

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA NUCLEAR CON DESTINO A LA OBTENCION INDUSTRIAL DE ENERGIA ELECTRICA

Por VICTORIANO MUÑOZ OMS,

Ingeniero de Caminos.

En la Revista "Ribagorzana", de la Empresa Nacional de este nombre, que dirige nuestro ilustre compañero Muñoz Oms, apareció en el número de febrero último el presente artículo. La magnífica y clara exposición del importantísimo y apasionante tema del epígrafe nos llevó a la conclusión de que era obligado y necesario dar a conocer el notable trabajo a nuestros lectores, y por ello lo reproducimos a continuación.

Introducción.

Consecuencia de la honda preocupación que acusamos en la conferencia pronunciada en el "Fomento de las Artes Decorativas", de Barcelona, el día 30 del pasado mes de abril, respecto a la situación del país en materia de energía eléctrica y a la limitación relativa de los recursos energéticos de clásica utilización (agua y carbón o fuel), y en consonancia con lo que allí se decía en orden a la inexcusabilidad de ir preparando, o por lo menos hablando y estudiando otras nuevas fuentes productoras de energía, se han ido reuniendo los antecedentes que ha sido posible conseguir referentes al aprovechamiento de la energía nuclear para fines industriales, a la par que se ha puesto el máximo interés en la consideración de las primeras materias aptas para dicha finalidad.

Estamos muy lejos todavía de donde quisiéramos llegar, tanto en lo que corresponde a los conocimientos técnicos como a la seguridad de nuestras posibilidades. No obstante, y a base de que nos sean perdonados los errores que podamos cometer en materia tan nueva como la que se trata, estimamos que debemos exteriorizar lo que hemos podido aprender, así como nuestras primeras reflexiones sobre las transformaciones que en los regímenes eléctricos, en los hábitos domésticos y en la suerte económica de las naciones, ya muy en breve, hemos de ver introducidos en forma verdaderamente descomunal y provechosa si, como es de esperar, conseguimos acertar en su planteamiento y ulterior desarrollo.

Sucintamente, por tanto, expondremos a continuación nuestras primeras ideas sobre este apasionante asunto, con todas las reservas del caso y confiados siempre en la benevolencia y buen juicio de quienes las lean.

Síntesis de las teorías y de los procesos nucleares.

Como es sabido, el átomo se compone de un núcleo, con carga eléctrica positiva, en cuya órbita

giran otros elementos, cargados negativamente, llamados "electrones", hallándose el conjunto eléctricamente equilibrado. El núcleo se halla constituido, a su vez, por unos elementos llamados "protones"—que son los que se hallan cargados positivamente—, y por otros, sin carga eléctrica de ninguna clase, ligeramente más pesados que los protones, designados con el nombre de "neutrones". Además de estos elementos fundamentales, en las reacciones algunas veces se producen algunos electrones positivos de pequeña masa y corta existencia, los cuales se llaman "positrones"; también los protones y neutrones se hallan unidos por una misteriosa partícula llamada "meson".

El número de protones es lo que caracteriza químicamente el átomo; en cambio, el número de neutrones puede variar para una misma substancia, es decir, para igual número de protones, dando lugar a cuerpos distintos llamados "isótopos", los que, si bien químicamente son iguales, varían en su estructura nuclear y en su masa atómica, siendo esta última igual a la suma de las masas presentes en el número de protones y neutrones. Ejemplo: en el caso del Uranio hay varios isótopos, los cuales, siendo todos iguales químicamente con 92 protones, se distinguen físicamente por el número de neutrones, existiendo el Uranio 238 con 92 protones y 146 neutrones, el Uranio 235 con 92 protones y 143 neutrones y el 234 con 92 protones y 142 neutrones.

Contra lo que se creía antes, el átomo no está, por tanto, constituido por una única unidad o elemento, y tampoco sus distintas partículas se hallan imperecederamente agrupadas, sino que, por el contrario, pueden emigrar de unos átomos hacia otros para modificarlos en su constitución química o en su estructura física, produciéndose unos nuevos cuerpos, los cuales, por otra parte, pueden ser estables o no. Ejemplos, además de los citados, al hablar de los isótopos, el Uranio₉₂U²³⁸, y con la pérdida de dos protones y de dos neutrones pasa a un isótopo

del Torio₉₀Th²³⁴; a la inversa, el Uranio 238 (₉₂U²³⁸), con la adición de unas partículas, pasa a Neptunio (₉₃Np²³⁹) y éste a Plutonio (₉₄Pu²³⁹).

La inestabilidad de los cuerpos puede ser espontánea o provocada.

En el primer caso se dice que hay "radioactividad", cuyo fenómeno podemos definir como la propiedad que poseen ciertos átomos de "romperse" —valga la expresión— espontáneamente, emitiendo parte de sus elementos o partículas, cargadas positiva o negativamente, u ondas electromagnéticas. Cuando las partículas emitidas se hallan cargadas positivamente —trátase de partículas desprendidas del núcleo, compuestas por dos protones acompañados de dos neutrones—, constituyen lo que se ha dado en llamar *rayos α*; cuando las partículas son negativas, tratase de electrones y los rayos se llaman *β*; cuando lo que se produce son solamente ondas electromagnéticas, sin lanzamiento de partículas de ninguna clase, por choque y anulación de las cargas eléctricas de sentido contrario de los electrones y positrones, entonces es cuando se dan los rayos *γ*.

Los rayos *α*, por tratarse de cargas eléctricas relativamente fuertes, tienen gran poder ionizante, pero son muy poco penetrantes; los rayos *β* son más débiles y algo más penetrantes; finalmente, los rayos *γ* profundizan mucho y, por tratarse de ondas, no alteran ni la carga de los cuerpos emisores ni son ionizantes para los receptores.

Antes de seguir adelante y antes de adentrarnos en la explicación de los fenómenos de la desintegración provocada, debemos aclarar que, en el caso de los materiales dotados de radioactividad, los átomos no se rompen todos a la vez, sino que lo hacen paulatina y sucesivamente, alcanzando distinta "vida"; precisamente, la característica de cada uno de esos materiales viene representada por los años en que se pierde "la mitad de su vida". Así, por ejemplo, el radio tiene 1 600 años, el Uranio natural 4 500 millones de años, etc., etc.; se entiende que una vez perdida la mitad del peso, se repite indefinidamente la ley expuesta, tantas veces como sea posible hasta la anulación total, la cual, como se ve, prácticamente, es inalcanzable.

Esta lentitud del proceso desintegratorio de ciertos átomos, considerados singularmente, por sí mismos y en su estado natural, explica la carencia de interés en el aprovechamiento práctico de la energía desprendida *espontáneamente* en dicho fenómeno.

Si lo que sucede en los átomos considerados aisladamente, tiene un interés más bien especulativo, en cambio lo que sí interesa muchísimo a los efectos prácticos es considerar cómo pueden y cómo reaccionan unos átomos con otros. La reacción más simple es la de carácter químico, la cual se circunscribe solamente a las órbitas exteriores de los átomos sujetos a combinación, es decir, a los "electrones", sin que en dichas reacciones se alteren ni afecten en

lo más mínimo los núcleos de los átomos, los cuales quedan inalterables; en esta clase de reacciones se puede desprender calor, como sucede en el caso de la combustión del carbón, pero la cantidad de energía producida es la vulgarmente conocida y relativamente pequeña respecto a la de carácter nuclear. Otra cosa muy distinta, y muy a destacar, sucede cuando la reacción tiene lugar entre los componentes de los núcleos, o sea, entre los protones y los neutrones de distintos átomos, puesto que es entonces cuando surgen otros cuerpos distintos —distinta materia, o los isótopos—, se da lugar a la fusión o al desdoble de los cuerpos producidos y se requiere o se desarrollan considerables desprendimientos de energía.

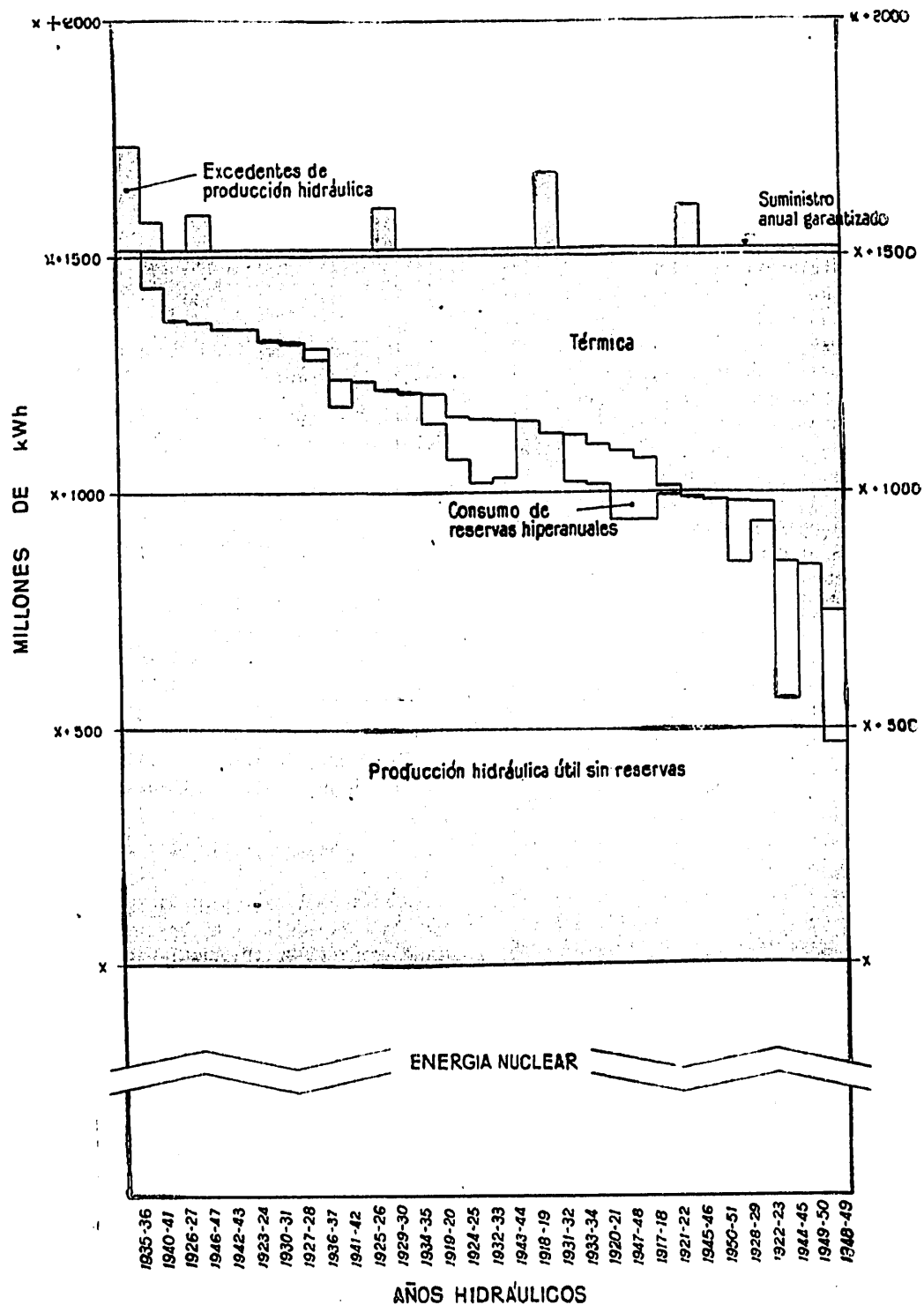
En las reacciones nucleares juegan una importancia capital los "neutrones", pues al no hallarse cargados eléctricamente, no encuentran resistencia al atravesar los campos negativos y positivos de los átomos receptores, y, por tanto, pueden penetrar fácilmente en los núcleos de estos últimos, con gran diferencia de lo que sucede en el caso de los rayos *α* y *β*, los cuales apenas surten efectos porque las partículas emitidas, al hallarse con cargas eléctricas, se detienen en seguida al chocar con las defensas, también eléctricas, de los átomos atacados.

Los neutrones *no son* emitidos aisladamente en el curso de la *natural o espontánea radioactividad*, pero su separación de los cuerpos a que pertenecen puede ser provocada artificialmente, así como, una vez desprendidos, pueden moverse libremente, lo cual es muy importante por los choques o "bombarddeos" de ellos sobre otros átomos.

Cuando un neutrón penetra en el núcleo de un átomo, se ocasiona el proceso nuclear correspondiente, del que resultan, como hemos aludido, uno o varios nuevos cuerpos, los cuales pueden ser estables o inestables. Si el producto resultante obedece a una labor de síntesis, al fenómeno se le llama "fusión" y si, por el contrario, son varios los cuerpos que se obtienen, entonces, al fenómeno se le llama "fisión", la cual no es más que el desdoble de la primitiva materia en otras de naturaleza distinta. Tanto en un caso como en el otro, las masas resultantes pueden ser diferentes de las originales; las diferencias corresponden a la energía que se requiere para dar lugar al fenómeno si aquella diferencia de masas es negativa, y si, como interesa a los efectos prácticos del aprovechamiento de esta clase de energía, aquella es positiva —por ser las masas resultantes menores que las primitivas—, la pérdida no es otra cosa que energía desprendida.

Caso característico de "fusión", con *suelta* o desprendimiento de energía, se da en la formación del Helio (₂He⁴), fruto de la reacción del Hidrógeno, en su estado ordinario (₁H¹), y de sus isótopos, Deuterio (₁H²) —asociación de una partícula de ₁H¹ con un neutrón, cuyo elemento es base del "agua pesa-

DIAGRAMA DE LAS PRODUCCIONES ELÉCTRICAS DE UN SISTEMA HIDRO- TERMICO-NUCLEAR, TOMANDO COMO BASE LAS PRODUCCIONES HIDRÁULICAS DEL RIBAGÓRZANA



da" — y Triterio (${}^3\text{H}$), cuya reacción constituye el fundamento de lo que se ha dado en llamar: "Bomba de Hidrógeno".

Ejemplo típico de "fisión", muy resaltable a los efectos que nos interesan, se produce con la penetración de un neutrón en el núcleo de un átomo de Uranio 235, pues entonces se forma una masa de 236, la cual, al ser inestable, se divide en dos: una de Molibdeno — con peso atómico 95 —, y otra de Lantano — con peso atómico 139 —, soltando, a la vez, unos neutrones y la cantidad considerable de energía correspondiente a la masa desaparecida en el fenómeno por diferencia de la original con la suma de las dos nuevas estables.

A diferente manera de lo que sucede con la radioactividad o desintegración espontánea de algunos cuerpos naturales — los únicos que se dan en la Naturaleza son el Uranio y el Torio — con el proceso paulatinamente sucesivo, explicado anteriormente, ahora, cuando se trata de desintegraciones provocadas, como quiera que pueden desprenderse en el fenómeno nuevos neutrones libres, éstos, a su vez, golpean a otros átomos, repitiéndose el anterior fenómeno en rápida progresión geométrica, dando lugar a la fisión llamada *en cadena*, y, con ello, a los grandes desprendimientos de energía en forma de violentas explosiones, o controlada si se modera la reacción con la presencia de cuerpos como el grafito, agua pesada, berilo, helio, etc., que retrasan la velocidad de los neutrones y, por tanto, a aquéllas.

Dado que nuestro objetivo es el aprovechamiento de la energía desprendida en esta clase de reacciones nucleares, antes de entrar en el estudio de los medios para lograrlo, vale la pena insistir en la concepción del fenómeno y destacar cuánto vale dicha energía.

La cohesión de los diferentes elementos de los átomos — protones con neutrones, más los electrones — se consigue a base de una fuerza coercitiva, o sea, de una energía. Mientras los átomos sean estables o si dividiéndolos los cuerpos resultantes tienen en su conjunto igual masa, no habrá suelta de energía y, por tanto, nada se puede aprovechar; pero, por el contrario, si por ejemplo al fisionarse los átomos, los nuevos cuerpos en su conjunto pesan menos que el original, quiere decir que falta algo, y, este algo, desaparecido aparentemente, es la energía que se desprende y que nosotros tratamos de aprovechar o que produce las grandes explosiones.

En la escala y ambiente en que nos movemos se hace difícil asimilar la potencia de esta clase de energía. En cierto modo, es como en el caso de la presión atmosférica que gravita sobre nosotros; no la sentimos, pero si llegara a desaparecer bruscamente, nuestros órganos estallarían y moriríamos.

La energía que cohesiona a los átomos equivale al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz; siendo ésta de 300 000 000 m./se-

gundo, y siendo muchísimos los átomos comprendidos en una masa física cualquiera, ya se infiere que la energía acumulada es, de tan extraordinaria, incomprensible.

Intentemos hacer resaltar esa importancia con dos ejemplos, el segundo de ellos sumamente adecuado con vistas al aprovechamiento práctico de la energía:

a) Energía producible con la desintegración total de una masa cualquiera de peso equivalente a un kilogramo.

$$E = m \times v^2 = \frac{1,00 \text{ Kg.}}{9,81 \frac{m}{\text{seg.}^2}} \times (300 \times 10^6 \text{ m seg.})^2 =$$

$$= 9180 \times 10^{12} \text{ Kg. m} =$$

$$= \frac{9180 \times 10^{12}}{75} \frac{0,736}{3600} = 25\,000 \text{ millones kWh.}$$

b) Energía desprendida en la "fisión" de un kilogramo de Uranio 235.

Masa equivalente de un átomo de U. 235...	235,124
Adición de un neutrón.....	1,00898

Suma de la masa del cuerpo inestable...	236,13298
---	-----------

Productos resultantes de la fisión del cuerpo original:

Masa de Molibdeno.....	94,945
Masa de Lantano.....	138,955
2 neutrones aprovechados.....	2,01796
Suma.....	235,91796

Por tanto, diferencia de masas desaparecidas entre la original y las resultantes, convertida en energía:

$$236,13298 - 235,91796 = 0,215 \text{ amus.}$$

Ahora bien; como quiera que en 1 Kg. de Uranio 235 se calcula que hay 255×10^{22} átomos, la masa convertida en energía es de $0,215 \times 255 \times 10^{22} = 55 \times 10^{22}$ unidades, y al equivaler la unidad de masa (amus) a $4,15 \times 10^{-17}$ kWh., la energía total desprendida en el kilo de Uranio 235 será de:

$$55 \times 10^{22} \times 4,15 \times 10^{-17} = 22\,800\,000 \text{ kWh.,}$$

energía esta última, más o menos equivalente a la teórica producible por tres millones de kilogramos de un buen carbón.

Con estos ejemplos ya se comprende bien el enorme poder de la energía aprisionada en las materias, al igual que la recuperable en la partición de los materiales "fisionables", ya sea con la explosión súbita, caso de las bombas atómicas, ya sea con el aprovechamiento industrial utilizando los medios moderadores que exponemos más adelante.

Elementos "fisionables".

No conociendo nada respecto a la bomba de Hidrógeno, y menos de si se podrá aprovechar más adelante la energía que se puede desprender con la desintegración total de la materia, debemos referirnos, en este estudio, exclusivamente a aquello que ha entrado en franco desenvolvimiento de carácter industrial, como sucede con los aprovechamientos de la energía desprendida a base de "fisionar" algunas materias especiales, las cuales, hasta el presente, quedan reducidas a las siguientes:

a) Uranio, el cual es el único que se encuentra en estado natural.

b) Plutonio, producto artificial derivado del producto natural Uranio.

c) Uranio 233, derivado del producto natural Torio.

Por otra parte, el Uranio natural, o sea el que se presenta en los minerales, se halla integrado por:

Uranio 238	99,282 %
» 235	0,712 %
» 234	0,006 %

Suma..... 100,000 %

Siendo, por consiguiente, el Uranio y el Torio los fundamentos de los únicos materiales fisionables, ya sea por sí mismos, como en el caso del Uranio 235, ya sea por transformación en Plutonio o Uranio 233, y aun hallándose el 235 involucrado en el 238, se infiere el enorme interés en encontrar los minerales de referencia y en operar sobre ellos para el aprovechamiento de la energía nuclear que pueden suministrar.

Minerales y yacimientos de Uranio y Torio.

Los hay de dos procedencias: de génesis primaria y de génesis secundaria. Los primeros proceden directamente del magma, surgen de grandes profundidades y se presentan en la corteza terrestre a manera de filones; los segundos derivan de los minerales primarios anteriores y son depositados por la acción de las aguas ordinarias, por la meteorización o por un proceso natural cualquiera.

Como se comprende, los minerales más puros y ricos son los primeros, mientras que los segundos, mereciendo interés, acostumbra a ser de menos ley en Uranio y a hallarse acompañados por otros compuestos como el vanadio, potasio, calcio, etc.

Los tipos más característicos y casi únicos, prácticamente explotables, de entre los primeros, son la "petchblenda" y la "uranita", en especial el primero; trátase de óxidos de uranio — 50 a 85 % de U_3O_8 — de color negruzco, lustre apagado, peso es-

pecífico entre 6 y 10, duros, fractura concoidea y presentados, generalmente, en masas redondeadas y barreadas, frecuentemente, en la vecindad de otros minerales de plomo, cobre, níquel, cobalto, etc.: la uranita acusa algunos cristallitos de forma cúbica. El ejemplar más característico de los minerales secundarios es la "carnotita", con una composición química de óxido de uranio, potasio y vanadio; peso específico 4 y dureza entre 2 y 3; de color amarillento y anaranjado; terroso, presentándose en pequeños lentejones esparcidos entre los lechos de areniscas, así como impregnando a estas últimas. También entre los minerales secundarios se encuentran depósitos en las pizarras antiguas y en los fosfatos, a base de delgadas capas, regular y bastante extendidas, entre los lechos de los estratos base.

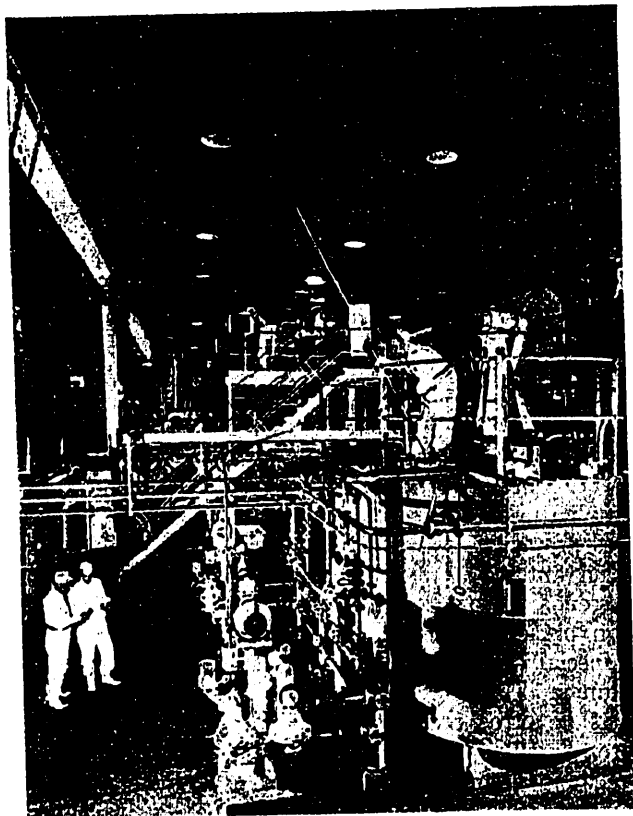
Los minerales primarios, como se ha dicho, constituyen unos filones; hay que buscarlos en los terrenos propicios a la presencia de masas hipogénicas de edad antigua, y así, se pueden encontrar entre los terrenos paleozoicos, aunque también se dice que se han presentado entre las pegmatitas y los granitos. Especial atención debe dispensarse a los sitios que, reuniendo dichas condiciones, se hallan en las cercanías de otros criaderos de plomo, zinc, cobalto, cobre, plata, níquel, bismuto y vanadio. En los afloramientos, la petchblenda, debido a la meteorización, se halla alterada y puede acusar una ley inferior a la específica en profundidad.

La "carnotita" se presenta entre las areniscas, generalmente del Jurásico y del Triás, en zonas relativamente extendidas, aunque en forma muy irregular y discontinua, acusando lentejones de ordinario o preferentemente ubicados en los fondos de los pequeños sinclinales de los estratos que los encajan, en los cuales si puede predominar el color rojizo, no sucede igual con lo que constituye el cuerpo principal, donde se halla el mineral, que suele ser de color gris.

Los minerales de Torio, por lo que deducimos, son raros de encontrar; dicen que aparecen en los pláceres y menos frecuentemente en las pegmatitas y en las sienitas.

Las leyes de las menas de los minerales primarios son varias y pueden sobrepasar el 20 % de contenido en Uranio; en cambio, las leyes de las carnotitas, pizarras y fosfatos, se consideran aceptables cuando son del 0,1 %, y hasta se habla de pizarras explotables con una diezmilésima de contenido de Uranio.

La investigación de toda esta clase de yacimientos se efectúa casi exclusivamente con el auxilio de detectores de los rayos y que emiten los minerales radioactivos de que se trata. Si bien en los primeros tiempos se echaba mano de los contadores Geiger, dados los recubrimientos normalmente existentes sobre los minerales, su sensibilidad resultaba pequeña, por lo que hoy día, se utilizan otros aparatos, tales



Planta de Springfields para la obtención del óxido de Uranio.

como los llamados Scintilómetros, mucho más eficaces, toda vez que se asegura pueden descubrir minerales enterrados a 8,50 metros de profundidad, y también se dice que cabe registrar las radioactividades desde unas alturas del orden de los 450 metros con el uso de aviones.

La medida utilizada en esta clase de aparatos es a base del número de miliroentgens emitidos por hora, siendo la unidad aquella equivalente a los rayos desprendidos durante una hora por 1,11 mgr. de rádium emplazado a 1,00 metros de distancia. Normalmente, en todos los sitios existe una pequeña radioactividad derivada de las circunstancias cósmicas naturales y generales del lugar, la cual, siendo designada con el nombre de "Background", hay que descontar en todas las prospecciones; dicho "background" suele variar entre 0,006 y 0,022 MR/H, por lo que, cuando se sobrepasa esta última medida, merece ser puesto un mayor cuidado en la investigación y, según cómo, pasar a la fase subsiguiente de análisis químico, exploraciones en socavón, pequeños sondeos, etc., etc.

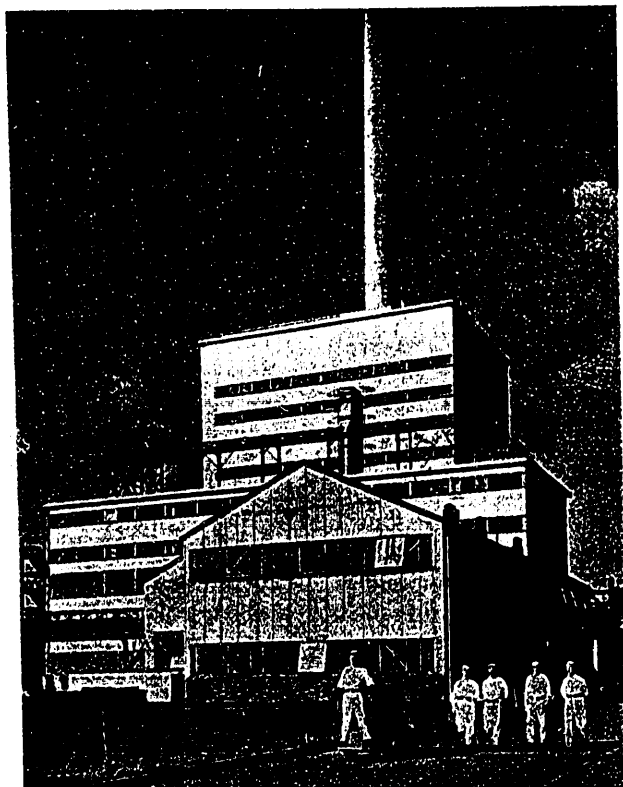
Sitios conocidos de yacimientos de pitchblenda son: el Congo Belga, en Katanga; en el Canadá, Lago del Gran Oso, cerca del círculo polar ártico, y en Athabasca; en Checoslovaquia en el yacimiento tan antiguamente conocido como el de Joachimsthal.

Estos yacimientos son todos muy ricos y, por tanto, se comprende el interés de la pitchblenda.

La carnotita se encuentra en las regiones del Colorado y de Utah; aunque las leyes son pobres, deben existir grandes extensiones, pues dicho yacimiento, habiendo sido explotado desde antiguo por su contenido en vanadio, hoy día nutre buena parte de las necesidades de Uranio de los Estados Unidos.

En Suecia cuentan con un cubo de 4 700 millones de toneladas de pizarra con Uranio; solamente una tercera parte de ellas, estimada con un contenido de 100 gr. de Uranio, les ofrece una previsión de 150.000 Tn. de Uranio.

Finalmente, por lo que concierne al valor de los minerales radioactivos, los precios, como es natural, varían según las circunstancias de lugar, transporte, nación, etc. A título de referencia, podemos decir que en los Estados Unidos, después de garantizar oficialmente unos precios y unas determinadas primas de estímulo a la apertura y a la explotación de los yacimientos por un período mínimo de años, se admiten toda clase de minerales a unos precios que, siendo variables según la ley, cuando se trata de minerales con un contenido no menor de 0,2 %, vienen a resultar a razón de 15 a 17 \$ por Kg. de U_3O_8 contenido; en el Canadá, el precio varía entre 21 y 25,3 \$ por Kg. de iguales óxidos.



Instalación de Windscale para la separación del Plutonio y tratamiento de los residuos.

Tratamiento mecánico y químico de los minerales.

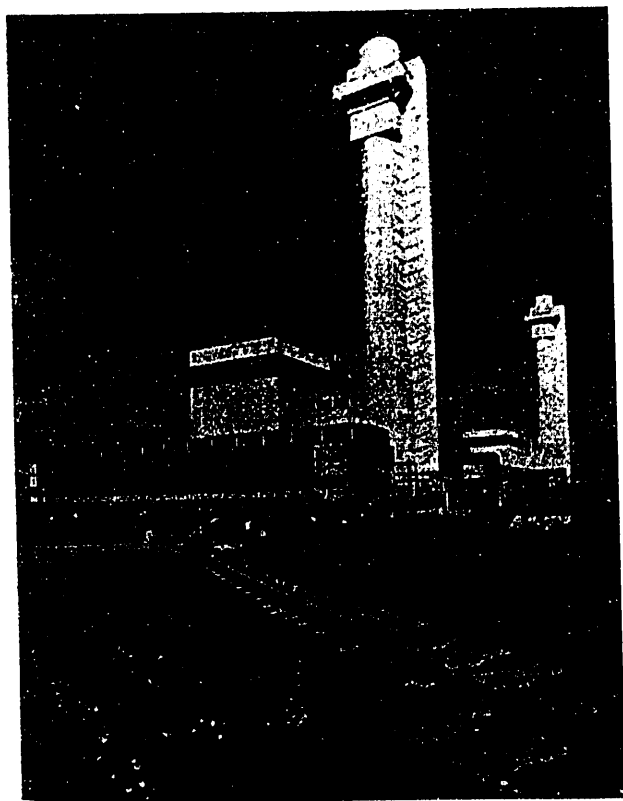
La concentración y la obtención del Uranio puro no es nada fácil, tanto por el escaso contenido del metal que se busca, y por lo que éste es en sí, como por la pureza que es preciso alcanzar, dado que de persistir algunos otros metales, por insignificantes que fueran sus dosis, después los procesos nucleares se habrían de ver hondamente perturbados.

El tratamiento, comparado con el de los minerales y metales ordinarios, como el hierro, plomo, cobre, etc., resulta bastante más complicado, puesto que ni se acude, para la concentración, a los sistemas más conocidos y empleados, como es el de la flotación, ni se acude a hornos reductores para la obtención del metal.

Sin embargo, se logran buenos rendimientos y, además, no se ofrece peligro alguno para la salud de los obreros, con tal que se evite la existencia de polvos, que podrían resultar dañinos en la respiración y en la ingestión.

En esencia, y salvo los secretos de fabricación, el tratamiento comprende las siguientes operaciones:

- 1.º Trituración y molienda fina de los minerales.
- 2.º Proceso para la separación del óxido de uranio y otros metales de los materiales inertes. Se fun-



Los dos reactores de Windscale.



Interior de la anterior instalación.

Fotografías extraídas del libro «Britain's Atomic Factories».

damenta en la disolución de los metales en un medio líquido y en su filtrado. Se utilizan soluciones a base de carbonatos de sodio, pero parece que el mejor procedimiento, sobre todo para los minerales primarios, es el de cloruración de los minerales, el cual, más o menos, consiste en lo siguiente:

- a) Mezcla de los productos finamente molidos, con un 6 a 8 % de sal común.
- b) Tostación de la anterior mezcla a unos 600° con recuperación de los gases, los cuales, una vez lavados, producen ClH.

Los productos tostados contienen, en forma soluble, los metales que se pretende separar.

- c) Paso de los productos tostados a unos depósitos con lechos filtrantes, a los que se les añade el agua acidulada, antes obtenida, convenientemente enriquecida con nuevo ácido.

Disolución y filtrado.

Los sólidos residuales son los estériles.

- 3.º Precipitado de la solución mediante agentes químicos, como amoníaco, peróxido de hidrógeno, etc.
- Filtrado y secado.

Producto resultante: "Óxido negro, compuesto por Uranio, Oxígeno e impurezas.

- 4.º Aunque el producto anterior para muchas

aplicaciones sería suficiente, es preciso eliminar todas las impurezas por pequeñas que sean.

Por tanto; afino del "Oxido negro" mediante ácido nítrico, evaporaciones, tratamiento del nitrato de Uranio residual con éter, para que este último arrastre el Uranio y deje las impurezas; decantaciones y lavados diversos, etc., etc., hasta obtener una solución de nitrato de Uranio en estado puro.

5.º Precipitado de la solución anterior en un compuesto sólido en forma de diuranato amónico, el cual es de color amarillo brillante muy lustroso.

6.º Reducción o eliminación del oxígeno contenido en el compuesto sólido anterior.

Tratamiento del mismo en horno eléctrico y paso del producto resultante a través de una corriente de gas fluorhídrico a la temperatura adecuada.

Obtención del "tetrafluoruro de Uranio", llamado "Sal verde", en cuyo compuesto el uranio, por fin, se halla en estado sólido, sin oxígeno, sin impurezas y sin otro producto que el flúor, constituyendo, realmente, la meta del tratamiento. De dicho producto se deriva el Uranio metal para la obtención del Plutonio, o bien la separación del Uranio 235 del 238 mediante el proceso llamado de difusión gaseosa.

7.º Si se opta por la obtención del Uranio metal, entonces:

Mezcla de la "sal verde" con trocitos de calcio metal y puesta del conjunto en moldes para su fusión y reducción.

8.º Finalmente, laminado y encartuchado del Uranio metal en barras de pequeño diámetro y corta longitud en cajas cilíndricas de aluminio.

Como se deduce de la síntesis anterior, el proceso no es fácil en su conjunto y es explicable que en Inglaterra se haya concentrado todo el tratamiento en una planta para toda la nación, situada en "Springfields".

Obtención del Uranio 235 y del Plutonio.

Una vez terminado el proceso químico del tratamiento, es decir, una vez obtenida la "sal verde", compuesta exclusivamente de Uranio puro y flúor, o el Uranio metal, debemos adentrarnos en el campo físico para conseguir el Uranio 235, y en el nuclear para conseguir el Plutonio, cuyos dos elementos nos son indispensables para el desprendimiento y utilización de la energía nuclear, de conformidad con los principios y fenómenos explicados anteriormente.

No es fácil ni lo uno ni lo otro, aunque los dos productos se consiguen hoy día en forma industrial.

Por lo que concierne al Uranio 235, la obtención se basa en la diferencia que existe entre las propiedades del Uranio 235 y del Uranio 238, los cuales, como se ha dicho, se hallan involucrados en el Uranio metal, antes obtenido, en la proporción

tan sólo de 1 a 140. Es de adivinar que siendo tan pequeña la proporción del 235 y siendo químicamente iguales ambos cuerpos, la separación de ellos ha de ser sumamente difícil; únicamente cabe apoyarse en las distintas características físicas de dichas materias.

La diferencia física entre el Uranio 235 y el 238 está en su composición nuclear y en el peso; la primera, a los efectos de alcanzar la separación, todavía no nos vale, por lo que solamente cabe acogerse a la diferencia de peso, la cual, como se comprende, es muy pequeña.

Primeramente se había pensado en el procedimiento electromagnético, basado en la atracción distinta de un imán sobre moléculas distintas, pero parece que el artificio no dió los resultados apetecidos y se recurrió al procedimiento llamado de "difusión gaseosa", sencillo en teoría, pero de una complicación extraordinaria en la práctica del mismo.

El método se basa en que las moléculas más ligeras de un gas pasan más rápidamente a través de unas membranas con pequeños agujeros que aquellas otras más pesadas, también difundidas en el mismo gas; consecuentemente, el gas que queda a un lado de la membrana contiene más moléculas pesadas que el otro, lo que quiere decir que el gas se enriquece o empobrece en relación con el original. Se comprende que por débil que sea la primera separación, si la operación es repetida innumerables veces, respectivamente para las partes enriquecidas y para las empobrecidas, se acabará por obtener un gas en el cual realmente existan las moléculas pesadas, y otro en el que únicamente existen las livianas.

Pues bien; de acuerdo con la teoría expuesta, se parte del producto llamado "sal verde", al cual se le añade más ácido fluorhídrico y se volatiliza el conjunto, para formar el gas "Hexafluoruro de Uranio", conocido con el nombre de "Hex", el cual debe ser mantenido a una constante y determinada temperatura para evitar que se solidifique, cuyo hecho viene a complicar el proceso, ya de por sí dificultísimo, en mérito al muy fuerte poder corrosivo del medio operante y de la extraordinaria multiplicidad de las operaciones de cribado en cadena antes aludidas. Una vez conseguida la separación de los gases con contenido de moléculas ligeras, o sea de Uranio 235, y los otros con moléculas pesadas 238, hay que quitar el Hexafluoruro para obtener los dos isótopos citados separados, lo que se consigue a base de someter el conjunto a congelaciones fraccionadas, mediante el uso de nitrógeno líquido.

Si bien para obtener el Uranio 235, hoy por hoy, es indispensable recurrir al procedimiento explicado, tan enormemente complicado y de dimensiones gigantescas respecto a bombas, tubos, energía utilizada, etc., etc., afortunadamente, por lo que diremos después, para la utilización práctica de la energía nuclear en la generación de la energía eléctrica — que

es lo que más interesa — no precisamos la obtención del Uranio 235 en su estado puro, puesto que, todo lo más, nos bastaría con un débil enriquecimiento del Uranio natural, es decir, con el logro de una proporción algo mayor de Uranio 235, lo cual se puede hacer, por lo visto, mucho más fácilmente.

Por lo que se refiere a la obtención del Plutonio, fundamentándose el procedimiento en la transformación del Uranio 238 al cuerpo de referencia mediante la incorporación de unos neutrones desprendidos del Uranio 235 mezclado con el primero, es decir, en la reacción nuclear del Uranio 235 sobre el 238, y efectuándose esta última de manera muy similar a la que debemos utilizar para la generación de energía eléctrica derivada de la energía nuclear, debemos dar por admitida la explicación de cómo se obtiene el Plutonio y remitirnos a cuanto expondremos seguidamente en materia de "reactores" y de su teoría, funcionamiento, dificultades, separación de productos, etc., etc. Bástenos únicamente decir, para la debida claridad de la exposición que efectuamos, que las barras de Uranio metal, obtenidas con el tratamiento químico, se introducen en esa clase de "hogares sin fuego", llamados "reactores", y de allí, tras el correspondiente proceso nuclear, del cual hablaremos, salen unos productos en los cuales se hallan íntimamente mezclados los siguientes cuerpos: Plutonio, mezcla de Uranio 238 y 235 no transformados pero aptos para su ulterior aplicación, y sustancias residuales por agotamiento de la materia tratada, todo lo cual hay que separar químicamente y en forma todavía no enteramente resuelta por la extraordinaria reactividad residual de las materias estériles.

Procedimientos para el aprovechamiento de la energía nuclear.

En la explicación que venimos desarrollando hemos llegado a la obtención de las primeras materias para la reacción nuclear. Ahora debemos ocuparnos de la diversidad de sistemas y de los medios que se conocen para el aprovechamiento de la energía que se desprende con la fisión de aquellas primeras materias y cuyos procesos cabe encasillar como sigue:

- a) Fisión súbita del Plutonio o del Uranio 235.
- b) Fisión moderada del Plutonio o del Uranio 235.
- c) Fisión del Uranio 235 con transformación del Uranio 238 en Plutonio.

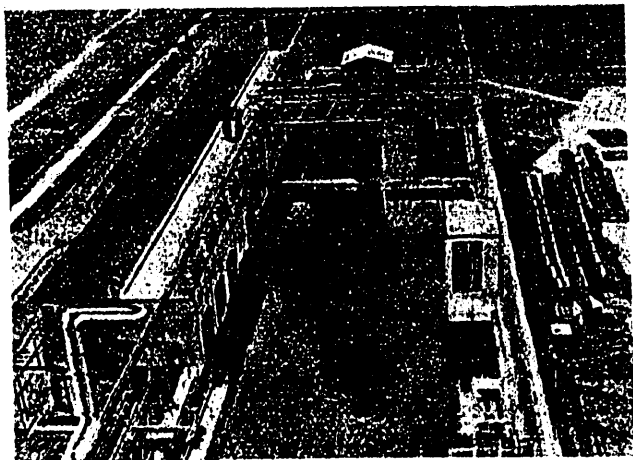
El primer caso corresponde a las explosiones de las bombas atómicas. Basta provocar el ataque de cualquiera de las dos materias citadas, Plutonio o Uranio 235 con algún neutrón, para producirse, como se ha explicado al principio de este informe, la fisión en cadena y desarrollarse súbitamente la inmensa cantidad de energía desprendida, que también se acusa en la primera parte del estudio.

La segunda y tercera modalidad corresponde al aprovechamiento, para fines industriales, de la energía desprendida. No sabemos si más adelante podrá ser utilizada dicha energía en forma directa sobre instrumentos mecánicos; pero, hoy por hoy, solamente cabe hacerlo mediante la generación de energía eléctrica, y aun esta última, a base de sacar provecho del calor producido en el desprendimiento de la energía nuclear, transformándolo en kilowatios hora mediante el vapor de agua, unas turbinas de vapor y unos alternadores; todos estos equipos parecidos a los normales, si bien ligeramente adaptados como consecuencia de la menor temperatura y presión del vapor producible en relación con los altos índices que se consiguen en las centrales térmicas más modernas.

El sistema de aprovechamiento de esta clase de energía, por consiguiente, viene a ser el mismo que el de las centrales térmicas, sin más diferencia que la de sustituir las calderas por unos reactores, con o sin intercambiadores de calor, el combustible de carbón o fuel por el de las materias fisionables y la combustión o reducción del carbón o fuel por el fuego sin llamas y sin gas de la reacción del Plutonio y del Uranio.

Dentro de esta concepción general, si es la modalidad b) de las enunciadas la que se escoge, entonces, al ser el Plutonio o el Uranio 235 el extracto o esencia de la materia, o, si se quiere, lo más puro y por antonomasia lo más fisionable, el aprovechamiento teóricamente es muy sencillo y no ha de requerir voluminosos o muy pesados medios, pues, a base de un símil, aquél viene a resultar como el de un gasógeno vulgar al que se le echan pequeños trocitos de carburo de calcio para después recuperar y utilizar el acetileno desprendido. Es cuestión tan sólo de que el artefacto donde se efectúa la reacción — hablaremos después extensamente de los reactores — y los agentes moderadores, encaucen y retarden la reacción en forma que se evite la explosión. Esta modalidad es la que se aplicará siempre que se requiera una utilización móvil, como concretamente creemos se plasma en el caso del submarino *Nautilus*, accionado con energía atómica y con todas las enormes ventajas de no ser necesario el consumo de oxígeno ni la habilitación de grandes acopios de combustible y, por tanto, con una posibilidad de inmersión indefinida.

Sin embargo, dada la gran dificultad de proporcionarse Uranio 235 puro o Plutonio, y siendo las cantidades obtenibles de estas materias relativamente pequeñas y caras (20 000 \$ el kilo de Uranio 235 y 100 \$ el gramo de Plutonio en los actuales momentos), el sistema, verdaderamente práctico para la generación de energía eléctrica, a base de energía nuclear, es el objeto de la modalidad c), es decir, la fundamentada en el calor producido en la transformación del Uranio normal en Plutonio. Con esta



Tanques para el "enfriamiento" de los residuos en Windscale.
Fotografía extraída del libro «Britain's Atomic Factories».

transformación se ocasiona una gran cantidad de calor y, a la vez, se va produciendo el material aludido de tan inmenso valor como es el Plutonio, el cual, si bien hoy se acopia y reserva para fines bélicos, no hay duda que su mejor aplicación será la aplicación industrial en instalaciones, diríamos "comprimidas", tan pronto como se cuente con cantidades producidas suficientes.

Reactores.

Una vez se cuenta con las primeras materias fisionables, la médula de la concepción industrial nuclear está en el artefacto donde se debe efectuar la reacción nuclear con el aprovechamiento del calor producido. Como veremos, hay varios tipos de reactores conocidos, pero en todos ellos el fundamento es el mismo: actuación estática de la materia fisionable en presencia de un elemento moderador y retirada del calor producido, mediante un agente determinado, con envío del mismo a un calderín, ya sea para intercambiarlo, ya sea para utilizarlo directamente en la producción de vapor. Los tipos conocidos de reactores se clasifican en los siguientes grupos:

1.º Reactores llamados "convertidores", o, más propiamente, "termales".

2.º Reactores "engendradores" (en inglés, "breeders").

3.º Reactores "productores".

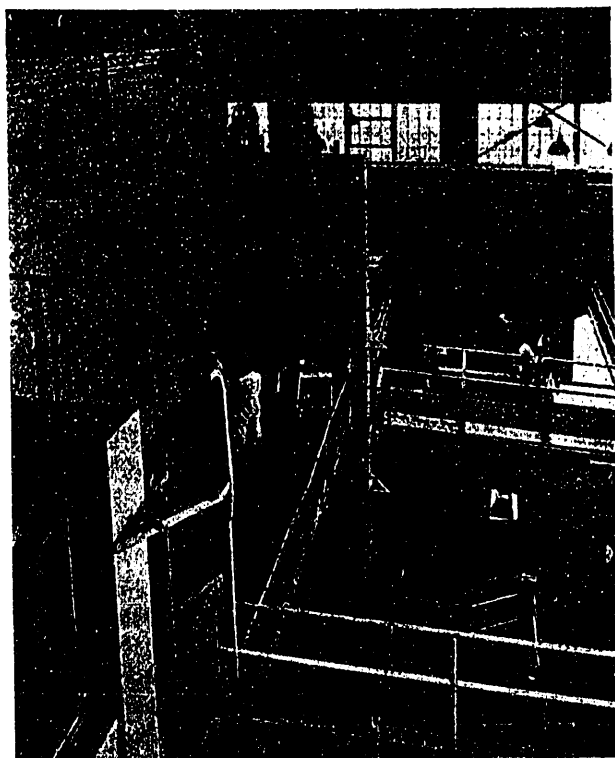
Los primeros son los que se fundamentan en el calor que se produce al convertir el Uranio normal en Plutonio, aunque, en rigor, para los reactores encuadrados en este grupo dicha conversión resulte pequeña y prácticamente no regenerativa; por esta razón les encuadra mejor el nombre de "termales".

En los segundos, como consecuencia de una menor moderación de los neutrones desprendidos sobre el propio Uranio 238, la actuación de los mis-

mos es más intensa, dando lugar a una generación muy activa de materia nueva fisionable, incluso mayor de la que se gasta. Estos reactores, mientras entregan calor y energía, al mismo tiempo "engendran" nuevo combustible atómico por la transmutación intensa del Uranio normal en Plutonio; prácticamente, si en los reactores del primer grupo sólo cabe aprovechar el 1,00 % del Uranio que se utiliza, en éstos es posible que se logre rebasar el 50 %, con la consiguiente repercusión en el precio de la energía producida y mayor disponibilidad de esos importantes pero raros combustibles.

Los terceros son aquellos destinados única y exclusivamente a la producción de energía, como se da en el caso de gastar productos muy ricos en Plutonio o Uranio 235 o Uranio 233, siendo, como se comprende, de resultados muy onerosos.

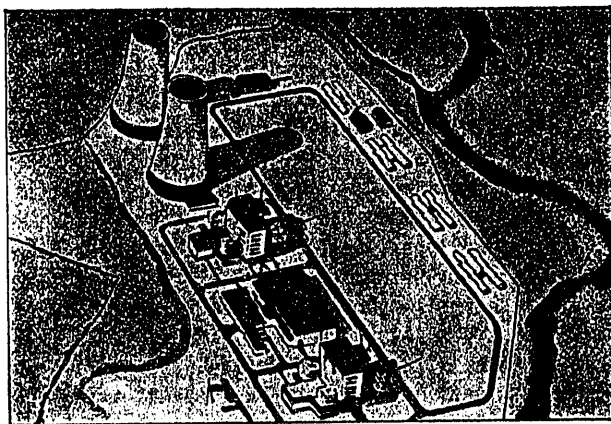
De la anterior clasificación se infiere que los reactores más simples y claros son los del grupo tercero, pero, como hemos aludido, no son susceptibles de generalización en razón a que las producciones del Plutonio y Uranio 235 han de ser escasas y caras. El segundo tipo es francamente sugestivo y puede concebirse que ha de ser el modelo ideal para un próximo porvenir; pero, hoy por hoy, aunque sea muy esperanzador y pueda constituir el paso definitivo en el aprovechamiento de la energía nuclear, parece que no se halla todavía enteramente resuelto.



Reactor de Oak Ridge, año 1943.

De modo que, a los efectos prácticos de la generación de energía eléctrica, debemos contentarnos, por ahora, con los reactores del primer tipo.

Limitándonos, por consiguiente, a estos últimos, podemos decir que, en esencia, se hallan constituidos por una gran masa de bloques de grafito, el cual constituye el elemento moderador, fuertemente revestida por su exterior con espesas losas de hormigón y plomo, para evitar la propagación de la extraordinaria radioactividad que se desarrolla durante el proceso. En el interior de esa masa de grafito se hallan habilitados una serie de canalitos horizontales paralelos, situados en pisos distintos, en los cuales se colocan y se van transportando muy lentamente aquellos cartuchos de aluminio cerrados, de que habíamos hablado, conteniendo las barras de Uranio normal o ligeramente enriquecido; en los propios canales circulan los agentes necesarios para enfriar la reacción y para retirar, a la vez, el calor desprendido que ha de ser objeto de utilización posterior. Para controlar la reacción se habilitan unas barras de metal especial, por ejemplo, de una aleación de cadmio o boro, que pueden cortar dichos canales, brusca o arbitrariamente, con lo cual, dando lugar



Proyecto de una de las nuevas centrales inglesas.

a la absorción por las propias barras de los neutrones emitidos, se suspende o modera la reacción nuclear objeto del proceso.

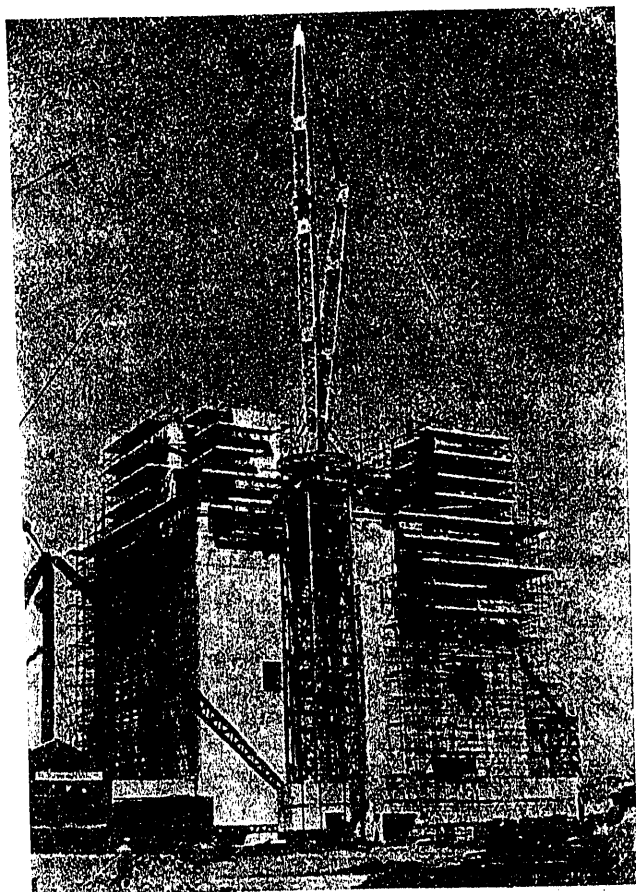
El agente empleado para enfriar la reacción y utilizar el calor desprendido, varía de unos a otros modelos. Así, los ingleses, en su primera instalación de Windscale, seguramente para simplificar y ganar tiempo, utilizaron sencillamente una fuerte corriente de aire; ahora, en la nueva central que están construyendo en Cumberland, utilizarán como agente el gas anhídrido carbónico. Los americanos, en la central que han iniciado cerca de Pittsburgh, emplearán la propia agua natural activamente renovada y a presión, para evitar su ebullición. También se habla de utilizar en los reactores rápidos metales en estado líquido, como el sodio.

Como se comprende, sea cualquiera el agente recuperador de calor que se utilice, este último va a parar a unos calderines para su aprovechamiento y formación del vapor. En la instalación americana, antes citada, para una potencia total de 60 000 kW. y un sólo reactor, habrá cuatro intercambiadores de calor. También hemos leído que, en algunos casos, se pretende utilizar el agua circulante para su directa conversión en vapor y empleo en las turbinas, para lo cual parece que no ha de ser obstáculo insuperable la radioactividad recogida.

Con todo, la dificultad mayor reside en la evaluación y tratamiento del "combustible nuclear" empleado, una vez se halla ya "quemado". Si se tratara de materias totalmente estériles, no existirían inconvenientes; pero es el caso que en los residuos se hallan íntimamente mezclados componentes radioactivos, que hay que separar y aprovechar o desprenderse de ellos en una forma no perjudicial para la sanidad pública.

En los residuos o "cenizas" resultantes se dan:

a) Productos con Plutonio, que hay que aprovechar.



Construcción de uno de los reactores de la central de Calder Hall, en Cumberland.

b) Productos con Uranio 238 y 235, que hay que recuperar.

c) Productos nocivos resultantes de la fisión, de los que hay que desprenderse.

Debemos resaltar que la radioactividad de estos productos es tremendamente intensa, por lo que hay que tratarlos de lejos y con toda clase de precauciones para que no se escapen.

En primer lugar, los productos, a la salida de los reactores, caen en unos carretones que, sumergidos en agua, se transportan a un estanque, donde aquellos vierten y se estacionan largo tiempo para "enfriarse" con la producción de reflejos, por lo que se dice, sumamente vistosos. Después se procede al tratamiento químico de los productos en cuestión, siguiendo un método parecido al explicado en el caso del afino del Uranio metal, si bien en este caso, por la razón aludida, con instrumentos complicados.

Del tratamiento surgen las siguientes soluciones líquidas:

- a) Solución con sólo Plutonio.
- b) Solución con sólo Uranio.
- c) Solución residual muy radioactiva.
- d) Solución residual medianamente radioactiva.
- e) Solución residual poco radioactiva.

De la primera y segunda se extraen, respectivamente, el Plutonio para su última utilización y el Uranio recuperado para la similitud de empleo.

Las otras soluciones constituyen un gravísimo problema, quizás el mayor de todos, pues no se sabe qué hacer con ellas, en razón a que la radioactividad no se destruye ni se conoce, por ahora, cómo se puede transformar en forma no dañosa. De momento, lo que se hace es guardar indefinidamente la primera solución en grandes tanques subterráneos incorrosibles; la segunda, se guarda dos o tres años, hasta que automáticamente pierda su peligrosidad, y la tercera, que de todos modos es la única abundante, se echa al mar, a dos o tres kilómetros de la costa, a través de una longitud de tubería, sumergida a gran profundidad, vigilando siempre la dosis de radioactividad vertida para no contaminar a los peces y con ellos a los seres humanos.

Es posible, sin embargo, que esta gran dificultad logre ser superada y (1) entretanto, quizás una solu-

(1) En efecto, así parece deducirse de las explicaciones recientemente facilitadas en Inglaterra el día 16 de febrero de 1955, al hacerse público el Plan para la construcción de 12 Centrales nucleares, en virtud de las cuales, al tratar de esta importantísima preocupación, la *Atomic Energy Authority* textualmente decía: "Es cierto que el riesgo por la disposición de los productos residuales puede ahora ser controlado y no es esperada una gran dificultad. El volumen residual será pequeño y grandes esfuerzos son efectuados a fin de determinar el mejor método para su tratamiento y almacenaje o utilización. Hay muchos valiosos usos para ellos, los cuales pueden absorber una gran parte de la producción."

ción esté en no tratar de recuperar el Plutonio contenido en los productos residuales, así como el Uranio todavía útil, en razón a que, al fin y al cabo, dichas materias vienen a constituir, para lo que nosotros deseamos, o sea para la generación de la energía eléctrica, unos subproductos de posible recuperación el día de mañana en que sea fácil el hacerlo.

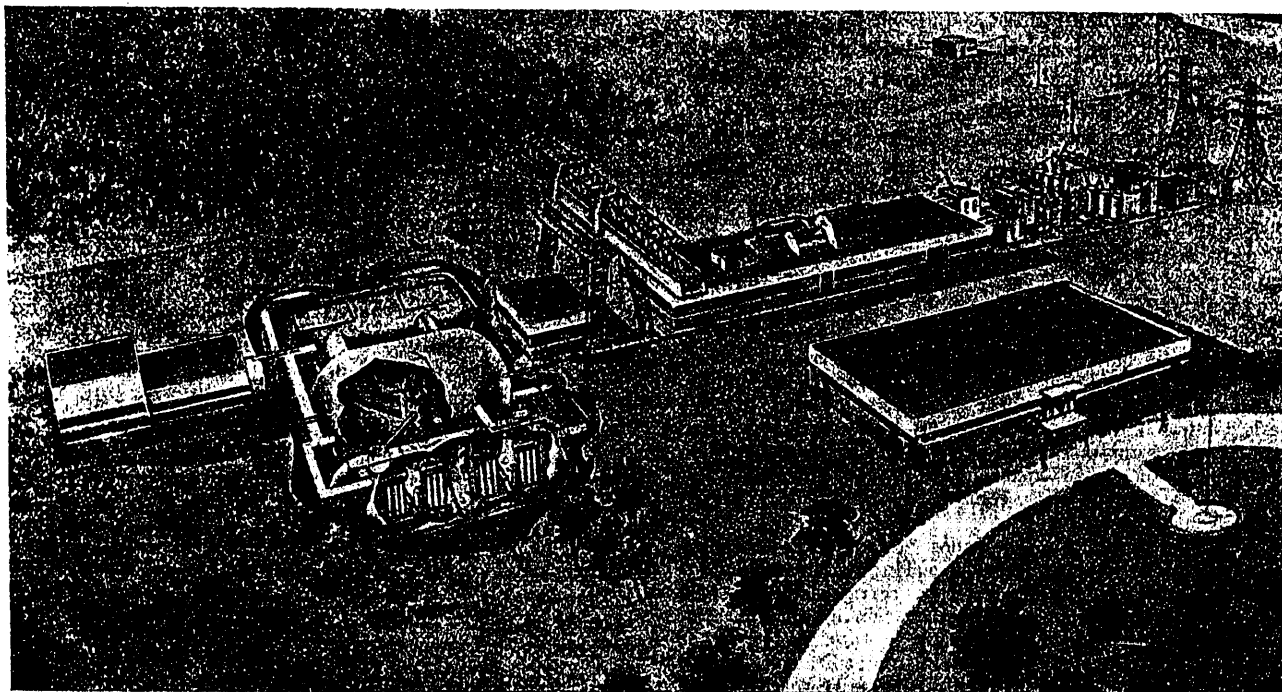
Realizaciones tangibles y costos.

Pese a las dificultades del empeño, por otra parte enteramente explicables si se tiene en cuenta la novedad y gran importancia del descubrimiento, lo cierto es que se han experimentado varias instalaciones de esta clase en diferentes países, y que hoy día se están construyendo, que sepamos nosotros, dos grandes estaciones productoras de energía (60 000 kW. cada una), concebidas y desarrolladas en escala industrial. Este hecho incontrovertible quiere decir que las grandes naciones, como Estados Unidos e Inglaterra, promotoras de las aludidas centrales, consideran ya vencidos sus problemas principales y se encaminan, directa y rápidamente, hacia esta gran puerta de un nuevo porvenir.

Prescindiendo de las naciones que se hallan al otro lado del telón de acero, son muchas las que se ocupan en la experimentación y puesta en explotación de instalaciones nucleares, pero entre todas ellas, las que parece que se hallan en situación más adelantada son Inglaterra y Estados Unidos.

Inglaterra, en el año 1945, atacó decididamente el problema con la escasa experiencia que obtuvieron durante la guerra en colaboración con los americanos y canadienses; en el año 1946 habilitó una fábrica, antiguamente dedicada a la producción de gases, situada en Springfields, para el tratamiento de los minerales y obtención del Uranio puro; luego, en 1947, emprendió en Windscale, cerca de Sellafield, en Cumberland, una gran planta, con su pila correspondiente, para la obtención del Plutonio, y finalmente, más tarde, se decidió a emprender una tercera gran fábrica para la obtención del Uranio 235, la cual se situó en Capenburst, cerca de Cheshire, constituyendo con todo ello los tres grandes pilares en que se ha fundamentado la gran experiencia nuclear, en escala industrial, de dicho país.

Con el patrimonio de la experiencia conquistada muy recientemente, en 30 de abril de 1953, se hizo pública la decisión de construir una gran central eléctrica de 60 000 kW., accionada exclusivamente por energía nuclear, cuya planta situarán también en Cumberland; según parece, se basa en reactores del tipo que hemos llamado convertidores, refrigerados y con recuperación de calor mediante anhídrido carbónico a presión; según se reveló recientemente, nuevos tratamientos serán empleados para la reducción radioactiva de los estériles residuales, al igual



Boceto de la primera central americana en construcción.

que nuevos progresos se han conseguido en orden a la separación del Plutonio y recuperación del Uranio (1).

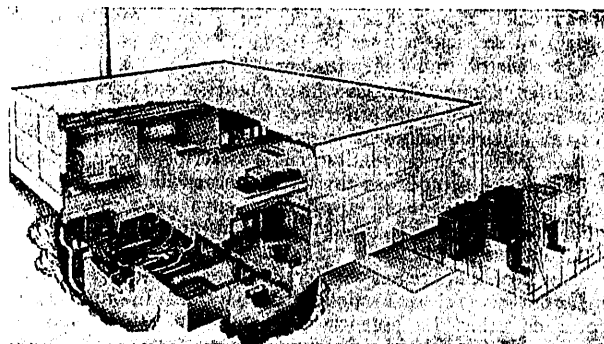
Los americanos, aunque quizás algo más retrasados en lo que concierne a la puesta en servicio de centrales eléctricas de energía nuclear, tampoco an-

(1) Recientísimamente, el día 16 de febrero del corriente año, el Gobierno inglés, con máxima solemnidad, en la Cámara de los Comunes y en la de los Lores, hizo público su nuevo Plan de diez años para la erección de 12 nuevas Centrales de energía nuclear por una potencia, en conjunto, de 1 500 000 a 2 000 000 kW., al cual habría de seguirle una segunda etapa para alcanzar los 10 ó 15 millones de kW. La primera etapa calculan que habrá de significarles un ahorro de carbón del orden de los cinco o seis millones de toneladas anuales, y en la segunda, de unos 40 millones, con la consiguiente repercusión respecto a la economía general de la nación y ahorro de mano de obra.

Los tipos de reactores que piensan emplear son análogos a los descritos, o sea, de los llamados "termales", funcionando con Uranio 238 ligeramente enriquecido; agente moderador, el grafito, y transmisión del calor, con anhídrido carbónico, aunque se halle previsto para los últimos que construyan la refrigeración mediante sodio líquido. En su Plan inmediato, por lo que se comprende, todavía no se han atrevido a utilizar otros tipos de reactores, si bien efectúan ensayos tras de los "breeders".

El coste de las 12 Centrales se halla previsto en 300 millones de libras, y calculan que el precio de la energía será, aproximadamente, igual al que obtienen actualmente en las centrales térmicas, si bien estiman que con el tiempo podrá ser aún más barato, en razón al perfeccionamiento del nuevo sistema, y, por otra parte, al natural encarecimiento del carbón. De momento hablan de un precio para la energía nuclear de 0.6 peniques, o sea, igual a 27,6 céntimos de peseta el kilowatio/hora.

dan remisos, y así, recientemente, con el relieve apropiado a la propaganda de tal país, el Presidente Eisenhower, desde larga distancia, puso en marcha las primeras máquinas destinadas a la construcción de su primera gran central, también de 60 000 kW., situada a orillas del río Ohio, a unas 25 millas de Pittsburgh. El reactor será también del tipo "termales", utilizando como combustible el Uranio natural ligeramente enriquecido con Uranio 235, aumentando la proporción natural de éste del 0.7 % al 1,5 a 2,00 %; contendrá una carga de diez toneladas de esta clase de combustible, encerrada en un recipiente cilíndrico de 6 pies de diámetro y 7,5 de alto, alcanzando el conjunto exterior, una vez incluidos los



Boceto de una central americana, tipo "Homogéneo" para su experimentación, a base de utilizar el Uranio o el Torio en estado líquido mediante determinada solución acuosa.

protectores y aislamientos, 9 pies de ancho y 25 de alto; el agente enfriador-recuperador de calor será la propia agua natural a una presión de 14 Kg./cm.² para prevenir la ebullición, la cual transmitirá el calor a cuatro calderines, para la generación de vapor a 42 Kg./cm.² de presión y 257° de temperatura. La realización de este proyecto ha sido confiada, en su parte técnica, a la casa Westinghouse (1).

Por lo que se refiere a costes de primer estable-

(1) Posteriormente a la redacción del presente estudio, nos ha llegado una información interesantísima del Plan de cinco años que tienen en curso los americanos para el eficaz desarrollo de la energía nuclear de carácter pacífico. Además de la Central de 60 000 kW. descrita, deseando experimentar seriamente los mejores reactores imaginados, han procedido a una selección y han encomendado la construcción de los siguientes, alguno de ellos, como se observará, de gran novedad técnica:

1.º Tipo reactor de los llamados "termales", con utilización de Uranio ligeramente enriquecido; agente moderador grafito y empleando como elemento refrigerador el sodio líquido. Esta instalación, sin la generación de energía eléctrica, debe estar terminada en enero de 1956.

2.º Tipo reactor también "termal", con utilización de igual combustible, pero a base de utilizar el agua refrigeradora directamente para la generación del vapor, sin emplear el dispositivo de los intercambiadores de calor. Se manifiesta que se ha comprobado que la radioactividad recogida no constituye ningún peligro ni dificultad importante; por el contrario, parece que la "moderación" se efectúa mejor. El núcleo del reactor se halla contenido en un pequeño tanque, en el que el agua circulante es convertida, allí mismo, en vapor, el cual se envía directamente a las turbinas. La terminación de la instalación está prevista para todo el año 1956.

3.º Tipo reactor también "termal", pero con la novedad de utilizar el Uranio en estado líquido, disuelto en forma de "sulfato de uranilo". Al recurrir a esa especie de procedimiento de "vía húmeda", se adivina la extraordinaria simplificación y el fácil control del funcionamiento del sistema, la mejora de la moderación y, principalmente, el mejor aprovechamiento del combustible, a la par de una más fácil separación y tratamiento de los productos residuales. Por contra, presenta los inconvenientes derivados de una alta corrosividad y la absoluta necesidad de una absoluta estanqueidad. Este tipo de reactor, que se caracteriza con el nombre de "Homogéneo", ha sido ampliamente experimentado y la nueva planta debe funcionar en el verano de 1956.

4.º Un tipo exactamente igual al anterior, pero para ser utilizado con Torio. Su potencia será de 65 000 kW. de calor para ser transformados en 16 000 de energía eléctrica, y su construcción debe ser empezada en el año 1958 para ser puesto en servicio a fines de 1959.

5.º Reactor tipo engendrador o "breeder", a base de un núcleo en el que se iniciará la combustión con Uranio 235 ó Plutonio, para que los neutrones desprendidos puedan transformar el Uranio natural de una envoltura exterior en Plutonio. Como se hace resaltar en la descripción que tenemos a la vista, es como si se tuviera un motor de gasolina, equipado con unas camisas envolventes, cuya agua interior circulante se convirtiera en gasolina solamente por la influencia del funcionamiento de la máquina.

No necesita agentes moderadores especiales; el agente enfriador será el sodio líquido y se utilizarán intercambiadores de calor. La potencia prevista es de 16 000 kW. de energía eléctrica y debe funcionar en 1958.

Como se observará, la experimentación, en escala ya propiamente industrial, que han de ofrecer los reactores descritos, ha de constituir un paso definitivo en el dominio de estos revolucionarios procedimientos nucleares.

cimiento y de explotación, el día 24 de mayo de 1954, en una reunión tenida en Washington, con la asistencia de unos 500 expertos, fueron hechos públicos unos datos del máximo interés, facilitados por altos directivos de la General Electric y de la Westinghouse.

El estudio se fundamentaba en dos centrales distintas, una de potencia de 300 000 kW. y otra, de tipo distinto, de 700 000 kW., comparándose a la vez las inversiones y costes de las unidades producidas con las de las centrales térmicas más modernas, admitido un rendimiento de 340 gramos de carbón de 7 000 calorías por kWh., y supuesto un precio para aquél de 400 pesetas tonelada.

He aquí los exponentes facilitados:

	POTENCIA 300 000 kW.		Pot. 700 000 kW otro tipo reactor
	Central nuclear	Térmica ordinaria	Central nuclear
Factor de utilización.....	0,8	0,8	0,85
Temperatura del vapor saturado F.	450	1 000	370
Presión libras pulgada ² ...	421	1 450	180
<i>Inversión por kW:</i>			
Edificaciones y equipos...	195 \$	140 \$	214 \$
Terrenos	2 \$	2 \$	1 \$
Proyectos y derechos.....	15 \$	11 \$	17 \$
Puesta en marcha	14 \$	7 \$	17 \$
Combustible inicial	17 \$		28 \$
<i>Total.....</i>	<i>243 \$</i>	<i>160 \$</i>	<i>277 \$</i>

De las cifras anteriores se deduce que una central nuclear sólo requiere una inversión de un 50 o un 70 % superior a la de una central térmica. Ahora bien, el importe de 243 \$, más o menos, representa la cifra de 10 000 pesetas el kW. instalado; pero la gran sorpresa está en que las centrales de este carácter, al tener que trabajar continuamente, tienen una utilización muy alta, con lo que la inversión representativa o necesaria para producir un kilowatio/hora, en verdad, además de sorprendente, es muy baja.

$$\text{Inversión por kWh. producible} = \frac{10\,000 \text{ ptas.}}{0,8 \times 8,760 \text{ horas}} = 1,43 \text{ ptas.}$$

es decir, incluso bastante más barata que la precisa en los saltos de agua, en los cuales, con un supuesto de 6 000 pesetas el kW. instalado y una utilización media de 3 600 horas, resulta ser de $\frac{6\,000}{3\,600} = 1,67$ pesetas, cuya energía, si bien puede ser de mejor

calidad, si es que se produce con embalses, en cambio cuenta con la desventaja de las disminuciones por los años secos y acentuadas variaciones interanuales.

Por lo que respecta a los costes de explotación, en el aludido estudio se admitían las siguientes cargas financieras para los capitales invertidos:

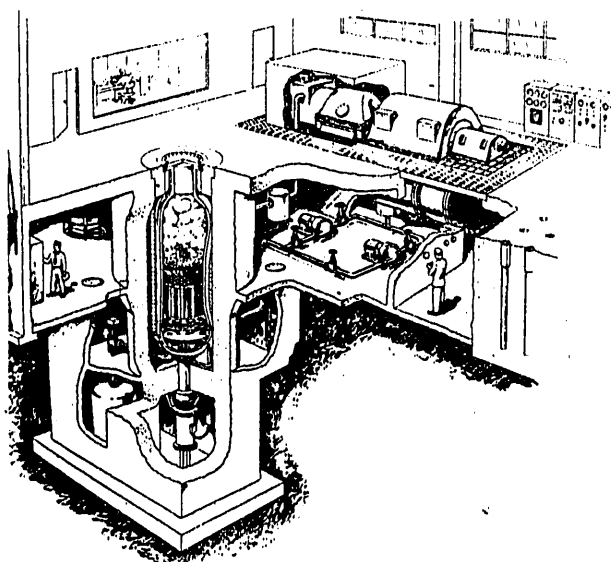
Remuneración al capital	5,7 %
Impuestos	5,7 %
Amortización en 25 años	1,8 %
Seguros	0,5 %

Total 13,70 %

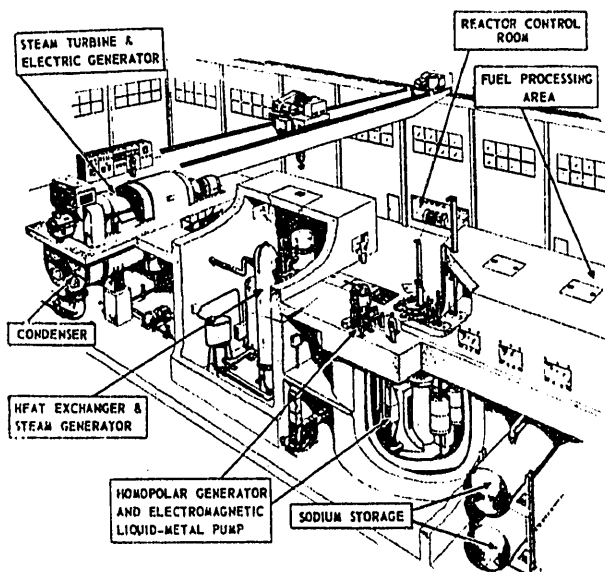
cuyo tipo se aplica a las inversiones principales: el 11,40 %, sobre los terrenos, y un 9,5 %, sobre el valor del combustible inicial, por admitir que el 60 % del mismo debe ser considerado como de primer establecimiento. Con estas premisas se llegaba a los siguientes resultados:

	POTENCIA 300 000 kW.		Pot. 700 000 kW. otro tipo reactor
	Central nuclear	Térmica ordinaria	Central nuclear
Coste del kWh. en milésimas de \$:			
Carga financiera	4,65	3,—	5,2
Maniobra	0,70	0,50	0,6
Combustible	1,35	3,40	1,—
Total	6,75	6,90	6,80

Es decir, que el coste del kWh., pese a que se ha efectuado la comparación con centrales térmicas de gran rendimiento (340 gr. de carbón de 7 000 calorías por kWh.), y pese a que todavía no se ha podido



Boceto de una central americana, tipo "termal" con generación directa de vapor, en experimentación.



Boceto de una central americana para la experimentación del interesantísimo reactor tipo "engendrador". (Breeder).

alcanzar la perfección lógica que ha de reportar una mayor experiencia en las centrales nucleares, resulta ya de un nivel igual o sensiblemente parecido al obtenible en las centrales térmicas más modernas y potentes.

En la traducción en pesetas de las cantidades anteriores, obsérvese que las cargas financieras, estimadas en su conjunto, no se hallan desproporcionadas con las españolas, y que el coste total resultante para el kWh. producido, gracias a la utilización anual alcanzable, es tan sólo de unos 27 céntimos, de los cuales corresponden a combustible y maniobra tan sólo de 6,4 a 8,00 céntimos (1).

(1) Las previsiones americanas transcritas concuerdan sensiblemente con las del Plan inglés de que se ha hablado en una llamada anterior, y, lo que es más de resaltar, la identidad es absoluta en lo que hace referencia al precio del kilowatio/hora a suministrar, el cual estima en 0,6 peniques, o sea, en 27,6 céntimos de peseta.

Por lo que se refiere al gasto o valor del "combustible" por kWh. en ese género de Centrales, pertenezcan a una o a otra nacionalidad, podemos exponer los siguientes cálculos: Datos: Coste del Kg. de Uranio metal..... 77 \$

Producción teórica de 1 Kg. de Uranio metal $22,8 \times 10^6$ kWh.

Aprovechamiento del Uranio metal:

a) En los reactores "termales" 1,00 %

b) En los reactores "engendradores". 50,00 %

Rendimiento del conjunto de la instalación. 0,25

Por tanto, coste del "combustible" por kWh. producible:

a) Con reactores "termales":

$$\frac{77}{22,8 \times 10^6 \times 0,01 \times 0,25} = 0,000135 \text{ \$} = 0,56 \text{ Cts. de Pta.}$$

b) Con reactores "engendradores":

$$\frac{77}{22,8 \times 10^6 \times 0,5 \times 0,25} = 0,0000269 \text{ \$} = 0,1 \text{ Cts. de Pta.}$$

Como se observará, el gasto de combustible resulta a medio céntimo por kWh., en el caso de las instalaciones industriales que se hallan ya en curso de ejecución, y resultará realmente despreciable en el caso de que se logre algún día emplear los otros tipos de reactores que se ensayan.

Reflexiones y conclusiones.

Los antecedentes expuestos, aunque se hallen sujetos a rectificación y a reserva de una mayor profundización de la materia, son lo suficientemente claros y expresivos para dar base a las siguientes conclusiones:

1.^a El aprovechamiento de la energía nuclear, para fines de la obtención industrial de energía eléctrica, ha dejado de ser teórica para convertirse en una realidad tangible y eficiente.

2.^a El uso de la energía nuclear ha de resolver problemas insolubles, como es el agotamiento de las posibilidades hidráulicas, al igual que la carencia de carbón o, lo que es más difícil, la falta de brazos para la extracción de los ingentes incrementos de combustible ordinario que se harían indispensables.

3.^a Si las instalaciones nucleares requieren fuertes inversiones, no son mayores que las precisas con los sistemas clásicos de producción eléctrica si, como es lógico, se tienen en cuenta las producciones obtenibles y las inversiones complementarias que se precisan efectuar en previsión de los años secos, así como para forzar la producción de las minas de carbón.

4.^a Las centrales nucleares pueden llegar a facilitar ingentes cantidades de energía eléctrica, prácticamente sin límite alguno.

5.^a La implantación de esta novedad no implica la anulación de los sistemas productivos actuales. Por el contrario, las centrales hidráulicas y las térmicas han de jugar su misión en el conjunto de la producción. El régimen de explotación que se prevé es el correspondiente a situar la energía nuclear en la base del diagrama de consumo anual—véase nuestra conferencia del 30 de abril de 1954—tan indefinidamente como resulte necesario; reservar a la producción hidráulica el relleno de las variaciones anuales y diarias de los diagramas de consumo; finalmente, las térmicas deben constituir una reserva para rellenar las variaciones hidráulicas interanuales, pero solamente en lo que corresponde a la parte señalada de color rosa en el diagrama aludido cuya copia se adjunta. Con ello se observa que todo se hace necesario, y además, son de prever unos resultados económicos muy favorables.

6.^a Al dotar a los países de energía abundante y barata, se han de revolucionar las economías nacionales y las condiciones individuales, creando una prosperidad y un contento general.

En estas condiciones surge impetuosa la conclusión de que nosotros, los españoles, debemos, por todos los medios, fomentar y activar la trasplanta-

ción práctica a nuestro país del apasionante aprovechamiento de la energía nuclear para usos industriales, tanto más cuanto que hoy las puertas de los Estados Unidos se hallan abiertas; el Presidente Eisenhower constantemente exhorta a los países amigos para que se asocien en el desarrollo de esa nueva y colosal fuente de riqueza, y no nos faltan los indicios para encontrar el Uranio en nuestra casa.

Después del entusiasmo que despiertan las nuevas posibilidades, ¿nos puede ser permitido soñar, por unos momentos, en lo que podría ser España si se lanzara vertiginosamente tras el objetivo de dotar al país de energía sin limitación de ninguna clase y lo más económicamente posible? En el supuesto afirmativo, ¿cabe pensar en la felicidad que se alcanzaría si se lograra que en los servicios domésticos, por modestos que fueran, se utilizara la energía eléctrica sin preocupaciones especiales, y cómo se podrían desarrollar en los propios domicilios innumerables labores de artesanía? ¿Cómo no surgirían y se desarrollarían industrias de todas clases y cómo no se irrigarían los campos estériles con la elevación de las aguas abundantes que se escapan al mar?

¡PAZ POLÍTICA Y DERROCHE DE ENERGÍA es lo que importa; lo demás, todo vendría por añadidura!

Un programa prudente para la aplicación práctica de las nuevas doctrinas en nuestra nación, podría ser el siguiente:

Etapas preparatorias.—A desarrollar en un plazo de unos tres años, coincidente con el tiempo de experimentación de las instalaciones industriales, así como los de ensayo, de las naciones adelantadas.

a) Por todos los medios, fomentar la prospección y explotación de los yacimientos uraníferos de la nación.

b) Adiestramiento de personal técnico en la nueva técnica de aprovechamiento de la energía nuclear para fines industriales.

c) Proyecto y ejecución de una planta para el aprovechamiento de los minerales y obtención del Uranio metal.

d) Huyendo de las improvisaciones en materia de reactores y sus complementos, en este caso casi imposibles de superar, contacto y negociación de acuerdos con las casas especializadas extranjeras en la nueva técnica, para su implantación en España, a ser posible con las ventajas que habría de reportar la exportación del nuevo combustible si se lograra éxito en la consecución de los objetivos a) y c) de este programa.

Segunda etapa. — Solapando con el fin de las centrales hidráulicas y térmicas que se hallan en ejecución y previstas para entrar en servicio antes de 1958 — para después no hay nada iniciado —, erección de las primeras centrales nucleares a un ritmo tal que nos permitiera alcanzar unos incrementos anuales de producción eléctrica del orden de los dos mil millones de kWh.

Comprendemos la magnitud del esfuerzo, como también comprendemos que, a buena ley, habría que tratar de obtener un rendimiento directo a los capitales que se emplearan. Pero, teniendo en cuenta la casi inconcebible importancia de los resultados políticos y económicos que se lograrían, al igual que las extraordinarias recaudaciones que se producirían en los impuestos por las mayores riquezas desarrolladas, ¿es que sería un disparate que el Estado, al igual que construye unas carreteras, unos ferrocarriles, unos puertos, unos embalses, o absorbe unos déficits importantes producidos en otros asuntos, aparentemente a fondo perdido, considerara la posibilidad de emprender decididamente la realización del propósito que se apunta, a base de acudir a una ayuda

exterior e, incluso, si menester fuera, a una inflación que, en ese caso, sólo sería ficticia en razón a la compensación de la riqueza creada? ¿Es que, por iguales razones a las anteriores, resultaría insensato pensar en la desgravación de los impuestos directos e, incluso, de parte o de la totalidad de la renta de los capitales empleados en la explotación de esas nuevas fuentes de energía para dar lugar a unos precios sumamente estimulantes, suficientes empero para cubrir los gastos de entretenimiento, maniobra, combustible y reposición?

No nos atreveríamos a contestar rápida y afirmativamente a las preguntas anteriores; pero de lo que sí estamos seguros es que meditaríamos mucho antes de optar por la negativa.

Perdónesenos el desahogo a que nos ha llevado el apasionamiento que despierta la revolución del aprovechamiento de la energía nuclear, estimada en relación con nuestros anhelos patrióticos; olvídesc lo que hayamos puesto de fantasía en esta última parte, y quede en pie el extraordinario interés de la cuestión examinada.