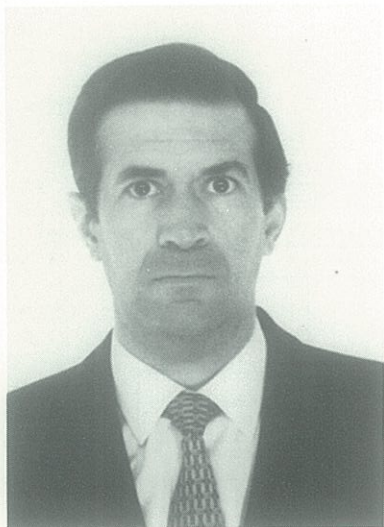


ANALISIS COMPARATIVO DE LOS COSTES DE LA PRODUCCION ELECTRICA OBTENIDA CON CARBON Y ENERGIA NUCLEAR

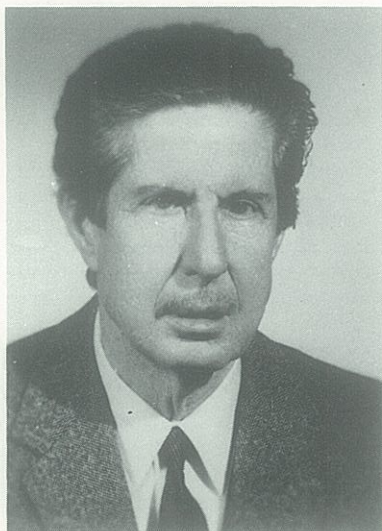
Joaquín ORTEGA, María Teresa ESTEVAN y Antonio COLINO



Antonio COLINO MARTINEZ es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Escuela de Madrid (1971). Nuclear Power Engineer por la Universidad de California en Los Angeles, UCLA (1974). Diplomado en Dirección de Empresas por la EOI de Madrid (1980).

De 1972 a 1975 trabajó con Bechtel Power Corporation en Los Angeles en los distintos departamentos del proyecto de una Central Nuclear.

En 1975 se incorporó a ENHER en Barcelona para el proyecto de la Central Nuclear de Vandellós II en la Jefatura de Programación y Control de Costes y en el año 1979 fue destinado a Madrid como Ingeniero Residente del mismo Proyecto.



Joaquín ORTEGA COSTA es Ingeniero Industrial de la promoción de 1936 e Ingeniero Geógrafo (1940). Perteneció al Cuerpo de Ingenieros Industriales al servicio del Ministerio de Industria y Energía desde 1941.

INTRODUCCION

Los precios de los recursos convencionales de energía han aumentado muy rápidamente a partir de 1973, sin que pueda decirse en el momento actual que se haya alcanzado una situación estable en lo que se refiere a la seguridad de los abastecimientos de petróleo y a las cotizaciones de los diferentes combustibles en el mercado internacional. Las incertidumbres al respecto son numerosas y parece que en la actualidad se dibuja una tendencia a la baja.

El territorio español no dispone de abundantes recursos energéticos, aunque tiene un potencial hidroeléctrico importante que ha desarrollado progresivamente y que representa alrededor del 10 % de las necesidades globales. Nuestra dependencia al petróleo y a los hidrocarburos es muy alta y continuará siéndolo en los próximos decenios. Dispone también de un potencial de uranio estimable.

La electricidad como energía final va ganando participación en el mercado y su ritmo de crecimiento es superior al de la demanda energética general. La generación de las cantidades crecientes de energía eléctrica que se requerirán en el futuro habrá de apoyarse en el carbón nacional y en la energía nuclear, limitando a lo indispensable las importaciones de carbón.

La energía eléctrica participa de una manera muy general en la producción económica y en algunas actividades la incidencia que tiene en el coste es muy significativa. Resulta, en consecuencia, importante, por los efectos que ha de tener en el futuro económico, el acierto en el encaje de los programas de nuevas construcciones eléctricas para alcanzar costes de generación que sean competitivos, comparativamente a los del mercado internacional.

El presente estudio tiene por objeto analizar, en una perspectiva general y lo

más objetiva posible, el precio de la energía eléctrica que podría obtenerse en los años futuros, en grandes centrales generadoras, alimentadas con carbón o por energía nuclear.

La comparación de los costes de producción de la energía eléctrica en centrales de grandes dimensiones, dedicadas al servicio permanente de una red nacional, debe apoyarse al tiempo de funcionamiento de las instalaciones (vida de la central) incluyendo todos los costes inherentes a su construcción, funcionamiento, mantenimiento y cierre o clausura de las instalaciones, con recuperación del entorno de la central.

Dentro de los posibles criterios para evaluar los costes de producción de la electricidad, se ha seguido la metodología denominada del coste medio anual actualizado en términos reales, aplicado y recomendado por la OCDE. El coste medio expresado en unidades monetarias constantes se calcula teniendo en cuenta toda la producción de la central durante su vida útil y contabilizando el flujo acumulado de pagos a lo largo del tiempo, intereses, amortizaciones, gastos generales, mantenimiento, costes de operación, costes de combustibles, gestión del combustible irradiados y gastos finales de desmantelamiento.

Para simplificar la contabilidad de la inversión se ha integrado en este concepto el valor actualizado de los pagos y compromisos contraídos hasta el momento de entrada en funcionamiento, incluyendo los intereses intercalarios y la escalación de los costes durante la construcción.

En cualquier caso, los resultados dependen de las hipótesis admitidas sobre los datos siguientes:

- Vida útil de la central.
- Factor medio de utilización de la central.
- Tiempo de construcción de la central.
- Tasa de descuento.
- Amortizaciones.
- Coste del dinero (intereses de los créditos).
- Evolución del coste del combustible.

Por ello, en los numerosos estudios efectuados en otros países tratando de comparar el coste del kWh. producido en centrales nucleares y de carbón, se obtienen resultados que pueden presentar ciertas diferencias.

El análisis comparativo que se presenta en este documento está basado en la aplicación de una metodología sistemática con un algoritmo que evalúa los costes medios actualizados de los componentes que intervienen en la formación del coste de generación, en una

Director de la Cátedra de Ingeniería Nuclear «Fernando Tallado» en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (1955), es autor del primer libro en español sobre teoría de reactores bajo el título *Cálculo de hogares nucleares*, Madrid (1957).

Catedrático de Tecnología Nuclear (1968), ha sido Subdirector General de Energía Nuclear, Petróleo y Gas (1968), Subdirector General de Planificación Energética (1972-1983) y Presidente del Consejo Superior del Ministerio de Industria y Energía (1983-1984).

Actualmente es Vicepresidente de la Fundación Joaquín Costa.

central de grandes dimensiones. Las hipótesis que es necesario utilizar en lo que respecta a los costes futuros del dinero, de la energía primaria y de los salarios han sido objeto de un análisis crítico y se han proyectado sobre diversos escenarios que permitan realizar un ejercicio de sensibilidad paramétrica.

EL COSTE TOTAL DE LA ENERGÍA PRODUCIDA

El coste total de la energía se expresará por los cuatro conceptos fundamentales que se describen:

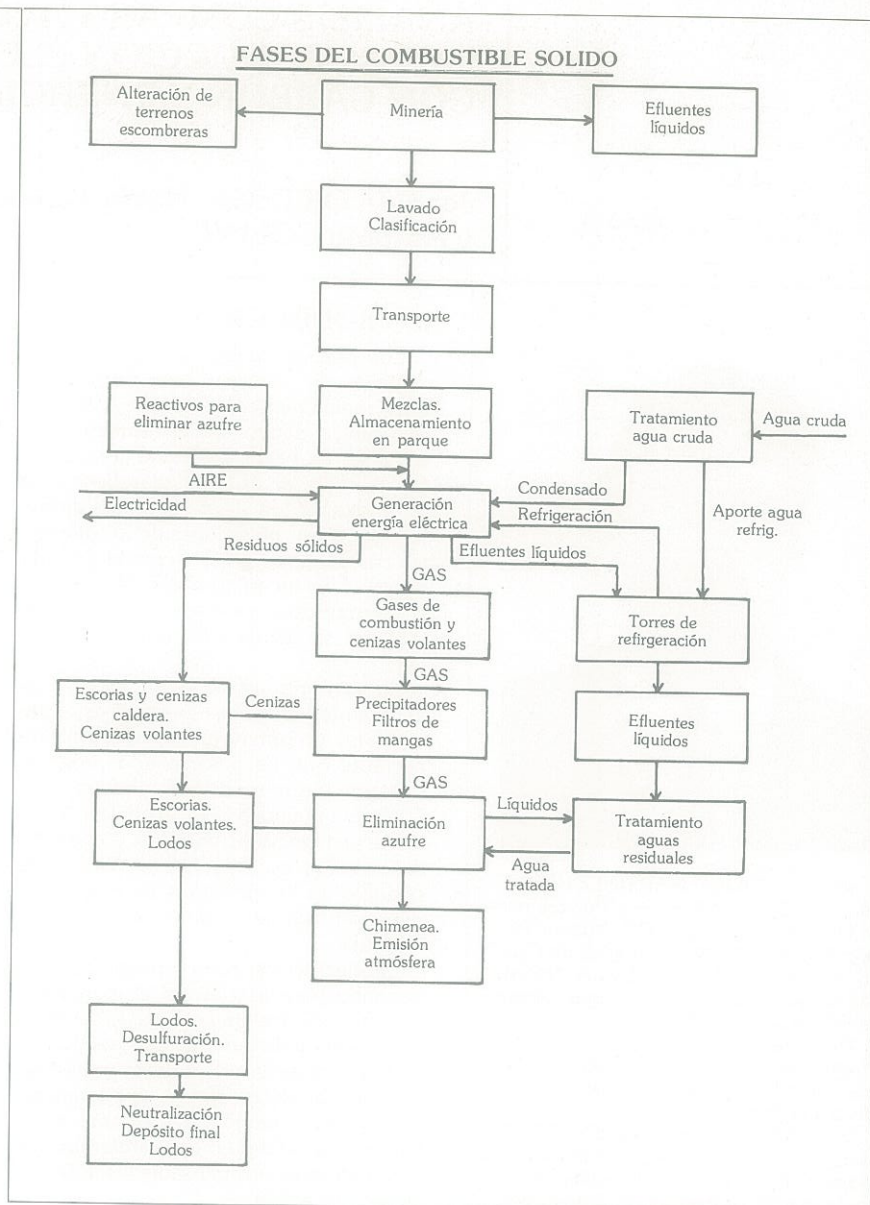
- F Coste de la inversión inicial, con todos los devengos actualizados al momento de arranque de la central (t_0).
- G Coste medio anual de operación, en el que se integran todos los gastos anuales independientes de la explotación de la central.
- C Coste medio anual de combustibles, en el que se integran todos los gastos dependientes del ritmo de explotación de la central, incluidos la energía primaria (actualizados al año t).
- D Gastos de desmantelamiento y acondicionamiento final del terreno utilizado, expresado por una cantidad global, al igual que los gastos de inversión F.

Con objeto de simplificar el análisis, en vez de referir cada uno de estos conceptos a su evaluación económica global, se referirá a la unidad de energía, sea potencia instalada cuando se trate de costes fijos independientes de la explotación, sea energía producida cuando se trate de costes variables dependientes de la explotación.

Se aplicará además un proceso de actualización a todos los pagos o débitos, de forma que se entenderá que cualquier inversión o compra realizada, determina un interés a partir del tiempo t en que se produzca. El rédito correspondiente tendrá que ser objeto de una definición previa que fije la cuantía anual de la actualización, pudiéndose considerar diversos tipos de interés, en consonancia con la evolución previsible del coste del dinero y de los índices de escalación de los precios.

El análisis comparativo puede realizarse en términos monetarios constantes o suponer una variación del poder adquisitivo del dinero, aplicado un cierto factor de inflación. Como resulta sumamente impreciso establecer criterios sobre la variación de los precios, a lo largo de los 20, 25 ó 30 años de vida de una central, en general se preferirá seguir el criterio de los costes medidos en una unidad monetaria constante, es decir, con independencia del proceso de inflación que puedan tener.

Por el contrario, se considera útil realizar hipótesis diferentes sobre la evolución relativa de los costes de los salarios y de la energía primaria en relación con el nivel global de los precios, puesto que es verosímil pensar que a lo largo del



tiempo evolucionen en alza con respecto al coste general de la vida.

LOS PARAMETROS DE DEFINICIÓN PREVIA

Para realizar comparaciones entre los costes de generación hay que definir la evolución de los parámetros dependientes del mercado, que influyen en el cálculo de los factores de anualidad y escalación, a lo largo de la vida de la central, y que se refieren a las siguientes variables:

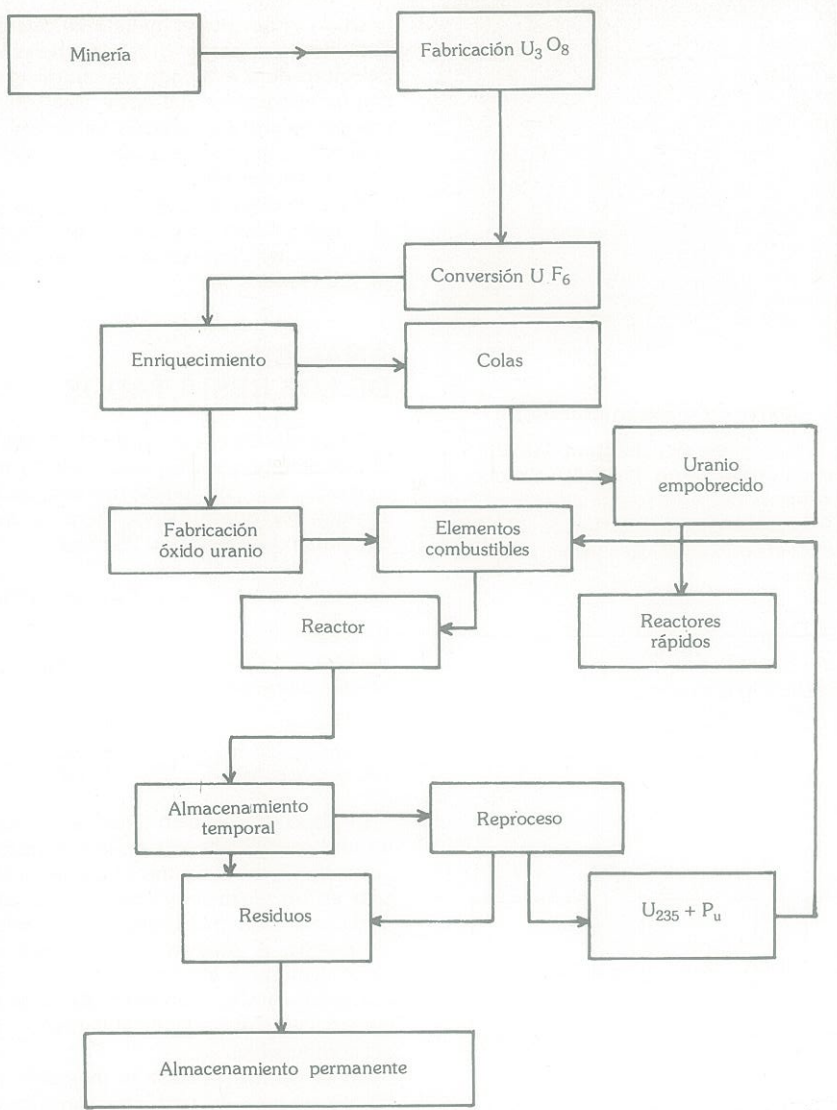
- Costes del dinero.
- Réditos de escalación de los salarios.
- Réditos de escalación de los costes de mantenimiento.
- Réditos de escalación de la energía primaria.
- Réditos de escalación de los costes de la corrección ambiental.
- Estimación de la inversión final por cierre y recuperación del entorno de la central.

A título ilustrativo, y mientras no existan causas o razones concretas para

aplicar otras bases comparativas, se utilizarán en los ejemplos que se presenten los siguientes valores de referencia:

- El coste del dinero, expresado en unidades monetarias constantes en el tiempo t_0 , tendrá un rédito entre 4 y 6 %.
- El rédito de escalación de los salarios y gastos de operación se mantendrá entre un 1,5 y 2,5 %.
- Los réditos de escalación de los costes de operación y mantenimiento se mantendrá entre 1,5 y 2,5 %.
- El rédito de escalación del coste del combustible podrá variar entre un 2,5 y 3,5 %.
- El rédito de escalación de la corrección ambiental podrá variar entre un 2,5 y 3,5 %.
- Los costes finales de clausura y recuperación del entorno de la central se estimarán entre el 10 y 20 % de F.
- El factor de utilización horaria de la central variará entre 0,63 y 0,75 %, que corresponde a 5.600 y 6.570 horas/año.

FASES DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR



Se han efectuado los cálculos para una utilización de 5.600 horas/año.

Es muy útil referir el coste de generación a la unidad energética (kWh.). Los costes fijos y las anualidades por la inversión son inversamente proporcionales a la utilización. De esta forma se aprecia directamente la influencia que tiene el régimen de explotación asignado.

EL COSTE DE GENERACION C_E DE LA ENERGIA PRODUCIDA

El factor de utilización de la central define la incidencia de los cuatro componentes fundamentales del coste unitario del kWh., con la ventaja de que al calcular su cuantía se deduce inmediatamente la significación real de cada uno de ellos.

F. Coste de la inversión inicial

Se ha considerado un coste total para una central de carbón, de 1.000 MW.,

de 80.000 millones de pesetas de 1983, basándose en el coste medio de 80.000 pesetas/kW. de 1983, de las centrales de Soto de Rivera III, Narcea III, La Robla II, Guardo II, Algeciras, Carbonera y Aboño II.

Todos estos costes son, sin considerar la desulfuración de los gases de combustión ni otras medidas de protección ambiental —excepto la instalación de precipitadores electrostáticos que se incluyen siempre—, para la captación de polvos. Si se considera necesaria la desulfuración, que en virtud de los problemas ambientales europeos y las exigencias del Mercado Común y del convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia, ratificado por España, será precisa en casi todas nuestras centrales, los costos ascienden a 100.000 millones de pesetas para esa potencia y en el caso de los lignitos, bastante más.

Se han minorado los costes de inversión en medios de protección ambiental y los gastos de operación y mantenimiento de estos equipos porque la realidad es que quemando España los peores

carbones utilizados por los países industrializados, al ser casi nulas las exigencias ambientales, se tardará bastantes años en adoptar las medidas correctoras precisas, especialmente en el caso de los lignitos pardos y negros.

Sin embargo, como en un futuro no lejano los problemas creados por las precipitaciones ácidas y otros se habrán agravado notablemente, no habrá más solución que corregir la contaminación si se quiere que estas plantas estén en funcionamiento, y por ello se han incluido en el estudio unas consideraciones ambientales y una evaluación de los costos de protección ambiental que resultan altos para el caso de las centrales de carbón.

Los problemas ambientales están cambiando amplia y profundamente, como se percibe con toda claridad en Estados Unidos, Alemania Federal, Gran Bretaña, Suiza y otros países industrializados, exigiéndose medidas para corregir la contaminación muy costosas.

Para las centrales nucleares se ha estimado un costo total de 180.000 millones de pesetas para 1.000 MW.

Esta cifra está por encima de los costos medios reales de las centrales nucleares españolas pero dadas las demoras, generalmente administrativas, que alargan los plazos de construcción y encarecen notablemente estas obras, se ha preferido operar con cifras que cubran holgadamente todos estos costes.

En consecuencia, se han mayorado los costos de inversión de las centrales nucleares y se han minorado notablemente los gastos de protección ambiental que, en otros países —CEE, Japón, Estados Unidos, Canadá, Suiza y otros—, se exigen para reducir la enorme contaminación producida por las centrales térmicas de carbón y limitar, en parte, los deterioros macroecológicos, especialmente las lluvias ácidas, cada vez más preocupantes. Estos costes de protección ambiental suponen una inversión de más del 25 % del total. Estos porcentajes son crecientes y en Estados Unidos, en muchos casos, sobrepasan el 32 % e incluso ahora pueden llegar al 40 %. También resultan muy altos los costos de operación y mantenimiento de los equipos de desulfuración de los gases de combustión.

G. Costes de operación y mantenimiento

Para la obtención de los costes de operación y mantenimiento se han utilizado las estadísticas de diversas centrales, tanto de carbón como nucleares, que para el año 1983 son:

Centrales de carbón,
 1.800×10^6 ptas/año.
 Central nuclear,
 1.650×10^6 ptas/año.

C. Costes de combustible

Se ha utilizado el estudio de OFICO-1983 sobre los costes unitarios de generación en las centrales de carbón y nu-

INVERSIONES EN LAS CENTRALES ESPAÑOLAS EN \$ CORRIENTES DEL AÑO DE PUESTA EN SERVICIO

Central	Inversión ptas. corrientes	Fecha referencia	Cambio ptas/\$	Inversión \$
Almaraz I	113.643	1- 7-81	94,55	1.202
Almaraz II	103.566	30- 6-83 (1)	143,41	722
Ascó I	162.363	31- 8-83 (1)	154,0	1.054
Ascó II	203.890	30- 6-84	170,0	1.199
Cofrentes	182.817	19- 4-84	165,0	1.108
Vandellós	267.323	31-12-86	170,0	1.572
Trillo I	295.600	1- 7-87	170,0	1.738
Valdecaballeros I	262.745	1- 6-87	170,0	1.545
Valdecaballeros II	281.361	1-12-88	170,0	1.655

(1) El valor medio de la inversión en una central puesta en servicio a finales de 1983 es de 149.000 ptas/kW, incluido el primer núcleo, y 140.000 sin incluirlo.

cleares del sistema eléctrico español, resultando que el coste de combustible en cada central tipo es:

Central de carbón,
18.780 × 10⁶ ptas/año.
Central nuclear,
7.200 × 10⁶ ptas/año.

D. Costes de desmantelamiento

Los costes de desmantelamiento y acondicionamiento final del terreno se expresan por una cantidad global que oscila entre el 10 y el 20 % de los costes de inversión inicial. Se considera un 15 % de F.

PROCESO DE CALCULO

Una vez descrito el método de cálculo, definidos los parámetros dependientes del mercado y evaluado los cuatro conceptos integrantes del coste total de la energía eléctrica producida en el capítulo anterior, se procede a realizar el cálculo del coste del kWh.

Este proceso de cálculo se realiza en el estudio hecho por los autores, pero no se incluye en este artículo debido a su gran extensión.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el coste de generación anual medio actualizado, C_E, por unidad de energía es el siguiente, considerando para la vida útil de las centrales 30 y 25 años:

	C _E en ptas/kWh
T = 30 años	
Nuclear	4,698
Térmica de carbón	7,060
T = 25 años	
Nuclear	4,654
Térmica de carbón	6,566

El plazo de duración de la central tiene una gran incidencia en la formación del coste C_E. Si la central se ha de amortizar en un plazo muy corto, el término de la inversión predomina sobre todos los demás. A medida que aumenta el plazo disminuye el término de la inversión y, en cambio, por efecto de la escalación, aumenta significativamente el del combustible.

En la central nuclear la inversión es mayor que en la térmica, mientras el costo del combustible es menor. Estos dos componentes, atribuibles al coste de instalación y a los costes de combustible, son los que principalmente determinan la variación del coste final de la energía y el resultado de la comparación.

En el próximo cuadro se ha resumido la estructura de C_E, coste de la energía, para diferentes valores de T, vida útil de la central.

Del examen de este cuadro se deduce cómo disminuyen los costes de generación C_E a medida que se prolonga el plazo de explotación de la central. En el caso de la central nuclear, los costes descienden de 6,108 cuando T = 10 hasta 4,654 cuando T = 25.

En el caso de la central térmica, los costes descienden hasta un valor comprendido de T entre 15 y 20; a mayor plazo, la escalación del coste de combustible ya no puede compensar la baja de anualidad por prolongación del tiempo. La consecuencia inmediata que se deriva de esta comparación es que las centrales térmicas tendrán, por razones económicas, un plazo de explotación menor que las nucleares.

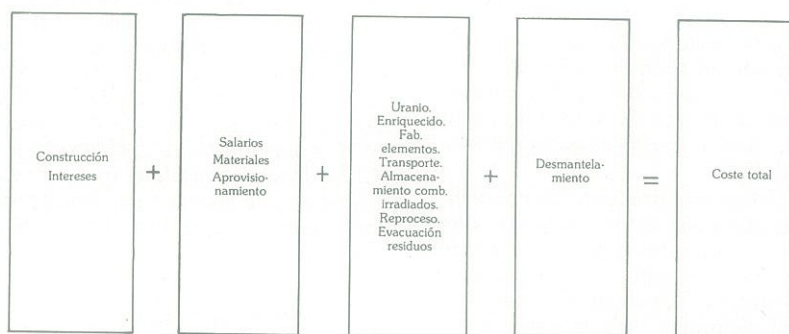
En consecuencia, la relación entre los costes C_E de generación en la central

PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

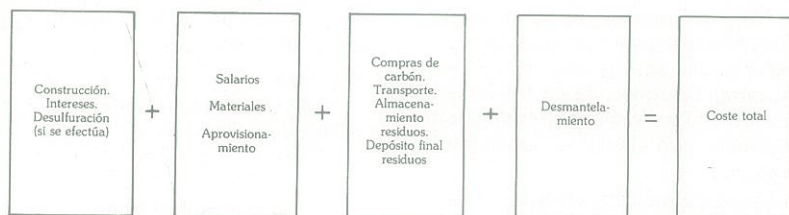
PARA TODAS LAS CENTRALES



CENTRALES NUCLEARES



CENTRALES DE CARBON



Fuente: OCDE, adaptado por los autores.

ESTRUCTURA DEL COSTE DE LA ENERGIA, C_E

Unidad: ptas. 1983/kWh

T, años	Central	Inversión	Operación	Combustible	Desmantelamiento	Total C _E
10	N	3.855	0.275	1.471	0.477	6.108
	C	2.157	0.308	3.627	0.264	6.356
15	N	2.890	0.293	1.615	0.374	5.172
	C	1.605	0.328	3.981	0.206	6.120
20	N	2.407	0.313	1.784	0.269	4.773
	C	1.336	0.350	4.397	0.149	6.232
25	N	2.127	0.335	1.986	0.206	4.654
	C	1.181	0.376	4.895	0.114	6.566
30	N	1.951	0.361	2.223	0.163	4.698
	C	1.084	0.405	5.480	0.091	7.060

nuclear y en la térmica de carbón serán los siguientes:

$$R = 0,6115$$

$$R = 0,6581$$

lo que pone de manifiesto que, dentro de la imprecisión contenida en cualquier análisis a largo plazo, el coste de generación C_E en una central nuclear es aproximadamente los dos tercios del coste de generación en una central de carbón.

El proceso de encarecimiento progresivo de la energía primaria, como ha venido ocurriendo desde 1973, determinará una ventaja más clara para la energía nuclear a medida que transcurra el tiempo.

Por otra parte, cuando se aumenta el coste C_E de generación de una central, las posibilidades de colocar su energía eléctrica en el sistema nacional disminuyen y, en consecuencia, las centrales que tengan un coste de explotación más elevado y creciente en el tiempo tendrán una menor utilización horaria, lo que, a su vez, determinaría un coste medio alto de la energía eléctrica.

Se ha visto también que una escalación del 3% en el coste de la energía primaria acorta la vida útil, desde el punto de vista económico, en la central de carbón a un plazo de 20 años, mientras que la central nuclear continúa dando costes más bajos con plazos de explotación superiores a 25 años.

La estructura de los costes

Desde el punto de vista comparativo es muy útil considerar la evolución estructural de los costes para examinar el distinto peso de cada componente.

En el cuadro siguiente se ha resumido la estructura de los costes, expresados en %, sobre el total C_E.

A medida que se prolonga el plazo de vida de la central, disminuyen los términos de inversión y aumenta el término de combustible. La conclusión que se deriva de esta circunstancia es que el coste comparativo de generación expresado por su valor medio anual depende de una manera muy significativa de la evolución del coste de la energía primaria a lo largo del tiempo y que, en consecuencia, cualquier análisis numérico dependerá en forma decisiva de las hipótesis que se hagan con respecto a la variación de los costes del carbón y del uranio en el tiempo futuro.

Según los resultados del cuadro anterior, en todas las circunstancias el coste de generación de la central nuclear es más bajo que el de la central térmica de carbón. Cuando se comparan los dos costes óptimos que corresponden a la situación de T = 25 años para la central nuclear y T = 20 años para la central de carbón, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{\text{Coste en central nuclear}}{\text{Coste en térmica de carbón}} = \frac{4.654}{6.120} = 0,7604$$

Este valor puede ser indicativo de una previsión prudente desde la perspectiva actual.

Estructura del coste de la energía

Como resumen de los análisis, es ilustrativo presentar un cuadro, los distintos componentes del coste de la energía

eléctrica, referido a la situación máxima y mínima.

En el cuadro siguiente se presentan los valores relativos de los diferentes componentes del coste, expresados en % sobre el total para una central nuclear.

ESTRUCTURA DEL COSTE C_E DE GENERACION EN UNA CENTRAL NUCLEAR

Componentes	Situación máxima	Situación mínima
Inversión inicial	36,74	46,03
Operación y mantenimiento	7,39	6,21
Combustible	52,05	46,19
Inversión final	3,82	1,57

El examen del cuadro anterior nos hace ver que los principales componentes del coste se encuentran en la inversión inicial y en el combustible. En el caso máximo, la influencia del combustible es superior a la inversión inicial. En el caso mínimo son prácticamente iguales.

Los costes de operación representan entre el 8 y el 6 % de la inversión final, y tienen en las dos situaciones muy poca entidad.

Asimismo, con objeto de apreciar la influencia relativa de los diferentes componentes del coste en una central de carbón se ha elaborado otro cuadro en el que se resume la estructura del coste de la energía, expresada en %, considerando las situaciones extremas máximas y mínimas.

ESTRUCTURA DEL COSTE DE GENERACION C_E EN UNA CENTRAL TERMICA DE CARBON

Unidad: %

Componentes	Situación máxima	Situación mínima
Inversión inicial	12,01	15,10
Operación y mantenimiento	7,17	8,36
Combustible	79,57	76,02
Inversión final	1,25	0,52

El examen del cuadro anterior nos hace ver que la estructura de los costes es muy estable y en ella predomina, en forma muy destacada, el componente del coste de combustible, que representa el 79,57 en la situación máxima y el 76,02 en la situación mínima.

El componente de la inversión tiene una significación menor: entre 12,01 en la situación máxima y 15,10 en la situación mínima.

Cuando se compara esta estructura con la de generación de una central nuclear se observan profundas diferencias, y se deduce claramente que el resultado de la comparación de los costes C_E depende en forma muy decisiva de las hipótesis que se formulan sobre los costes de la energía primaria.

ESTRUCTURA DE LOS COSTES DE GENERACION

Unidad: %

T, años	Clase de central	Inversión	Operación	Combustible	Desmantelamiento
10	N	63,60	4,50	24,10	7,80
	C	33,93	4,84	57,08	4,15
15	N	55,87	5,66	31,24	7,23
	C	26,22	5,35	65,07	3,36
20	N	50,42	6,55	37,40	5,63
	C	21,43	5,61	70,57	2,39
25	N	45,70	7,19	42,69	4,42
	C	17,98	5,72	74,57	1,73
30	N	41,52	7,68	47,34	3,46
	C	15,35	5,73	77,64	1,28

Se resume a continuación el margen de variación de la estructura de los costes, referido a sus cuatro componentes principales.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA DE LOS COSTES

Unidad: %

Componentes	Nuclear	Carbón
Inversión inicial	36.74-46.03	12.01-15.10
Operación y mantenimiento	7.39- 6.21	8.36- 7.17
Combustibles	52.05-46.19	79.57-76.02
Inversión final	3.82- 1.57	1.25- 0.52

El examen del cuadro anterior nos hace ver la gran dependencia que tiene la explotación del coste de la energía primaria. El coste de combustible va ganando significación a medida que la vida se prolonga.

Inicialmente, los costes de combustibles expresados en ptas. 1983/kWh., tienen la siguiente relación:

$$\frac{1,27 \text{ (nuclear)}}{3,13 \text{ (carbón)}} = 0,405$$

A medida que pasa el tiempo, si no hay escalación en los precios de la energía primaria, esta relación se mantendrá. Si se presenta escalación, como es verosímil, y los precios de la energía primaria crecen más deprisa que los costes industriales, el caso nuclear tiene ventaja porque en el coste del ciclo del combustible la energía primaria sólo influye en un 46-52 %, mientras que en el carbón su dependencia es mucho más alta 75-80 % y, en consecuencia, la relación anterior tendería a reducirse.

Suponiendo que se mantenga en la proporción de 0,4, y a la vista de la estructura comparativa del cuadro anterior, en que los costes de combustible varían en proporciones comprendidas dentro de márgenes estrechos, resultaría lo siguiente:

Si C_n es el coste de combustible nuclear, y C_c el del carbón, el coste C_E de generación variará entre

$$C_E = \frac{C_n}{0,5205} = 1,921 C_n$$

$$y C_E = \frac{C_n}{0,4619} = 2,164 C_n$$

$$C_E = \frac{C_c}{0,7957} = 1,257 C_c$$

$$y C_E = \frac{C_c}{0,7602} = 1,315 C_c$$

COMPARACION CON OTROS ESTUDIOS INTERNACIONALES

En otros países y en numerosos organismos internacionales se han hecho muchos estudios en los últimos años para estudiar y comparar el coste del kWh. en centrales nucleares y de carbón. Los resultados obtenidos por los mismos han sido diversos, según los métodos de cálculo utilizados para evaluar los costes de producción.

Los métodos de cálculo y la elaboración de los costos difiere de unos países a otros.

En consecuencia, no deben compararse resultados dimanantes de la utilización de metodologías de cálculo basadas en supuestos diferentes.

Para comparaciones internacionales, para comparar el funcionamiento de centrales diferentes utilizando combustibles distintos, tratándose siempre de centrales que operen en base con 5.500 ó 6.000 horas/año, el método de costos medios actualizados, expresados en moneda constante, permite efectuar una comparación útil y es el procedimiento más utilizado.

Esta metodología es también la aplicada en el estudio de la situación española, realizado por los autores de la síntesis que se presenta en este artículo, pero además se han aplicado escalaciones diferenciales sobre el nivel medio de precios a los diversos componentes del coste de generación de la energía eléctrica.

En general, se puede decir que los estudios más serios hechos por organismos independientes llegan a la conclusión de que el coste del kWh. para centrales nucleares que entren en servicio en 1990 es más bajo que el de centrales de carbón (incluso sin unidades de desulfuración) en todos los países de Europa oc-

cidental y Japón y en el 75 % de los Estados Unidos.

Solamente en algunas zonas de Canadá y de Estados Unidos con centrales muy próximas a las minas de carbón, de bajo contenido en azufre, el carbón es competitivo con la energía nuclear.

Una comisión de expertos internacionales de UNIPED, de la Agencia Internacional de la Energía y de la Comunidad Económica Europea ha hecho un estudio comparativo de diversos países del coste del kWh. de centrales nucleares y de carbón que entren en servicio en 1990. Para poder comparar las cifras de los diversos países, las cifras se han trasladado a ECUS a la tasa de cambio existente el 1-1-1981. Los resultados obtenidos en céntimos de ECU son:

	Nuclear	Carbón
Bélgica	2,51	3,50
Francia	2,07	3,62
Alemania	2,87	4,71
USA	2,89	2,92
Japón	2,57	3,88

Estos datos se han realizado suponiendo una vida útil de 20 años y un funcionamiento medio anual del orden de 6.000 horas para ambos tipos de centrales.

National Economics Research Associates acaba de publicar los datos siguientes para centrales que entran en servicio en 1990:

COSTES POR kWh EN CENTIMOS DE \$ DE 1982

	Nuclear	Carbón
Inglaterra	3,68	4,84
Francia	2,57	4,25
USA	3,35	3,86

Francia tiene el costo nuclear más bajo debido a que allí se construyen las unidades en seis años, se han adoptado diseños estandarizados y, en lo posible, construyen varios grupos en el mismo emplazamiento.

También la OCDE ha elaborado un informe en 1983, denominado «Los costes de producción de la energía eléctrica en las centrales nucleares y en las cen-

COSTES ACTUALIZADOS DE LA PRODUCCION DE ELECTRICIDAD - OCDE 1983

1 enero 1981 10⁻² ECU/kWh. 1 ECU = 104 ptas.

PAISES	NUCLEAR				CARBON				Relación N/C
	Inversión	Operación y mantenimiento	Combustible	Total	Inversión	Operación y mantenimiento	Combustible	Total	
Alemania	1,58	0,47	0,82	2,87	0,79	0,60	3,32	4,71	0,609
Bélgica	1,26	0,57	0,68	2,51	0,59	0,32	2,59	3,50	0,501
Canadá	0,95	0,16	0,28	1,39	0,58	0,29	1,32	2,19	0,634
USA	1,85	0,37	0,67	2,89	1,03	0,37	1,52	2,92	0,989
Francia	1,02	0,36	0,69	2,07	0,83	0,29	2,50	3,62	0,571
Italia	0,99	0,22	0,78	1,99	0,56	0,19	2,38	3,13	0,635
Japón	1,34	0,47	0,76	2,57	0,95	0,42	2,51	3,88	0,662
Noruega	1,26	0,44	0,78	2,48	0,82	0,43	2,27	3,52	0,704
Holanda	1,61	0,37	1,02	3,0	0,79	0,41	2,68	3,88	0,775
Gran Bretaña	2,85	0,34	0,93	4,12	1,73	0,35	3,82	5,90	0,699
Suecia	1,75	0,45	0,85	3,05	0,84	0,49	2,74	4,07	0,751

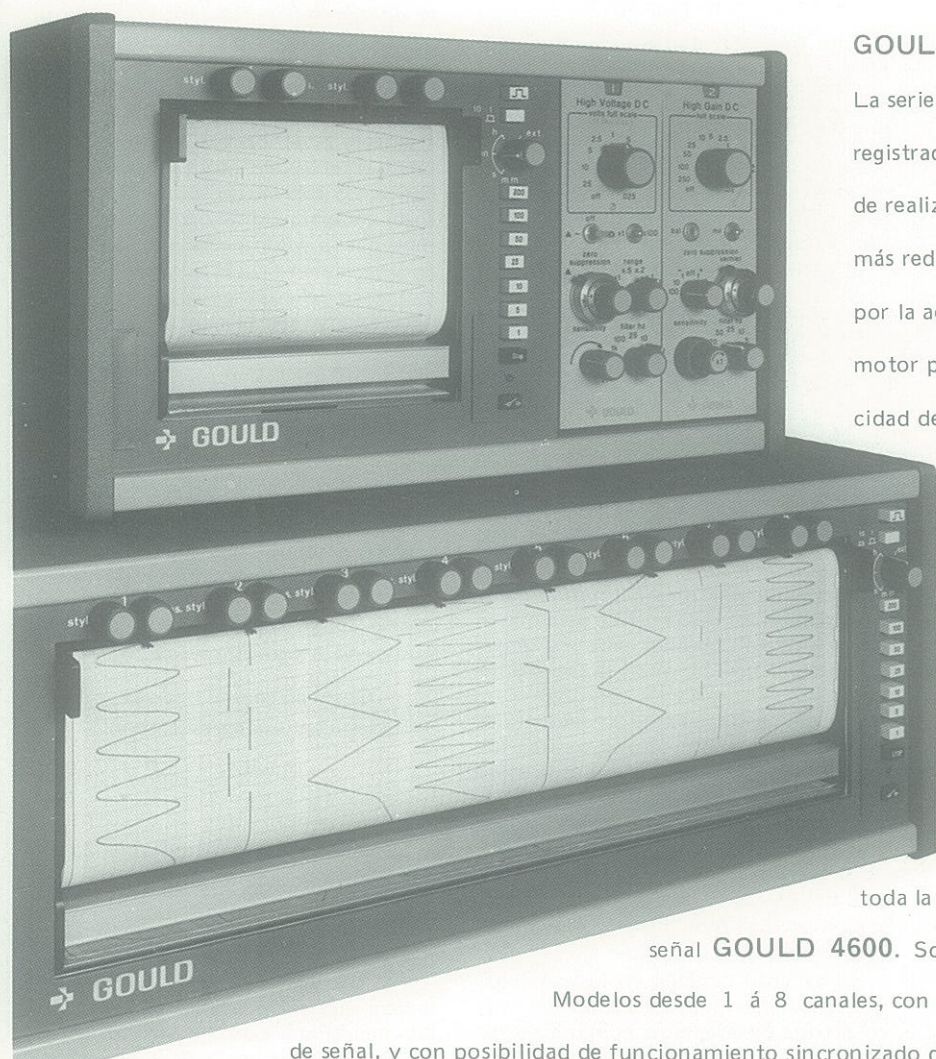


GOULD
Electronics

REGISTRADORES TERMICOS SERIE 8000 S

SELECCIONE LA VELOCIDAD

SELECCIONE LOS MODULOS



GOULD dispone de todo tipo de registradores.

La serie 8000 S responde a la demanda de un registrador galvanométrico, fiable, seguro y capaz de realizar medidas precisas, desde los intervalos más reducidos, a los más largos. Esto es posible por la adopción de un sistema de arrastre mediante motor paso a paso, lo que permite cualquier velocidad desde 1 mm/hora, hasta 200 mm/segundo.

En esta proporción, (1 á 720.000), se puede elegir entre 21 valores preseleccionados, o bien, depender la velocidad de una señal externa. Con independencia de la velocidad, el trazo será siempre nítido y contrastado, debido al sistema de escritura térmica empleado. Los registradores 8000 S son modulares: aceptan

toda la gama de más de 30 acondicionadores de

señal GOULD 4600. Son compactos, ligeros, universales.

Modelos desde 1 á 8 canales, con entrada directa o a través de acondicionador

de señal, y con posibilidad de funcionamiento sincronizado de múltiples registradores, (característica

imprescindible en salas de control).

La Serie 8000 S complementa la gama de registradores GOULD de tinta presurizada.

SOLO PRIMERAS MARCAS EN INSTRUMENTACION ELECTRONICA



ATAIO* INSTRUMENTOS, S.A.

c/. Enrique Larreta, 10. — 28036 - MADRID

Teléf.s.: (91) 733 05 62 - 733 37 00. Télex: 27249

trales de carbón», en el que compara los costes de generación en los diversos países europeos con objeto de establecer un criterio general que pueda servir de guía a los países miembros.

Como resumen de este informe se incluye el cuadro siguiente, que está referido a la situación de 1.º de enero de 1981.

Los valores anteriores están expresados en centésimas de unidades de cuenta europea por kWh. ($\text{ECU} \times 10^{-2}/\text{kWh}$).

Dentro de la diversidad de los valores correspondientes a cada país se aprecia claramente la ventaja del coste nuclear con respecto al carbón.

Expresados en forma comparativa, los valores medios resultantes para nuclear y carbón resultan los siguientes:

dos semejantes a los de los estudios internacionales. El coste de generación por unidad de energía, calculado de la forma antes indicada, resulta:

Para una vida útil de la central = 30 años

Nuclear: 4,698 ptas/kWh.

Carbón: 7,060 ptas/kWh.

Para una vida útil de la central = 25 años

Nuclear: 4,654 ptas/kWh.

Carbón: 6,566 ptas/kWh.

Por tanto, el coste de generación en una central nuclear es aproximadamente dos tercios del coste de generación en una central de carbón.

El proceso de encarecimiento progre-

bustible ya no puede compensar la baja de anualidad por prolongación del tiempo. La consecuencia inmediata que se deriva de esta comparación es que las centrales térmicas tendrán, por razones económicas, un plazo de explotación menor que las nucleares.

Los componentes principales del coste de generación corresponden a la inversión (inicial y de clausura) y al combustible.

A medida que se prolonga el plazo de vida de la central, disminuyen los términos de inversión y aumenta el término de combustible. La conclusión que se deriva de esta circunstancia es que el coste comparativo de generación, expresado por su valor medio anual, depende de una manera muy significativa de la evolución del coste de la energía primaria a lo largo del tiempo y que, en consecuencia, cualquier análisis numérico dependerá en forma decisiva de las hipótesis que se hagan con respecto a la variación de los costes del carbón y del uranio en el tiempo futuro.

En todas las circunstancias, el coste de generación de la central nuclear es más bajo que el de la central térmica de carbón. Cuando se comparan los dos costes óptimos, que corresponden a la situación de $T = 25$ para la central nuclear y $T = 20$ para la central de carbón, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{\text{Coste en central nuclear}}{\text{Coste en térmica de carbón}} = \frac{4,654}{6,120} = 0,7604$$

Este valor puede ser indicativo de una previsión prudente desde la perspectiva actual.

Todo lo anterior, en el caso de España, se refiere a centrales nucleares con todas las medidas de protección ambiental que exige el ciclo del combustible nuclear y a centrales de carbón, sin desulfuración de gases de combustión ni control de NO_x . Tampoco se han incluido las medidas de lucha contra la contaminación en la minería, el lavado del carbón, la restauración de terrenos degradados ni otros costos sociales y ambientales que los países de la OCDE incluyen porque realizan estos gastos; pero España no, hasta la fecha. Cuando en las centrales de carbón españolas se adopten algunas de las medidas de protección ambiental obligadas por la CEE, las diferencias de coste de generación por kWh. serán mayores y favorables, en todos los casos, a la energía de origen nuclear.

COSTES MEDIOS COMPARATIVOS DE LA PRODUCCION NUCLEAR Y DE CARBON

Clase de central	Inversión	Explotación	Combustible	Total
Nuclear	1,55	0,417	0,798	2,765
Carbón	0,893	0,384	2,633	3,910
Relación nuclear/carbón ...	1,735	1,086	0,303	0,707

El coste medio de la energía nuclear generada es el 70,7 % del correspondiente a la de la energía térmica de carbón.

Es interesante destacar que la inversión nuclear es un 1,735 superior a la del carbón y que, por el contrario, el coste del combustible es el 30 % del correspondiente a la térmica de carbón.

Según la comparación resumida en el cuadro anterior, la relación del coste nuclear-carbón es inferior a la unidad en todos los casos. En la situación más favorable a la generación nuclear (Bélgica) el coste es el 50 % de la generación con carbón. En la más desfavorable (USA), los costes son prácticamente equivalentes.

Para dos países la relación está comprendida entre 0,50 y 0,60. Para cuatro países, entre 0,60 y 0,70. Para tres países, entre 0,70 y 0,80.

En resumen cabe deducir, como valor medio indicativo de la situación real de esta comparación, 0,66; o sea, estimar que el coste de generación con centrales nucleares es aproximadamente los dos tercios del coste de generación con centrales de carbón.

CONCLUSION

Como conclusión se puede indicar que en el estudio efectuado en España, por los autores, se han obtenido resulta-

sivo de la energía primaria, como ha venido ocurriendo desde 1973, determinará una ventaja más clara para la energía nuclear a medida que transcurra el tiempo.

Por otra parte, cuando se aumenta el coste de generación de una central, las posibilidades de colocar su energía eléctrica en el sistema nacional disminuyen y, en consecuencia, las centrales que tengan un coste de explotación más elevado y creciente en el tiempo, tendrán una menor utilización horaria, lo que, a su vez, determinará un coste medio alto de la energía eléctrica.

Se ha visto también en los capítulos anteriores que una escalación del 3 % en el coste de la energía primaria acorta la vida útil, desde el punto de vista económico, en la central de carbón a un plazo de 20 años, mientras que la central nuclear continúa dando costes más bajos con plazos de explotación superiores a 25 años.

Los costes de generación disminuyen a medida que se prolonga el plazo de explotación, T , de la central. En el caso de la central nuclear, los costes descienden de 6,108 ptas/kWh. cuando $T = 10$ hasta 4,654 cuando $T = 25$.

En el caso de la central térmica los costes descienden hasta un valor comprendido de T entre 15 y 20; a mayor plazo, la escalación del coste de com-