 existe creado por Ley, el Consejo de Seguridad Nuclear, que garantiza la gestión de los residuos radioactivos, de las centrales y de la propia Enresa. La Unión Europea tiene más de 9 Directivas sobre este tema.

Opinión sobre las soluciones más adecuadas

Como hemos indicado al principio, este artículo intenta ayudar al lector a formar su propia opinión sobre las medidas más adecuadas para resolver el problema en España. Pero al repasar todo lo que hemos dicho no hemos podido de dejar de formar, como un lector más, nuestra propia opinión.

Esta debe tener en cuenta tres facetas importantes del problema. Una es la necesidad de una potencia de base suficiente para el país, es decir una gran potencia que suministre una energía constante (o poco variable) durante gran parte del día, atendiendo la base del consumo.

La segunda faceta es que hay que conseguir además otras centrales que sean de puntas, es decir que suministren la energía suplementaria que demanda el consumo sólo durante ciertas horas del día.

La tercera es que como España es un país muy deficitario de energía y no todas las centrales exigen el mismo plazo de ejecución, hay que planificar la implantación de los diversos tipos de centrales de forma que, dentro de un cierto período, se llegue a unas disponibilidades equilibradas, pero que durante la transición, se construyan aquellas de más rápida implantación y que además sean de fácil acople a la situación definitiva.

Como preámbulo ineludible diremos que ante la gravedad del problema actual, cualquier central en construcción o en gestión avanzada, debe ser bienvenida. Pero hay algunos tipos de centrales que debemos suprimir de entrada, por ser inadecuadas al caso español. Las más significativas son las de energía geotérmica y las mareomotrices. Las centrales de biomasa deberían ser evitadas como solución general, sin perjuicio de aceptar excepcionalmente algunos casos especiales. Es de agradecer el esfuerzo del Ayuntamiento de Madrid con la colocación obligatoria de generadores fotovoltaicos en los edificios nue-

company. The European Union has issued over nine different directives on this subject.

Comment on the most suitable solutions

As we have already indicated at the outset, this article aims to help the reader form their own opinion regarding the most adequate means of solving Spain's deficit. However, on outlining all these factors, we cannot pass up this opportunity to give our own opinion in the same manner as any other reader.

Three important aspects of the problem have to be taken into consideration. The first of which being the need for sufficient base power for the country, that is to say one of large capacity that supplies constant (or only slightly varying) energy throughout the greater part of the day in order to attend general consumption.

The second factor is the need to establish more peaking power stations to supply the additional energy that is demanded at certain times of the day.

The third factor is that as Spain is a country with a large energy deficit and that not all power plants require the same construction period, it is then necessary to plan the introduction of various types of power plant to ensure availability within a certain period of time and, in the meantime, to construct plants that may be more rapidly introduced and then readily incorporated within the final solution.

By way of foreword, it has to be said that in the light of the severity of the problem, any power plant under construction or at an advanced stage of planning is fully welcome. However, there are some types of plant that should be discarded at the outset due to their lack of application to the Spanish situation. This being the case of geothermal and tidal power plants. Biomass plants should be avoided as a general solution but could well be introduced in very special cases.

Due acknowledgement should be given to the efforts of the Madrid City Council to ensure the obligatory installation of photovoltaic generators on new buildings with an ensuing saving in heating fuels. However, it is hard to believe that this type of power generation will serve as an effective solution to Spain's general energy problem.

vos, lo que conseguirá ahorros en el consumo de combustibles en las calefacciones, pero cuesta creer que este tipo de generación pueda ser un elemento importante en la solución energética en España.

Si adentrándonos en el problema consideramos las posibles centrales de base, nos encontramos con las centrales de energía solar térmica, con las eólicas (las dos renovables) y las nucleares. Las dos primeras tienen problemas con los horarios de suministro.

Las solares térmicas sólo producen en las horas de sol, siendo inoperantes durante la noche y su potencia eficaz disminuye mucho durante el invierno (en nuestras latitudes). Las características de nuestro país no son las más favorables para este tipo de centrales. Las eólicas producen energía sólo durante cierto número de horas anuales, que no pueden elegirse y pueden dejar de producir en los momentos más exigentes del consumo. Las nucleares son las únicas que realmente funcionan como centrales de base, con una potencia suministrada casi continua y larga duración (unas 7.000 horas anuales), con un costo de producción económico. Debemos concluir con que está bien construir centrales eólicas y termosolares, pero que nunca podrán sustituir de forma substancial a las nucleares y que es necesario construir un cierto número de éstas, comenzando su estudio desde ahora. Por supuesto que tomando las máximas precauciones de seguridad.

El problema de las centrales de punta es grave en España. El intentar construir contraembalses aguas debajo de las centrales de pie de presa sería muy beneficioso. Pero no parece fácil resolver el problema español sólo con este sistema. Habrá que construir desde ya centrales de gas natural, de implantación más rápida que las de otros tipos, y que se utilizarían como centrales de base o de puntas, transformándolas paulatinamente en centrales sólo de puntas cuando se dispusiese de centrales nucleares de base, de más lenta construcción. ♦

When going further into the question of potential base power plants, consideration should then be given to the possibility of solar thermal energy and wind energy (both of which being renewable) as well as that of nuclear power. In the case of the first two energy forms, these both have problems concerning the hours of supply.

Solar thermal plants only produce energy during daylight hours and are inoperative at night and their effective power decreases noticeably over the winter months (at our latitudes). Spain is not particularly well suited to these types of power plant. Wind farms only produce energy over a certain number of hours per year, they cannot be regulated and may stop producing energy at peak times of the day. Nuclear power plants are the only plants that truly operate as base load power plants and have an almost continuous and long-lasting power supply (some 7,000 hours per year), at economic production costs. We may then conclude that while it is correct to build wind farms and solar thermal plants, these can never substantially replace nuclear power plants and it is, subsequently, necessary to construct a certain number of the same and to begin planning right away. This, obviously, when taking the maximum safety precautions.

The problem concerning peaking power plants is very serious for Spain and all attempts to construct counter dams downstream from hydroelectric plants would be highly beneficial in this regard. However, the Spanish problem cannot be resolved by this one solution alone. It is necessary to immediately embark on the construction of new natural gas plants which may be introduced more rapidly than other types of plant and to use these as base load or peaking power plants and to gradually transform them into peaking power plants when nuclear base load plants eventually become available. ♦

Referencias/References:

–Wikipedia- The free Encyclopedia. "Biodiesel"
–Diplo.Gregor Czsck- "Global Renewable Energy Potential"- Internet.
–Ayuntamiento de Madrid- " Ordenanza sobre captación de Energía Solar para usos térmicos" B.O., de la Comunidad de Madrid. 09/05/2003.

–Francisco Galán- "Minihidráulica en Navarra"- Revista de Obras Públicas- Jul, Agosto- Septiembre 2004.
–Juan Pablo Mañueco. "La Energía Eólica. Situación y futuro"-Revista de Obras Públicas. Mayo 2005.
–René Bonefille- "Les réalisations de Electricité en France concernant l'énergie mareomotri-

ce". La Houille Blanche. Número 2/1976
–Wikipedia- The free Encyclopedia- " Energía geotérmica."
–Protocolo de Kyoto de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En Internet, formato PDF.