

ENERGIA NUCLEAR

Por RAFAEL CUELLO H.

La física nuclear tiene aún mucho por investigar acerca de la energía interna erogada de los núcleos, las fuerzas internas que los nucleones resienten para formar el núcleo, y la formación de los diversos isótopos * artificiales que pueden ser originados por vía experimental en las salas de los laboratorios encargados de investigar sobre la energía atómica. Sin embargo, grandes investigaciones están en curso y ya muchas otras se han hecho por el aprovechamiento de esta colosal fuente de energía que proviene de los núcleos.

Tal vez a los aficionados en materia de física nuclear les interese conocer ordenadamente la sucesión de hechos que han llevado a la humanidad a la creación de los reactores nucleares, el submarino atómico, los trasatlánticos atómicos y las bombas nucleares de todo tipo y potencia. Tal es el objeto de este trabajo.

Es realmente difícil y molesto tener que tratar aspectos tan vastos y recónditos en forma simple y poco idónea a la naturaleza de estos temas, pero no me queda otro camino que aceptar

La palabra isótopos quiere representar los átomos que tienen igual número de protones aunque diferente número de neutrones. En la naturaleza por ejemplo, se conocen tres isótopos del hidrógeno: El hidrógeno puro (H_1^1), que tiene un solo protón; el deutón (H_1^2), que tiene un protón y un neutrón; y el tritio (H_1^3), que tiene 1 protón y 2 neutrones en su núcleo.

humildemente, el papel de divulgador de tan imponentes mensajes. Me resulta difícil sentirme, hoy en día, condicionado a aceptar el papel de divulgador científico.

Esto, si continúa, nos hace correr el riesgo de caer en la superficialidad de los conceptos, y, lo que es peor, a veces nos obliga a pensar que lo que estamos diciendo son verdades eternas y no relativas. Les pido a ustedes, señores lectores, que si alguna sugerencia hay que hacer sobre mis artículos, lo hagan en la forma más llana y sincera posible; sólo de esta manera podré pensar que nos estamos superando juntos igualmente.

El artículo comprende los siguientes tópicos:

- 1) Antecedentes históricos de la energía nuclear;
- 2) Reacciones químicas y reacciones nucleares;
- 3) Utilización de la energía nuclear para fines pacíficos;
- 4) Reactores nucleares;
- 5) La bomba atómica;
- 6) Comparación con otras fuentes de producción energética.

Antecedentes históricos de la energía nuclear. Su descubrimiento.

En el año 1896, el profesor Henri Becquerel descubre las primeras manifestaciones nucleares producidas por sustancias que, como el uranio, emitían partículas de sus núcleos. Ciertos productos (sales de uranio) químicos en su laboratorio de investigación, que brillaban cuando la luz los iluminaba, le dieron a Becquerel la idea de que algo extraño sucedía en el interior de aquellas sustancias. (Hoy podemos darnos cuenta de análogos efectos, con las señales fluorescentes que se encuentran en las carreteras, las cuales se vuelven brillosas cuando la luz las ilumina, o también con las manecillas de los comunes relojes de pulsera, que cuando oscurece se iluminan para permitirnos leer la hora cómodamente en cualquier momento de la noche o en la obscuridad más absoluta).

De acuerdo con la figura uno, si enviamos los rayos emitidos del uranio hacia la influencia de un campo eléctrico, los rayos se separan. Los rayos consisten en partículas α de carga positiva; los β son electrones rápidos; y los rayos γ son como rayos X extremadamente duros y sin carga.

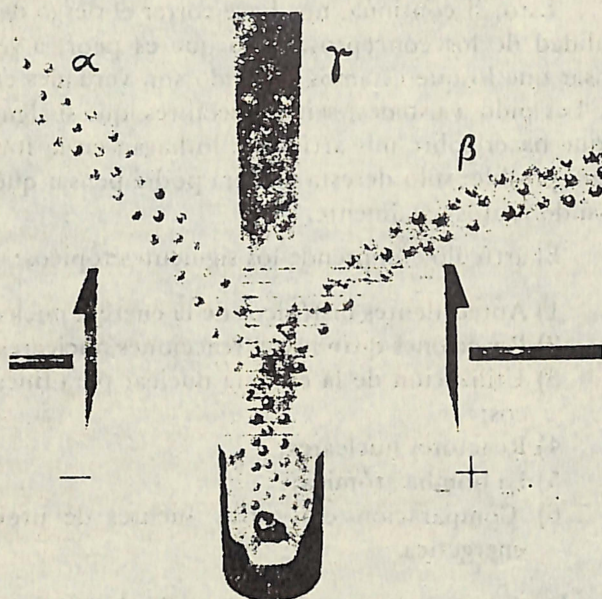


Fig. 1

Pierre y Marie Curie, físicos investigadores, amigos de Becquerel, interesados por los descubrimientos de su amigo, siguieron estudiando algunos minerales de uranio. De estas investigaciones surgieron a la luz dos elementos nuevos, desconocidos hasta entonces: el polonio y el radio.

Como el material que más emitía energía bajo forma de partículas α , β y γ (ver figura 1) era el radio, decidieron llamar radioactividad al fenómeno en estudio.

Los cuerpos radioactivos primarios que se encuentran en la naturaleza, no siendo producto de ningún otro elemento conocido, consisten en: uranio, torio y actinio.

Los elementos radioactivos se investigó en el curso de esos años, eran altamente exotérmicos, y tenían una temperatura

superior siempre a la del medio ambiente. La explicación que se le ha dado a este fenómeno es la siguiente: "gran parte de la energía emitida en las desintegraciones nucleares espontáneas, que se verifican en el interior del cuerpo radioactivo, quedan retenidas en las porciones superficiales, y su energía cinética de movimiento se transforma en calor".

Finalmente, no fue hasta 1939 cuando los científicos del mundo comprendieron la colosal cantidad de energía contenida en los núcleos de los átomos.

Los científicos Hahn Strassman (1939), de Berlín, y varios años antes Enrico Fermi (1935) en Italia, se dieron cuenta de que bombardeando el átomo de Uranio 235 con neutrones de baja energía, este se desintegraba, con la consecuente producción de una gran cantidad de energía.

A este último científico, Fermi, ya en 1934 se le había ocurrido que se podían producir ciertos isótopos artificiales con la desintegración de diversas sustancias que, como el uranio (o las sales de Uranio), eran inestables en su composición nuclear. Por estas investigaciones E. Fermi, creador del Instituto de Física de Roma que hoy lleva su nombre, recibió el Premio Nóbel de 1938.

De estas investigaciones surgieron maravillosas conclusiones aplicables a los diversos campos de la Física. Ya la radioactividad natural descubierta por Becquerel y los esposos Curie había demostrado que los elementos pesados del sistema periódico eran en cierto modo inestables, y la razón física de tal inestabilidad la atribuyen los científicos a la repulsión electrostática entre los protones del núcleo. Tales repulsiones son aproximadamente proporcionales al cuadrado de la carga nuclear y, por lo tanto, aumentan considerablemente con el aumento del número atómico.

Esto de la inestabilidad, lo sabían ya Fermi, Hahn y Strassman y por esto dedicaron todos sus esfuerzos en penetrar en la corteza nuclear a través de la desintegración artificial de los núcleos pesados.

Con los experimentos en curso se vino a demostrar que bastaría una pequeña energía para que estos núcleos pesados (U^{235} ; Pu^{239}) se desintegraran. Esta división sistemática de los núcleos de uranio dió lugar al nombre que hoy usualmente oímos como fisión nuclear o proceso de fisión nuclear.

Niels Bohr vino a explicar esta desintegración con el modelo natural de una gota de agua que, por medio de intensas vibraciones, se alargaba hasta deshacerse en otras muchas pequeñas gotas.

En el caso del Uranio, sin embargo, una vez que se rompe su estructura en dos pedazos (como por lo general sucede), después de que el núcleo absorbe un neutrón de poca energía, se produce una reacción cinética superlativa debido a la fuerte repulsión electrostática que resienten los fragmentos.

Ya Fermi, habiendo estudiado a fondo la reacción de desintegración del U^{235} y de los núcleos radioactivos, y habiéndose dado cuenta que, además de los fragmentos y de la gran cantidad de energía producida en la desintegración del U^{235} , se emitían siempre dos o tres neutrones por núcleo desintegrado, afirmaba que este tipo de desintegración se prestaba para producir reacciones nucleares en gran escala.

Durante los años de la Segunda Guerra Mundial todos los esfuerzos científicos se concentraron para producir bombas atómicas para la *defensa* de los intereses de unos u otros países en guerra.

Hoy en día en diversos países se usan las investigaciones nucleares para fines pacíficos. Se fabrican isótopos radioactivos cuyas aplicaciones (agricultura, medicina, biología, física, química, etc.) son numerosas e interesantes. Se encuentran funcionando hoy en día en los países más desarrollados del mundo centrales termonucleares de diversas potencias, encargadas de poner a trabajar centrales eléctricas, fábricas e industrias de todo tipo.

La continúa competencia por las nuevas armas atómicas ha llevado a los científicos, debido a los siempre eternos y funestos juegos de política de potencia de los grandes países, a fabricar armas de sorprendente potencia para riesgo de la humanidad entera. Se han estudiado y fabricado bombas de diversos tipos: (termonucleares, de cobalto, de hidrógeno, etc.). La bomba más sorprendente encontrada es la llamada bomba de hidrógeno o "bomba H", basada en un principio diametralmente opuesto al de la bomba atómica o termonuclear de uranio o plutonio.

Este tipo de bomba, "La H", funciona con la fusión de los núcleos de elementos ligeros que, al combinarse bajo temperaturas altísimas, (millones de grados) dan lugar a un núcleo más pesado

(HeLi⁰), con desprendimiento de colosales cantidades de energía, mucho mayores que las que se desprenden de las bombas a fisión o atómicas.

Estas bombas, aunque producen más daños locales, dejan la atmósfera menos cargada de material radioactivo o sustancias nocivas o tóxicas al organismo que las bombas atómicas (tristemente experimentadas en Hiroshima y Nagasaki).

El proceso termonuclear erogado de las bombas H se supone que sea el mismo que tiene lugar en el sol. Existe en el proceso este equivalente energético: "por cada Kg. de hidrógeno fusionado se produce una cantidad equivalente de energía de 160,000 toneladas de trinitrotolueno (0,16 Megatonnes) en explosión".

Reacciones Químicas y Nucleares.

Muchas reacciones químicas, como ya bien conocen los químicos, son exotérmicas (desprenden calor al realizarse). Así también sucede con muchas reacciones nucleares.

Ej.: (1) $n + U^{235} \rightarrow p.f. + \text{neutrones} + 200 \text{ Mev. (energía)}$.

(2) $H_1^1 + N_7^{15} \rightarrow C_6^{12} + He_2^4 + 4,35 \text{ Mev.}$

En el primer caso un núcleo de U^{235} desintegrado por un neutrón de baja energía eroga productos de fisión (p.f.) 2 ó 3 neutrones y 200 Mev. de energía. (Energía considerablemente alta.). En la segunda reacción, un núcleo de nitrógeno viene desintegrado por un núcleo de hidrógeno, lo que da como resultado un núcleo de Helio⁴ de carbono y energía.

Ambas reacciones son exotérmicas. Se puede también apreciar que, si en las reacciones químicas se liberan por lo general cantidades de energías equivalentes a $100 \text{ K} \frac{\text{cal.}}{\text{gr.}}$, en las reacciones nucleares se liberan cerca de $2,5 \times 10^7 \text{ K} \frac{\text{cal.}}{\text{gr.}}$

Esto nos deja ver que las reacciones nucleares producen, en paridad de peso de combustible, un millón de veces más energía que las reacciones químicas comunes.

Esta enorme cantidad de energía que se almacena en los núcleos de los átomos se debe a que las fuerzas nucleares (fuerzas

que tienen unidos los nucleones en los núcleos) son incomparablemente superiores a las fuerzas de orden electrostático que tienen unidos los electrones al núcleo del átomo.

“Toda contiene también su propia lógica:

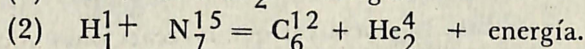
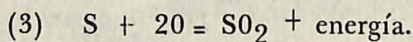
Toda la potencia erogada de los combustibles de la explosión corriente y otros procedimientos químicos (incluida la potencia muscular del hombre), utiliza sólo la energía liberada cuando los átomos intercambian o comparten entre sí los electrones que pertenecen a los orbitales exteriores de los átomos.

“Sóloamente los electrones de los orbitales externos intervienen en las reacciones químicas. Aun cuando se intercambian electrones de las órbitas internas (casos muy raros sin la intervención de energía externa sobre los átomos que reaccionan), el núcleo atómico sigue invariado. No reacciona para formar los compuestos químicos. Reaccionan sólo sus electrones.

“Sin embargo, las reacciones de carácter nuclear representan destrucción de los núcleos y consecuentemente de los átomos que intervienen.

Como las fuerzas internucleares son tan intensas (cerca $10^5 - 10^6$ veces más potentes que las fuerzas electromagnéticas que mantienen la constitución de la estructura atómica), hay gran desprendimiento de energía en las reacciones nucleares. Así se explica que la liberación de energía sea de un millón a cien millones de veces más potentes en las reacciones nucleares que en las reacciones químicas corrientes.”

A nivel de representación, los símbolos que se usan para unas y otras reacciones son análogos. En el caso de las reacciones químicas se usan símbolos de elementos o compuestos, mientras que para las reacciones nucleares se usan símbolos de núcleos o partículas subatómicas (o elementares) (Ej.: Electrón, Protón, Mesón, etc.). Comparemos las dos siguientes reacciones:



La primera indica que un átomo de azufre se une con dos átomos de oxígeno para formar la molécula de dióxido de azufre. Los números nos indican qué cantidad de átomos de una sustancia están en la reacción.

La segunda nos muestra que un núcleo de nitrógeno (N_7^{15}) nos produce, al ser bombardeado por un núcleo de hidrógeno (H_1^1) de una determinada energía, un núcleo de carbono natural (C_6^{12}), y un núcleo de elio (He_2^4), más una determinada cantidad de energía. El subíndice nos indica el número de protones del núcleo y el índice de arriba nos indica el número de protones + neutrones del núcleo; por ej.: el caso de He_2^4 nos indica que el elio está formado por 2 protones y por 4 nucleones (2 protones + 2 neutrones).

Como el átomo en su totalidad es neutro, el subíndice señala también el número de electrones y por tanto expresa tanto su colocamiento en la tabla periódica como sus características químicas para establecer relaciones con otros elementos de la tabla.

Utilización de la energía nuclear para fines pacíficos.

Por lo que llevamos dicho es posible afirmar que la materia se podría considerar como una fuente de energía: "Un corpúsculo material es capaz de liberar una energía proporcional a su masa".

De esta manera empieza a preverse una posible producción de energía por desaparición de la materia. Según Einstein: "un corpúsculo de masa M , libera en su destrucción completa una energía E igual a MC^2 , siendo C^2 el cuadrado de la velocidad de la luz, $C = 3 \times 10^8$ m/sec."

Por esta vía llegamos a que la conclusión de los químicos del 1600, de que "nada se crea, nada se destruye, todo se transforma", no nos proporcionaba una completa información sobre fenómenos atómicos. Posteriormente se llegó a saber que, en lo que se refiere a partículas elementares y a toda forma de energía existente, es la materia más la energía lo que se conserva. Esto significa que lo que desaparece como materia reaparece como energía, y viceversa. En resumen, "la suma total de materia más energía es constante."

De acuerdo con todo esto, los científicos han creado nuevas formas de materia partiendo de las ya conocidas y transformándolas en otras diversas.

Hoy, debido al avance científico y tecnológico, podemos aprovechar la energía nuclear en diversos campos de las ciencias y de la técnica, como:

Medicina terapéutica: existen hoy en día, ciertos laboratorios encargados de producir radioisótopos para curar ciertos tipos de tumores y zonas patógenas en el organismo.

En el campo de la medicina general, la física nuclear puede servir para diagnosticar la cura de determinadas enfermedades infecciosas.

Agricultura: en este campo, la utilidad es bastante notable. Basta pensar que ciertos radioisótopos pueden conservar por tiempo, muchas veces indefinido, los alimentos (cereales, frutas, hortalizas, etc.) que produce la tierra y que a causa de una elevada producción se pudren en los almacenes.

Navegación: están en uso hoy en día submarinos y barcos que trabajan con combustibles atómicos. Han demostrado ser los más seguros y eficientes elementos de transporte hasta hoy existentes. Cubren, a velocidades vertiginosas comparadas con las que suelen mantener los barcos corrientes, distancias grandes y con poquísimos combustible.

Según las estadísticas tenemos:

TABLA 1

Tipo de artefacto	Distancia por recorrer	Peso del Motor (o/o del peso total)	Carga útil (o/o del peso)	combustible (o/o del peso)
Barco normal (motor combustible fósil)	10,000 Km. (España-Sto.Dgo.)	10	60	30
Submarino Atómico (Motor a combustible nuclear)	500,000 Km. 50 veces la dist. (Es.—Sto. Dgo.)	5	90	0,0001

Otras aplicaciones de la energía nuclear la podemos comprobar en las minas, en los yacimientos de petróleo, en los de gas natural combustible, en la búsqueda de corrientes subterráneas de agua, lo que permitiría transformar los desiertos en productivos campos de cultivo.

En la aeronáutica espacial también está presente la energía nuclear, así como en las soluciones para abrir grandes pozos o canales subterráneos con economía de esfuerzos y de dinero.

Por último, la energía nuclear se ha hecho presente en una de las ramas más necesarias para el desarrollo de nuestro país: la electrónica. Ella, por medio de ciertos tipos de reactores nucleares que veremos más adelante, sería capaz por sí sola de solucionarnos el problema de la electrificación total de la isla.

Reactores nucleares.

Los físicos han podido demostrar en sus investigaciones atómicas que la energía depositada en los núcleos atómicos puede ser aprovechada y controlada, contrariamente al que suponía Ernest Rutherford (padre de la física atómica) en 1937.

a) Reacción en cadena en la desintegración de un mol de metal de Uranio (U^{235}).

Supongamos que tenemos a disposición un núcleo de U^{235} y un neutrón de poca energía (0,025 ev, energía equivalente a la de un ambiente a temperatura de 20°C). Si bombardeamos nuestro núcleo a disposición con el neutrón, es muy probable que este se desintegre emitiendo dos productos de fisión, tres o dos neutrones más, y una considerable cantidad de energía (cerca 200 Mev. = $8,900 \times 10^{-18}$ KWH. por núcleo desintegrado).

Si en vez de un solo átomo tenemos un gramo del elemento U^{235} , en vez de $8,9 \times 10^{-18}$ KWH obtendremos $2,24 \times 10^4$ KWH.

¿Por qué se desprende tanta energía en una reacción nuclear que se verifique en 1 gr. de sustancia fisionable? Pues porque cada vez que un neutrón choca contra un átomo de U^{235} al interno del gramo considerado, este lo fisiona y de los productos de fisión salen tres nuevos neutrones. Estos tres nuevos neutrones van a fisionar otros 3 átomos de U^{235} . Estos tres átomos producirán c/u tres nuevos neutrones y ya en el sistema se encontrarán en función 9 neutrones que chocarán contra los restantes átomos y así sucesivamente, (ver fig. 2).

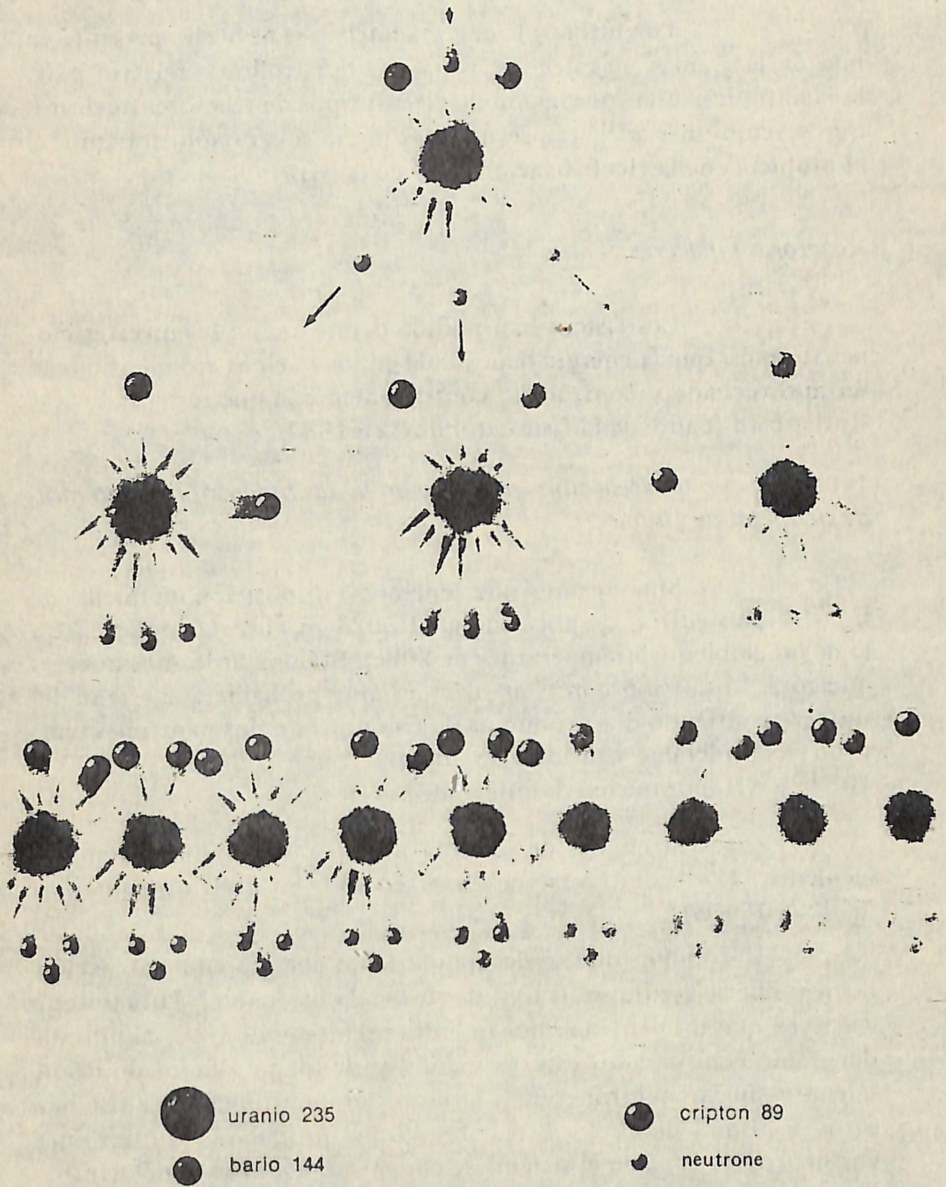


Figura 2

Fig. 2: El isótopo de uranio U^{235} al estado puro puede desencadenar, en cantidad superior a la masa crítica, una avalancha de reacciones nucleares. De esta carrera pueden existir reacciones explosivas y controladas. La reacción, como en la figura 2, tiene carácter explosivo cuando cada neutrón expulsado de los átomos desintegrados provoca más de una fisión.

Así se verificará una reacción que parte de $3^0 = 1$ neutrón, después se hace $3^1 = 3$ neutrones; $3^2 = 9$ neutrones; $3^3 = 27$, y así sucesivamente, hasta llegar a 3^n cuando sea n el número de neutrones en función.

Si tenemos en cuenta que cada átomo fisionado produce $8,9 \times 10^{-18}$ KWH. de energía y que 1 gr. de U^{235} posee 3×10^{21} átomos, entonces la energía total liberada será la suma de las energías de los singulares átomos: En total = $8,9 \times 10^{-18} \times 3 \times 10^{21} \frac{\text{KWH}}{\text{gr.}} = 2,24 \times 10^4 \frac{\text{KWH}}{\text{gr.}}$

Lo que asombra es que una reacción de este tipo se verifica en un tiempo limitado (del orden del milisegundo). Si no fuera por los dispositivos automáticos de control, que trabajan con una prontitud mayor que la de la reacción misma, todas las centrales nucleares causarían daños desastrosos en las poblaciones donde trabajan.

b) Física de Los Reactores:

La fisión en cadena, en forma no explosiva pero gradual, viene realizada en máquinas que originalmente tomaron el nombre de pilas atómicas y que hoy preferimos llamar "reactores atómicos".

Un reactor nuclear no solamente tiene como uso o aplicación práctica el de producir energía eléctrica en vasta escala, sino que también tiene otros varios usos y acepciones. Al ser la más intensa la fuente de neutrones y de energía que se conoce, nos permite llevar a cabo gran cantidad de experimentos que eran prácticamente imposibles con las fuentes de neutrones y de energía antes conocida.

Un reactor, por otra parte, produce gran cantidad de isótopos (muchos de ellos radioactivos y no existentes en la naturaleza), sea como producto directo o indirecto de la fisión, sea por efecto de reacciones nucleares producidas por los neutrones en el



Instrumentos de control de un reactor nuclear Ispra I.

Corte esquemático de una central termo-nuclear. 1. Núcleo del reactor.—2. Blindaje metálico.—3. Blindaje de hormigón.—4. Manipulador de las varillas de control.—5. Grúa.—6. Salida del líquido cambiador caliente.—7. Entrada del líquido cambiador frío.—8. Aparato de intercambio térmico.—9. Salida de vapor hacia la turbina.—10. Entrada de vapor a la turbina.—11. Sector de alta presión.—12. Sector de presión media.—13. Sector de baja presión.—14. Vapor de escape.—15. Generador eléctrico.

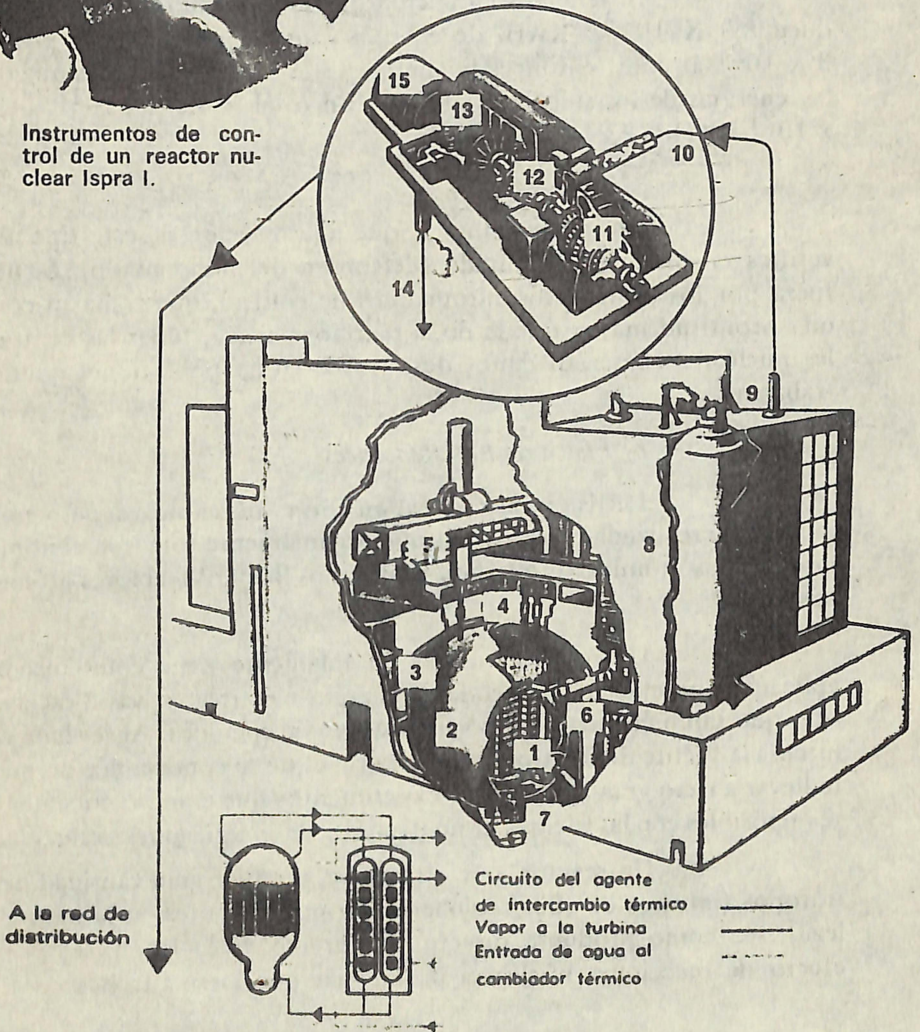


Fig. 3

interior del reactor sobre la sustancia introducida en el corazón del mismo.

Muchos de estos isótopos y nuevos núcleos producidos tienen diversos usos, como ya vimos, y pueden hasta alimentar de nuevo el reactor, formando a la vez núcleos de $P_{u} 239$ (Plutonio). Este elemento también sirve como combustible para el reactor nuclear.

Figura 3

Diversos tipos de reactores nucleares:

1) Reactores para la investigación:

Son usados para llevar a cabo experiencias sobre neutrones, para producir radioisótopos y para probar materiales expuestos al flujo neutrónico.

2) Reactores de producción:

Son aquellos que sirven para producir con vasta escala el Plutonio ($P_{u} 239$). Son reactores de gran potencia y, dado que tienen gran interés militar, sobre ellos no han sido publicados muchos datos. La potencia que puede llegar a tener uno de estos reactores es de miles de KWatt.

3) Reactores de potencia:

Son construídos para producir energía y siempre de potencia notable.

La aplicación de estos reactores es simple, o, mejor dicho, el principio de funcionamiento es elemental:

“El reactor calienta el líquido de su propia refrigeración, el cual pasa a unos tubos llamados cambiadores de calor, bañados en agua que se recalienta y evapora, volviendo luego el refrigerante a la pila. El vapor producido en los cambiadores de calor pasa a través de turbinas adecuadas, moviéndolas y originando el giro de un motor de cualquier especie (generador, motor marítimo, etc.)”

La bomba atómica:

El aparato en cuestión (fig. 4), utilizado en Hiroshima y Nagasaki en 1945, consta de dos semiesferas de materia fisionable que fueron en la bomba de Hiroshima, U^{235} , y en la de Nagasaki

P_u239. En ambos casos la semiesferas iban recubiertas de un material reflector de neutrones, como el berilio, y cada una de ellas pesaba menos que la masa crítica, aunque su suma la superaba. La explosión de un material explosivo convencional rompía los débiles soportes de una de las semiesferas, proyectándola e incrustándola contra la otra, con lo que se rebasaba la masa crítica y se producía la explosión nuclear.

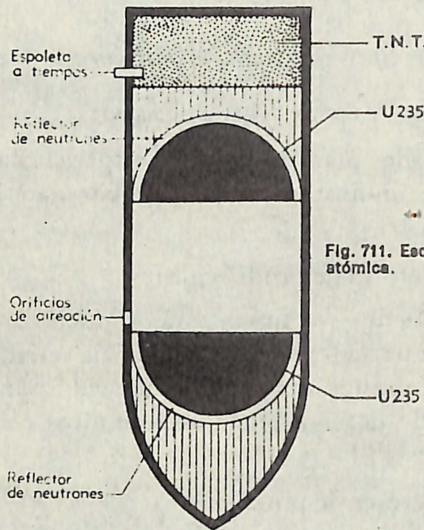


Fig. 711. Esquema de una bomba atómica.

616

Figura 4

Comparación de la energía nuclear con otras fuentes de producción energética.

La producción de energía eléctrica se encuentra, por rendimiento, catalogada en los siguientes modos:

- 1 Kg. del mejor carbón (antracita) = 10^{-2} KWH.
- 1 Metro cúbico de gas del alumbrado = 10^{-2} KWH.
- 1 Metro cúbico de gas natural = 3×10^{-2} KWH.
- 1 Kg. de petróleo = 3×10^{-2} KWH.
- 1 Kg. de U²³⁵ ó P_u239 = $2,24 \times 10^7$ KWH.

De estas últimas equivalencias energéticas podemos deducir que, para igual cantidad de combustible, la energía atómica produce 100 millones de veces más ventajas de tipo energético que las que nos ofrecían los materiales fósiles en el pasado o el gas del alumbrado o natural. El costo de la energía para los diversos tipos de materiales es como sigue:

Desintegración radioactiva espontánea (radio, cobalto, mercurio, etc.)	2 dólares/KWH
Energía muscular de los animales y del hombre	10 cent./KWH
Energía química (petróleo y carbón) y Energía hidroeléctrica	2 cent./KWH
Energía termonuclear	0,1 cent./KWH

Vemos, con esta nueva tabla, que la energía nuclear es la que más nos beneficia por su altísima capacidad de rendimiento energético y menor costo respecto a las otras fuentes de energía usadas hasta hoy en día.

Si ahora quisiéramos montar una planta eléctrica generadora de 50 millones de KWH, y comparásemos los diversos costos de combustibles estipulados:

600,000 dólares para combustible	=	26,000 Ton. de carbón
250,000 dólares para combustible	=	10,000 Ton. de petróleo
50,000 dólares para combustible	=	25 Kg. de Uranio ó 25 Kg. de Plutonio.

Nos daríamos cuenta también que el combustible nuclear es más barato para una planta tan potente de energía y que nos duraría más tiempo de trabajo. En uso duraría un período de no menos de 3 años, mientras para los demás combustibles necesitaríamos usar nuevo combustible en menos de un año.

BIBLIOGRAFIA USADA:

- 1.— Luis Postigo: "El mundo de la energía".
- 2.— F. Sintés Olives: *Física General Aplicada*".
- 3.— G. Bernardini: *Física General I*.
- 4.— E. Amaldi: *Física General II*.
- 5.— K. Gladkov: *La energía del Atomo*.
- 6.— Heisenberg, Schrodinger, Born y Auger; "Discusión sobre Física moderna".
- 7.— República Dominicana en Cifras (de 1970).
- 8.— Halliday-Resnick: "Física II".
- 9.— W. R. Fuchs: "Física Moderna Ilustrada".
- 10.— Enrico Persico: "Los átomos y sus energías".
- 11.— A. S. Davydov: "Teoría del Núcleo Atómico".
- 12.— Ugo Farinelli: "Física Nuclear Aplicada" y Lecciones sostenidas de Física Nuclear en el año 1970 en la Universidad de Roma.