

Puesto de control del laboratorio de energía atómica de Harwell (Inglaterra). El moderador de grafito pesa varios cientos de toneladas. Se calcula obtener 6.000 Kw.

Hacia la bomba atómica

Por el Coronel RICARDO MUNAIZ DE BREA

V

La fabricación del explosivo atómico.

Desde un principio se sabía que según fuesen la primera materia, el elemento moderador y el refrigerador empleados, podría plantearse la fabricación del explosivo nuclear en fábricas o "plantas" de uno de los tipos siguientes:

- 1.º a) Uranio metálico con grafito, refrigerado por helio.
- b) Idem íd. íd., refrigeración por agua.
- c) Idem íd. íd., refrigeración por bismuto fundido.
- 2.º Uranio metálico, con agua pesada como moderador.
- 3.º Uranio rico en U_{235} , con agua ordinaria, pesada, o grafito, como moderador.

En Estados Unidos fueron descartados, por de pronto, los tipos 2.º y 3.º, a causa de la escasez de uranio rico y de agua pesada. El tipo 1.º c)—muy seductor, por el posible aprovechamiento de la energía térmica liberada—fue desechado por ciertos problemas técnicos que serían largos de resolver. Quedaban, pues, como posibles los procedimientos tipos 1.º a) y 1.º b). De los dos se ocuparon los primeros establecimientos creados al efecto, a saber: Argonne, Clinton y Hanford.

Fábrica de Argonne.—A principios de 1942 se había ensayado una "pila" experimental de uranio, sepultada en terrenos de la Universidad (West Stand). Temiendo algún riesgo por su proximidad a la población, fué desmontada y trasladada al Laboratorio de Argonne, creado

cerca de Chicago a principios del 43, pero también demasiado cerca de la población, para actuar—como se pensara—de fábrica-piloto. La pila allí instalada formaba un cubo de uranio y grafito, y, dada su escasa potencia (algunos kilovatios solamente), pudo funcionar sin refrigeración.

Aquella pila tuvo luego forma de esferoide, formado con briquetas de grafito, apiladas, y en cuyos ángulos alternos se alojaban bloques de uranio. Dejéronse numerosas rendijas y lumbreras para la introducción de pletinas de acero al boro y de cadmio, como interceptores de neutrones. Dejáronse, además, numerosos registros para introducir instrumentos de medida testigos y varillas para el mando a distancia de los bloques, ya que la enorme radioactividad desarrollada hacía imposible a las personas aproximarse a la pila.

Aunque se había calculado cuidadosamente la masa crítica, mucho antes de alcanzarla, cuando la pila solamente tenía seis toneladas de metal, advirtiéndose que las reacciones se iniciaban. Con mucha prudencia se iban retirando las tiras de cadmio y tomando constantes medidas de la actividad neutrónica y de la temperatura. Así, a pesar del error de cálculo inicial, pudo evitarse una catástrofe.

Durante dos años sirvió esta pila para tomar medidas de la absorción neutrónica por todos los elementos usados en las pilas: ganga mineral, moderador, refrigerador y sus canalizaciones, cables, varillas de mando, etc. En la parte superior tenía una lumbrera por donde podía salir un haz de neutrones lentos, que se aprovechaba para experimentar pilas exponenciales, para la cámara de Wilson, para mediciones directas, etc. Además, interponiendo suficiente grafito, obtuviéronse neutrones "fríos" de muy escasa energía.

En Argonne se ensayó también otra pila de uranio (2.º tipo) con agua pesada como moderador. Finalmente, se han efectuado allí múltiples determinaciones neutrónicas con el U, el Np y el Pu.

La energía de la pila de Argonne se mantuvo en el tope experimental de 200 w.; pero se había calculado que para obtener un kilogramo de plutonio habría que consumir de 500.000 a 1.500.000 Kws.

Clinton.—Entonces (fines de 1943) se montó en Clinton otra instalación, proyectada como fábrica-piloto para la obtención del uranio explo-

sivo, a base de unas dimensiones intermedias en el establecimiento.

De allí salieron muy pequeñas muestras de plutonio para las primeras determinaciones de laboratorio, hasta que se logró algunos gramos. Funciona esta fábrica con refrigeración por aire, y su potencia se sitúa hacia los 1.000 Kws. Poco después, iniciados ya nuevos trabajos en Hanford, Clinton quedó como piloto para efectuar la separación química de elementos, y se dedicó esencialmente a obtener plutonio en cantidad, es decir, en forma industrial, y a poner a punto métodos aceptables de fabricación en gran escala. Esta fábrica, en realidad, consta de varios establecimientos y subterráneos, repartidos por el centro de una zona de 240 kilómetros cuadrados, por la cual está prohibido circular. Se halla en las inmediaciones de Clinton (Tennessee), y se invirtieron, por de pronto, 500 millones de dólares. Pero en 4 de noviembre de 1943 producía una energía de 500 Kws.

La pila de Clinton consiste en un enorme cubo de grafito muy puro, atravesado por numerosos conductos cilíndricos horizontales, en los que se introducen barras de uranio, envueltas en finas chapas de aluminio, para aislarlos del contacto del aire y evitar la oxidación. Cada uno de estos cilindros puede, naturalmente, ser introducido o retirado de la pila sin interrumpir la marcha de ésta. Además, otras ranuras dan paso a las tiras separadoras de cadmio.

El manejo es muy sencillo. Los operadores situados a varios metros de distancia y provistos de periscopios, apenas tienen más que observar por éstos y leer las indicaciones de los diferentes instrumentos, protegidos—hombres y aparatos—por gruesas pantallas de cemento. En la figura 12 trazamos una posible interpretación de esta pila.

A los pocos días de funcionamiento, con un factor de multiplicación $k = 1$, la pila desarrollaba 800 Kws. y la superficie de los bloques de uranio se calentaba a 150°. En junio de 1944 la energía alcanzada acusaba 1.800 Kws., y luego se la dejó aumentar más aún, no revelándose ya las nuevas potencias obtenidas.

Los bloques de uranio extraídos de la pila pasan inmediatamente a la nave del plutonio, donde son disueltos en un líquido apropiado y pasan a otras cámaras de reacción con gruesos muros de cemento. El plutonio se separa allí por procedimientos químicos no revelados. Diariamente son tratados varios cientos de kilos de uranio 235, y parece ser que los nuevos proce-

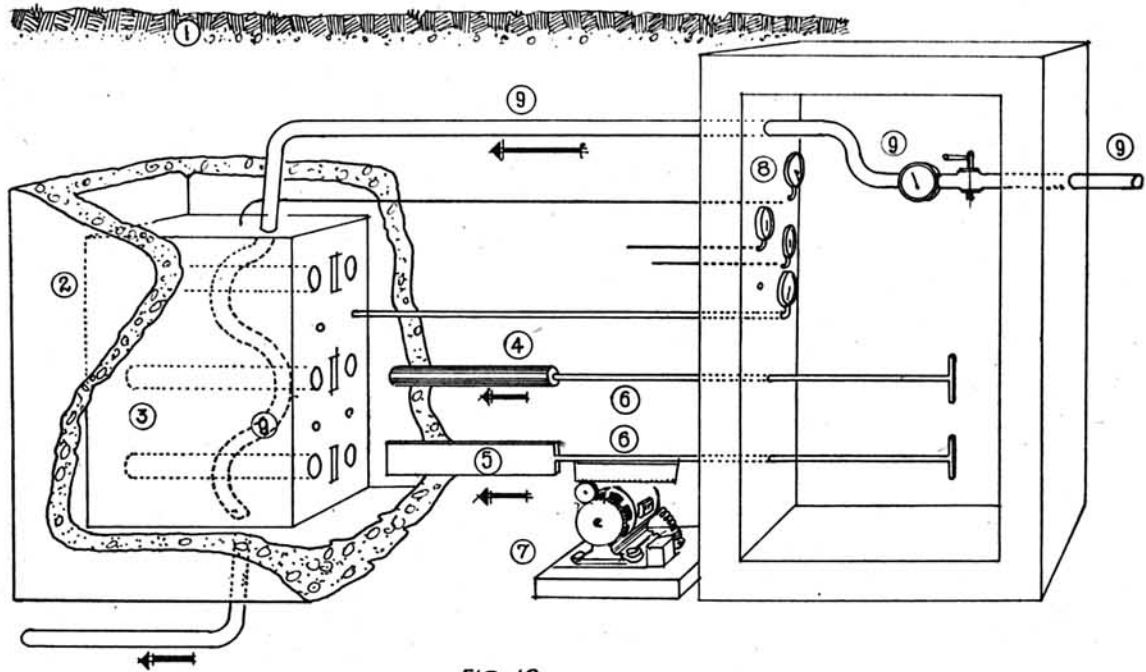


FIG. 12.

1. Superficie del terreno.—2. Coraza de cemento.—3. Masa de grafito.—4. Barras de uranio.—5. Idem de cadmio.—6. Telemandos.—7. Servomotor.—8. Instrumentos de control.—9. Refrigeración.

dimientos empleados acusan una riqueza extractiva de plutonio del orden del 90 por 100.

La "planta" de Hanford.—Conocida ya en lo esencial la técnica de producción a seguir, montóse una nueva fábrica en gran escala en Hanford (Washington), a orillas del río Columbia, cerca de la presa de la Grand Coulee, donde se llegaron a reunir hasta 60.000 obreros con sus familias hasta poner en marcha la producción. Hoy funciona la fábrica sobre la marcha con sólo un reducido equipo de técnicos, ya que casi todo se hace mecánicamente. El coste de aquellas instalaciones se ha hecho ascender a 340 millones de dólares.

Se han previsto en Hanford cinco grandes pilas de uranio, de las que creemos operan tres; la primera de ellas desde septiembre de 1944. Estas pilas están separadas entre sí y de la fábrica principal por distancias de varios kilómetros.

La carga y descarga de las pilas se efectúa en lo que llaman un "cañón" de 30 metros de longitud, formado en realidad por una serie de cámaras de cemento, enterradas en sus dos tercios (en semisótano), y todos con su correspondiente mando a distancia. Cuando la intensidad de la reacción se torna peligrosa, el exceso de

ionización excita a un relevador-testigo, que, a través de servo-motores eléctricos, hace introducir los separadores de cadmio automáticamente y sin intervención humana. La reacción se refrena inmediatamente.

Cuéntase que durante el verano de 1945 el funcionamiento de las tres pilas de Hanford hizo elevar la temperatura de las aguas del río Columbia en términos que obligaron a tomar medidas adecuadas para evitar la destrucción de la pesca del río.

Hanford ha sido y es la principal fuente de obtención del plutonio, según veremos seguidamente.

El plutonio, gran explosivo atómico.

Las nociones anteriormente expuestas constituyen la parte más conocida de los trabajos norteamericanos. Sin embargo, el informe oficial del profesor doctor Smyth nos permite agregar a esta sucinta información numerosos pormenores casi desconocidos, pero de un interés enorme, especialmente en lo que se refiere a los trabajos en la gran fábrica de Hanford.

Aceptada en definitiva la refrigeración por agua, confiése a Du Pont el proyecto, construcción y explotación de la fábrica, que consta de

dos elementos esenciales: una pila de reacción para el uranio y una "planta" para la separación del plutonio. Toda la investigación necesaria quedó a cargo del Laboratorio Metalúrgico.

Se ignoraba en principio lo que ocurriría al grafito moderador. La práctica no tardó en enseñar que el calor y la intensa radiación a que se ve sometido modifican su elasticidad, su resistencia eléctrica y su conductibilidad calorífica. (En Hanford el grafito está en masa, con taladros horizontales para alojar las barras de uranio.)

Otros problemas a resolver fueron: el hallazgo de un aislante para las canalizaciones eléctricas de los instrumentos de observación, que van embebidas en la pila, y cuyo aislante ha de resistir sin desintegrarse la radioactividad y las altas temperaturas; y análogamente, la fabricación de las probetas y testigos de experimentación que eventualmente han de introducirse en la pila.

La refrigeración. — Por lo que al uranio se refiere, lo mejor sería el contacto directo de las barras con la corriente de agua. Pero esto ni siquiera fué intentado, visto el gran riesgo de oxidar el uranio, deshacer los bloques y cargar el agua de radioactividad. Había que aislar el U. Se pensó primero en someterle previamente a un adecuado tratamiento térmico o galvanoplástico que modificase su superficie. Luego se prefirió envasarlo "en lata" (como la mortadela). Pero este fué otro problema no despreciable. El envase, en efecto, tiene que ser impermeable, no oxidarse, no desintegrarse y no absorber demasiados neutrones. ¡Casi nada!... Adoptóse, en definitiva, un delgado envase de aluminio, en estrecho y hermético contacto con el uranio, y hasta la fecha marcha bien.

Las cañerías por donde circula el agua refrigerante dieron también mucho que pensar. Es preciso, en efecto, que no tengan pérdidas de líquido, que no se oxiden, que no se doblen, no se desintegren y no absorban demasiados neutrones (lo de siempre; y esto, a grandes temperaturas). Sólo hay siete cuerpos que reúnan estas últimas condiciones: aluminio, berilio, bismuto, estaño, magnesio, plomo y zinc. Aunque con ciertas dudas sobre su posible corrosión, se eligió el aluminio, y ha funcionado, hasta donde sabemos, bastante bien.

El líquido refrigerante tiene la misión de disipar las calorías producidas por una energía de millares de kilovatios, a base de aplicar una corriente de agua a los puntos más recalentados

por el bombardeo electrónico y neutrónico. Pero... ¿cuánta agua? No era posible predecirlo.

Mas por algo, junto a la fábrica, pasa el río Columbia. Se captó una amplia toma, y la experiencia demostró que el gasto de agua que hubo de circular por la pila es suficiente para cubrir todo el consumo normal de una gran ciudad. Hubo, pues, que montar estaciones con bombas de aspiración e impulsión, aparatos de filtrado y tratamiento. El agua circula por la pila una sola vez, en sentido longitudinal, y luego va a verter a un gran estanque, donde se la deja almacenar para que pierda su radioactividad, después de lo cual vuelve al río, aguas abajo de la fábrica.

Como complemento del sistema se ha montado un dispositivo de alarma, que en caso de interrupción de la circulación de agua corta automáticamente la reacción de la pila.

Mandos de la pila.—Hubo que establecer en Hanford un perfecto sistema de mandos, que automáticamente mantenga la pila por debajo de un nivel de energía crítico, previamente calculado. La parte mecánica de los mandos (introdutores de los separadores de acero-boro) conecta con instrumentos de medida de la intensidad y densidad de los neutrones, radioactividad, temperatura, etc. Especialmente, la intensidad neutrónica se mide en una cámara de ionización a base de BF_3 (trifluoruro de boro) y se gradúa con la maniobra de las varillas de acero al boro. En cuanto el nivel de energía da señales de rápida subida, actúan los mandos. Posibles filtraciones de agua, o roturas de los envases de aluminio, son también detectados desde lejos.

La radiación reinante es tan intensa, que ninguna criatura viviente puede acercarse a la pila. Los neutrones tienden a escapar por cualquier grietecilla. Por ello, toda la pila va rodeada por gruesos muros de cemento armado, a través de los cuales han de pasar las cañerías del agua, las barras del uranio y acero, y los demás mandos y cables. Ni siquiera el aire debe atravesar los muros, pues puesto en contacto con la pila, hácese también radioactivo.

Los instrumentos de observación y los mandos están reunidos a distancia de la pila, en cámaras acorazadas de hormigón. Desde allí es manejado el uranio que se retira de la pila, y éste continúa entre similares corazas todo el camino que conduce hasta la nave de separación, e incluso en buena parte de ésta. Todos los escalones o secciones de esta última, incluso los

de análisis, son igualmente gobernados por telemandos, desde detrás de las corazas, hasta llegar al punto en el que Pu queda libre de productos radioactivos.

Entretenimiento de la pila.—No hay entretenimiento posible de la pila, ni de la nave de separación, una vez que aquélla ha iniciado su marcha. Lo único posible es mantener atentamente la circulación del agua y el suministro del fluido eléctrico para mandos e instrumentos.

La cantidad de Pu_{239} va aumentando con el tiempo de explotación de la pila. Al correr ese tiempo empiezan también a fisurarse los átomos de plutonio, y se desprenden productos de la fisura, que absorben un excesivo número de neutrones. Todos estos factores, así como los costes de producción, horarios de trabajo y otros se barajan para calcular en qué momentos se debe desmontar la pila para extraer el plutonio.

Dentro de las dimensiones admisibles, se ha comprobado que en la práctica resulta más económica una sola pila muy grande que varias de menor tamaño.

La extracción o sangrado del plutonio.

La descarga de los lingotes de uranio se efectúa por una especie de pequeño desfiladero artificial ("cañón" o zanja), en la que hay semi-enterrada una serie lineal de pequeños departamentos o casamatas de hormigón, en cada uno de los cuales se alojan tanques o centrífugas para efectuar las necesarias operaciones de disolución o precipitación.

Los lingotes extraídos de la pila inmediatamente caen al agua, y por debajo de ésta pasan al primer departamento, donde encuentran un líquido adecuado, en el que se disuelven. Una vez disueltos, ya todas las sucesivas operaciones se efectúan con líquidos que—mediante un sistema de bombas aspirantes-impelentes—son así trasladados sucesivamente por todas las cámaras de hormigón, sufriendo en ellas una complicada serie de disoluciones, precipitaciones, oxidaciones y reducciones, cuyo por menor constituye uno de los grandes secretos de fabricación. De la última cámara sale ya una disolución de plutonio libre de uranio y de productos de las fisuras atómicas. Esta solución pasa, por fin, a la gran nave de separación, donde se procede a aislar el Pu metálico. Pero hasta esta fase final todos los mandos han sido accionados desde el exterior del cañón.

En los diversos disolventes utilizados quedan unos 30 productos de las reacciones, entre ellos

xenón y yodina radioactiva, con otros menos peligrosos. Se cuida mucho la eliminación de todos ellos, que se efectúa en forma de gases, evacuados por chimeneas de gran altura. Frecuentemente se comprueba, con pequeñísimas tolerancias, que su difusión no daña el ambiente exterior ni tampoco a las aguas del río.

Aunque la pila opere sin interrupción hasta que todo el U_{235} se haya desintegrado, aún quedará parte del U_{238} sin convertirse en P_{239} . Por eso el proceso se hace interrumpir antes de llegar a ese momento. El uranio es muy caro y escaso, y por ello se recupera todo el que puede aprovecharse, después de separar al plutonio. Los últimos métodos puestos en práctica recientemente aseguran esta recuperación en gran escala.

La existencia de intensa radiación en aquellos lugares plantea nuevos problemas. Por ejemplo, los tanques de precipitación sufren una corrosión inusitada, y las reacciones químicas que en el laboratorio se ensayaron con éxito para beneficiar el Pu fracasaron en la práctica al efectuarse bajo la gran radiación latente. Todavía en enero de 1943 no había sido posible establecer con carácter definitivo el procedimiento de separación. Y después de aquella fecha no han vuelto a facilitarse detalles sobre este asunto. No obstante, el informe tan aludido del doctor Smyth deja entrever algunas interesantes particularidades de los elementos que hay que separar (isótopos y demás) y de los diversos métodos al efecto ensayados. Pero antes de recoger tales por menores será conveniente asomarnos (hipotéticamente) desde aquí al interior de la pila, para observar algunas particularidades sobre los fenómenos y reacciones que en su interior dan lugar a la producción del plutonio.

Lo que pasa dentro de la pila.

La materialidad de la reacción en la pila consiste simplemente en una intensa circulación de neutrones en el seno de la materia y en el aprovechamiento de sus múltiples colisiones con ella. Estas colisiones pueden ser de dos clases principales:

- I.—Choques con dispersión neutrónica y gran pérdida de energía:
 - a) Choques inelásticos de neutrones con núcleos de uranio.
 - b) Choques elásticos de neutrones rápidos con núcleos de moderador, transformándose en neutrones lentos, térmicos.

nes rápidos de fisura. Pues bien: si $N_{\epsilon p f \eta} > N$, tendremos reacción en cadena. Y en una pila ilimitada el factor de multiplicación sería $\epsilon p f \eta = k \infty$.

En estos cálculos hemos prescindido de los neutrones que se escapan, pero el hecho—prácticamente comprobado—de que las pilas funcionen indica que son escasos y que en ellas k se aproxima bastante a $k \infty$. Cuanto mayor la pila menos neutrones se pierden. Y si hay que meter en ella, de nuevo, tuberías, mandos y otros cuerpos extraños, han de ampliarse algo sus dimensiones para compensar la nueva absorción indeseable de neutrones por los nuevos elementos introducidos.

Es evidente que en las instalaciones norteamericanas han sido calculados y medidos los valores de todos los factores que acabamos de mencionar, pero nosotros no los conocemos.

En resumen: la pila arranca con neutrones rápidos, y se entretiene mediante su transformación en lentos. En este proceso son perjudiciales las absorciones indeseables de neutrones por impurezas, resonancia y demás; pero esto se compensa por la colaboración de los nuevos neutrones rápidos desprendidos en las fisuras nucleares.

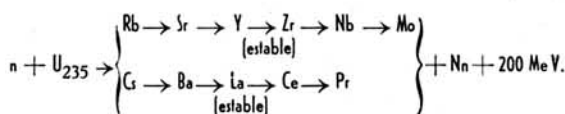
Con todo, el funcionamiento de la pila es relativamente lento. Por ejemplo, en la de Hanford se ha comprobado que de cada millón de gramos de uranio presentes en ella solamente se utilizan al día unos pocos gramos de U_{235} y U_{238} . El U_{235} va desapareciendo con rapidez, pero se va formando Pu_{239} , y las escisiones de éste por neutrones térmicos contrarrestan aquella desaparición al liberar nuevos neutrones que contribuyen a mantener la cadena.

Además, en la desintegración se producen otros elementos, muchos de ellos tóxicos o indeseables, cuyo efecto no fué fácil predecir, y que en la práctica estuvieron a punto de impedir el funcionamiento de las pilas de Hanford. Por todo ello, tiene tanta importancia el proceso de separación de productos, del que nos vamos a ocupar a continuación.

La separación de productos nocivos.

Los lingotes extraídos de la pila, además de U con Pu, llevan también otros productos de la reacción y desintegración nuclear. Como ya se sabe, los dos fragmentos en que se escinde el núcleo de U no suelen ser iguales, sino que difieren en tamaño y también en naturaleza; el

trozo más pequeño suele ser de un cuerpo, con masa atómica de 90 a 100, y el mayor, de otro cuerpo con masa de 134 a 144. Pero estos cuerpos resultantes no son siempre los mismos; hay dos series o grupos de productos de la fisura atómica: uno, ligero, con masa atómica de 83 a 115, y generalmente con radioactividad β , o sea, comprendidos entre el rubidio y el cadmio en el cuadro de Mendeleief; otro, pesado, con masa de 127 a 154 y similares características; es decir, entre el terbio y el europio del mismo cuadro. He aquí un ejemplo del fraccionamiento del núcleo de uranio atacado por un neutrón y evolución de los productos desprendidos en la fisura:

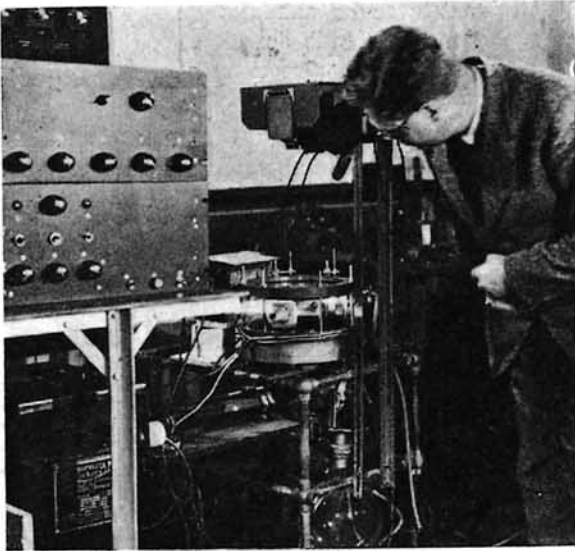


Y para los que no recuerden los símbolos químicos, añadiremos que en la línea superior de productos vemos los de la serie ligera, iniciada en este caso por el rubidio, con sucesivas evoluciones en estroncio, ytrio, zirconio, niobio y molibdeno, mientras que en la línea inferior vemos la serie pesada: cesio, bario, lantano, cerio y praseodimio. En resumen: en este ejemplo resultan seis cuerpos más ligeros, cinco más pesados, un número N de neutrones rápidos y 200 millones de electrón-voltios, de todo lo cual los neutrones son lo único aprovechable.

Casi todos los elementos aludidos son isótopos inestables de los 30 cuerpos simples situados entre los extremos citados. Los semiperiodos T de desintegración (llamados "media-vida" por los americanos) oscilan entre un segundo y un año. En el seno de la pila van emitiendo rayos β y γ , y decayendo hacia la estabilidad nuclear, representada en el ejemplo anterior por el molibdeno y el praseodimio. Así resultan, en definitiva, unos 20 elementos diferentes, que en conjunto suponen más de un 10 por 100 de la masa total.

Además de los anteriores productos hay presentes otros elementos también radioactivos, como el U_{239} y Np_{239} , intermedios en el proceso formativo del Pu. Sus cantidades se entretienen sensiblemente constantes, ya que se van desintegrando casi al mismo ritmo que se forman. En cambio, el Pu, cuya vida media es mucho más larga, va predominando en forma creciente hacia la etapa final.

La concentración de productos radioactivos en la pila es función del tiempo que lleva operando, o del que hace que dejó de operar, de la refrigeración aplicada, etc. En la marcha normal de la fabricación se combinan convenientemente todos estos factores, para el mejor rendimiento y menor riesgo de manipulación. Influye también en todo ello la potencia máxima alcanzada en la pila. Pero, en conjunto, el peso total de los productos de la desintegración (estables e inestables) permanece prácticamente constante.



Una moderna cámara de vapores—derivada de la cámara de Wilson—empleada en investigaciones atómicas en el laboratorio Cavendish, de Cambridge.

El proceso de separación de todos estos cuerpos es, evidentemente, delicado, y, desde luego, secreto, pero aún lo es más el de separación de los isótopos uránicos, donde la dificultad sube de punto al fallar los métodos químicos, ya que la estructura química de todos es idéntica. Tampoco ha sido revelado concretamente el procedimiento seguido, pero de los múltiples ensayos que le precedieron, y de las líneas generales del sistema actual, se conocen algunos pormenores curiosos, que referimos a continuación.

La separación de isótopos uránicos.

En la marcha diaria de la fabricación en Hanford hay necesidad de separar algunos gramos de plutonio, de varios kilos de uranio, mezcla-

dos con las abundantes y peligrosas impurezas de que se ha hecho mención.

En especial, el problema de la separación de los isótopos del uranio ha obligado a ensayar una porción de procedimientos—prácticamente todos los conocidos—, y, en consecuencia, hemos tenido noticia de los siguientes:

Partiendo del uranio gaseoso, se trabajó intensamente en el método llamado de difusión gaseosa, consistente en operar con gases (a base de UF_6 , hexafluoruro de uranio), que por medio de aspiradores centrífugos es obligado a atravesar barreras difusoras, en cuya composición se ensayaron diversos materiales. También se ensayó, con los gases uránicos, el método electro-magnético, empleándose para la separación varios espectrógrafos de masas, partiendo del ideado por Aston.

Así se llegó al *isotrón*, gran separador magnético de masas.

Los gases compuestos, a separar, son fuertemente ionizados en una fuente iónica adecuada, y seguidamente atraviesan unos tabiques ranurados que les obligan a formar un estrecho haz. Este haz es acelerado, primero, por la acción de un campo eléctrico, con lo que los iones de diferente masa adquieren distintas velocidades (mayor la del más pesado). Ya separados así los iones, pero marchando aún confundidos, son sometidos a la acción de un campo magnético de foco transversal, que les hace describir una amplia curva. Como los más pesados van más deprisa, tienen un momento de inercia mayor, y por ello describen una curva de mayor radio. El dispositivo receptor consta de otro tabique ranurado, que bloquea el paso a un haz de iones y deja pasar el otro por la ranura para ir a parar a un colector adecuado. Desplazando este conjunto, se puede pasar a recoger el otro haz antes abandonado. En la figura se suponen recogidos los iones de U_{235} y desviados (curva exterior) los de U_{238} . Este método se ensayó en 1941-42, pero parece que entonces no llegó a emplearse en gran escala.

Hacia la misma época se pensó en el *magnetrón* del "radar", convenientemente modificado, con el nombre de *centrífuga iónica*. No se pasó de los primeros ensayos por resultar éstos poco concluyentes.

Estos trabajos fueron dirigidos a la sazón por los profesores H. D. Smyth, R. R. Wilson y por Lawrence.

Posteriormente se operó con el *calutrón* (anagrama del California University Cyclotró), del cual ya dijimos algo antes de ahora. El proceso consistía en tomar una fuente de iones, de la que se hace formar un haz de iones de uranio; se les acelera en un ciclotrón Lawrence y, después de atravesar un campo magnético, se les recoge. El factor de separación es grande y hay indicios de que este procedimiento es uno de los que han perdurado.

Sábase, en efecto, que en 1944 funcionaba en el establecimiento de Clinton una fábrica de uranio, con "planta" separadora por difusión térmica, la cual obtenía un material muy rico en uranio, que luego pasaba a la "planta" de separación electromagnética. Esta última producía, a fines del año, un U_{235} suficientemente puro para ser empleado en la fabricación de bombas atómicas. Se dice también que las mayores cantidades de isótopos de uranio, separados, proceden del *calutrón*.

Existen también buenos indicios del empleo de procedimientos químicos, pero éstos, dedicados exclusivamente a separar el plutonio (como elemento químico diferente) de los isótopos del uranio y de sus propias variedades. El Pu, en efecto, puede encontrarse en varios estados distintos de oxidación (designados del Pu-I a Pu-VI), cuya existencia se aprovecha en los procesos de separación.

En general, cabe emplear cuatro procesos químicos clásicos: volatilización, absorción, disolución y precipitación. Este último es el que parece haber prevalecido en Hanford.

Según el informe oficial a que nos venimos refiriendo, se utiliza allí preferentemente la coprecipitación simultánea de pequeñas concentraciones de Pu, con un precipitado "soporte" de algún otro elemento. Aprovechase para ello la existencia de los diversos grados de oxidación del plutonio a que antes nos hemos referido.

Se parte de una precipitación de Pu-IV con un soporte; luego se disuelve el precipitado; se oxida más el plutonio, hasta llegar al Pu-VI; se vuelve a precipitar el soporte, mientras el Pu-VI queda disuelto. Luego se precipita éste, y ya sólo quedan en la disolución los productos

de la desintegración que permanecieron unidos con el Pu-IV, pero que son así separados del Pu-VI.

Esta última separación (llamada descontaminación) se efectúa a través de varios ciclos, alternados de oxidaciones y reducciones.

Tal es, bosquejado muy a la ligera—otra cosa no es posible—, el método que se supone empleado en la fábrica de Hanford. Y se añade oficiosamente que, aunque acaso en el futuro pueda ser mejorado, hoy por hoy viene dando un rendimiento excelente.

Ultimamente se ha añadido que hoy se obtiene plutonio partiendo del U_{238} , con una riqueza noventa y nueve veces mayor que cuando se operaba con el U_{235} .

El cuidado del personal.

Creados verdaderos pueblos con el personal de estas fábricas y sus familias, es lógico que con todos ellos se tomen grandes precauciones para preservarles de los peligros de la radioactividad.

Periódicos análisis de sangre, contadores de bolsillo con electrómetros ultrasensibles, continua vigilancia de sus vestiduras, cabello, objetos que transportan encima de sus personas, vigilancia de la impresión o no impresión de un trozo de película virgen que cada uno lleva consigo en un estuche hermético, detectores especiales de radioactividad en las puertas de salida de la fábrica, constante depuración y vigilancia de aguas, polvos y humos, etc. Gracias a todo ello, hasta ahora parece que no ha habido que lamentar percances.

El estudio de los efectos de la radioactividad en las víctimas de Hiroshima y Nagasaki, y los experimentos de Bikini, han debido de aportar nuevos conocimientos a la protección de las personas residentes en las ciudades atómicas.

Recientemente se habló de la "raicina", nuevo producto que se dice eficaz para contrarrestar los efectos nocivos de la radioactividad en los seres humanos. Ello, sin embargo, pertenece todavía, para nosotros, al "secreto del sumario".