

## **CAMINO SEGUIDO POR EL URANIO PURO PARA LLEGAR A LA BOMBA ATOMICA (\*)**

HONORATO DE CASTRO (\*\*)

El uranio purificado, si se trata de un mineral utilizado por la Comisión de Energía Atómica de los EE.UU. de Norte América ha de ser transformado en uno de los materiales fisionables que para la producción de la bomba atómica son indispensables.

Dos son los materiales que la referida transformación ha de producir. Uno es un uranio de una clase sumamente especial al que han distinguido con la denominación de "uranio 235". Y como en el uranio normal, esta clase especial se da en forma natural, pero muy escasa (menos de un uno por ciento) se ha hecho preciso idear métodos para obtener un uranio 235 del uranio normal, operación en la que no pueden emplearse métodos industriales corrientes, porque tanto el uranio normal como el 235 reaccionan del mismo modo en todos los procesos químicos.

Otro de los materiales fisionables que como producto de la referida transformación han de ser obtenidos es el "plutonio". No se presenta este material en la naturaleza en cantidades dignas de mención y ha tenido el hombre que acudir a métodos de transformación para obtenerlo. Es decir, ha sido preciso convertir el uranio en plutonio. Ha partido para ello del llamado "óxido pardo" al que anteriormente nos hemos referido y que fué obtenido en cantidades aproximadas de un kilogramo por cada tonelada de mineral empleado.

Está compuesto este óxido pardo de una parte de uranio y dos de oxígeno. Pero mientras esté presente el oxígeno no podrá el uranio ser utilizado para producir el tipo "235" o el plutonio.

Ha de volver por consiguiente el óxido pardo a los baños químicos de los que sale en forma de un polvo de color verde pálido al cual se ha dado el nombre de "Sal verde". En estas

---

(\*) Original recibido en junio de 1958.

(\*\*) Geofísico; Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos.

manipulaciones ha desaparecido el oxígeno y ha quedado en su lugar el fluor. Presenta este paso grandes dificultades y de ello podemos formarnos idea considerando que de todos los elementos del mundo es quizás el fluor el más corrosivo. Disuelve el vidrio, corroe profundamente la mayoría de los metales e inflama todas las materias orgánicas tales como telas, maderas y petróleo. Esta sal verde, aunque el proceso de su producción sea tan delicado y peligroso, es, en sí, un componente estable relativamente inofensivo. Y para el programa de producción de energía atómica es de gran valor como punto de partida para la fabricación del plutonio y del uranio 235.

En los Estados Unidos de Norte América, se obtiene el plutonio en las grandes fábricas de Hanford y Savannah River y el uranio-235 se produce en las gigantescas instalaciones de Oak Ridge, Paducah y Portsmouth.

El material necesario para producir el plutonio es el uranio puro que se obtiene de la Sal verde mediante una simple operación química que elimina el fluor y deja al uranio puro. Es un material brillante, muy pesado, muy duro que, en peso, no difiere mucho del plomo, y en color es muy semejante al del níquel.

A partir de estos momentos cesa la intervención del químico quien cede su lugar a metalúrgicos y maquinistas. En esta etapa se le funde en lingotes, se le estira para formar largas varillas y se le corta en barras cilíndricas relativamente cortas. Para impedir el que se recubra de óxido se le encierra lo antes posible en botes de aluminio de cierre hermético quedando así en condiciones para pasar a la fábrica de producción de plutonio, fábrica dirigida actualmente por la "General Electric" por contrato con la Comisión de Energía Atómica.

En Hanford recorre el uranio uno de los trayectos más excitantes y misteriosos de su viaje hasta la bomba. El misterio del ambiente se deja sentir si se visita la ciudad de Richland, construída por el Gobierno de los EE.UU. que se encuentra junto a una gran zona secreta de 160,000 hectáreas donde están situadas las fábricas de plutonio, ampliamente separadas unas de otras. La huella de la era atómica se advierte en esa ciudad al pasar ante el edificio en el que se encuentra instalada la "Comisión de Energía Atómica" y cuando se siente y se ve un

pequeño avión que incansablemente patrulla describiendo círculos en torno a la periferia de la zona de reserva vigilada, zona a cuya entrada se lee un gran cartelón: "Zona Prohibida".

Y es en esa región prohibida donde penetra el uranio para ser transmutado en plutonio.

No es un proceso químico el que produce semejante transmutación, es un proceso nuclear y se realiza en una enorme pila de grafito y uranio, de forma de cajón que tiene varios pisos de altura, pila a la que se ha dado el nombre de "reactor nuclear".

La reacción que se verifica en un reactor nuclear difiere de una reacción química en el hecho de que afecta, no a partículas de materia tan grandes como las moléculas y las envolturas exteriores de los átomos, sino al durísimo e inimaginable minúsculo centro interior de un átomo al rededor del cual giran las partículas exteriores como giran los planetas en torno del Sol. Hasta muy pocos años, antes de iniciar el programa de la energía atómica, no había conseguido el hombre penetrar en el corazón interno del átomo y lo había hecho en muy pocos átomos con la ayuda de unas máquinas gigantescas a las que se pusiera los nombres de "ciclotrón", "betatrón" y "generador de Van de Grass".

El proceso de la cadena de reacción nuclear es el mundo del protón y del neutrón, partículas de materia tan pequeñas que, cien millones de ellas no compondrían una mota lo suficientemente grande para ser distinguida por el ojo humano. En ese mundo, de tanto en tanto, un núcleo de uranio-235 se divide en dos soltando "balas" de neutrón que si chocan con otros átomos de "235" los dividen a su vez en dos. Esta es la cadena de reacción nuclear, es decir, el proceso en el que se basa todo el programa de la energía atómica.

También ha descubierto la Física que si las balas de neutrones que dispara un átomo "235" en división, chocan con un núcleo del átomo común de "uranio 238" se produce el milagro de la transmutación. En los reactores nucleares de Hanford se verifican miles de millones de tales explosiones atómicas en miniatura y miles de millones de neutrones son liberados para realizar su labor de convertir el uranio normal en plutonio.

Se puede afirmar en muchos sentidos que la citada reacción es un fuego nuclear. Por ello los operarios que trabajan con los reactores les llaman "hornos" en los cuales se cocina el uranio. Pero el fuego que arde en el interior no se parece a un fuego de carbón o a un fuego químico. En primer lugar, para producirse, no necesita oxígeno tan sólo neutrones. En segundo lugar, a diferencia de un fuego químico no se le puede ver ni oír. Los miles de millones de explosiones de miniatura son tan pequeñas y están tan esparcidas entre el uranio y el grafito que no pueden ser descubiertas por el oído humano. Pero al igual que el fuego químico, este fuego nuclear produce calor y para impedir que el reactor se funda es preciso refrigerarlo constantemente con agua que fluye por una malla de pequeños orificios.

Entre el fuego nuclear y el fuego químico corriente existe otra diferencia importante, a saber: la producción, por reacción nuclear, de rayos invisibles, intensamente letales, contra los cuales hay que protegerse con una gruesa pared de plomo y hormigón, de varios pies de espesor, que rodea al centro donde se encuentra el uranio y el grafito.

Cuando se contempla un reactor se vé la pared anterior de la capa de plomo y hormigón, perforada por cientos de agujeros redondos, del tamaño de un dólar de plata, en los cuales se introducen los tubos cilíndricos de uranio en el momento de la carga. En el interior del edificio del reactor se encuentra la llamada "sala del trono" en donde el "Rey Atomo" domina como soberano. El hombre después de calcular con exactitud las cantidades correctas de uranio y grafito necesarias para liberar las fuerzas ocultas del átomo, construye la pila de acuerdo con tales datos, y atiende después a fiscalizar la reacción de modo que llegue a la altura adecuada para producir la mayor cantidad posible de plutonio. Para corregirlo ha de ayudarse con máquinas y manipulando barras metálicas que absorben neutrones. Cuando el fuego atómico se hace demasiado alto, introduce barras que absorben suficiente cantidad de neutrones. Y si el fuego es demasiado bajo, lo remedia sacando las barras.

Semejantes manipulaciones, nada sencillas, son realizadas por dos funcionarios que vigilan las luces, los gráficos y los

círculos. De cuando en cuando uno de ellos mueve una palanca u oprime un botón, habla por teléfono ó escribe ciertas notas en un cuadernillo de registro. Todo ello es sumamente tranquilo y práctico, mas para los no iniciados, aquello es un laberinto electrónico que no pueden abrigar esperanzas de comprender.

Desde la llamada "Sala del Trono" se vé muy bien el frente de carga de la pila. En los días de carga cierran la pila, insertan unas varillas de fiscalización y el "fuego atómico" se extingue temporalmente. El medio kilogramo de uranio puro con que se manipula es encerrado con otro uranio en una caja de aluminio e introducida la caja en el reactor. Millones de cajas semejantes, manipuladas por una maquinaria, penetran a través de agujeritos redondos, que atraviesan el hormigón y el plomo protector, y llegan al núcleo del reactor.

Una vez dentro del reactor derraman las precisadas cajas de aluminio en tubos, por los que circula agua refrigerante, estando separados tales tubos unos de otros por cubos sólidos de grafito. Este material está allí para encauzar la dirección de los neutrones, liberados en el fuego atómico, hacia sus metas finales del uranio-238.

Después de que el uranio es introducido en la pila, se cierran con tapones de plomo los agujeros que hay en la pared de hormigón y se retiran gradualmente las barras de fiscalización. Es entonces cuando la pila de uranio y grafito estalla en llamas nucleares. Allí permanece el uranio durante un período de varios meses "cocinándose", es decir, sufriendo una especie particular de metamorfosis a medida que sus minúsculas partículas cambian de un elemento físico a otro.

Cuando la mayor parte del uranio se ha transformado en plutonio, es decir, cuando el uranio está ya "hecho", es empujado fuera del reactor y cae a un canal lleno de agua llegando hasta una profundidad de 10 metros. El agua absorbe los rayos mortales que emanan del contenido de la caja de aluminio.

Meses enteros de cocina nuclear han hecho que el uranio esté "caliente" en sentido nuclear. Pero en las cajas de aluminio no hay cambios visibles, y si se pudiera ver el uranio no parecería distinto a como se le viera al comienzo del cocinado. Las partículas que se han convertido en plutonio son átomos

individuales, ampliamente dispersos en el seno del uranio y no se las podría ver ni con la ayuda del más potente microscopio. Pero la caja está "caliente" y si la tocáramos habríamos de sentir quemaduras terriblemente graves que aparecerían poco después en las manos por habernos atrevido a desafiar a una de las fuerzas básicas del universo.

Las cajas que contienen ya uranio y plutonio se dejan "enfriar" durante un mes o más en el canal. Allá, muy abajo, en medio del equipo subterráneo utilizado para transportar las cajas, al alejarlas del reactor, se contempla uno de los espectáculos más fantásticos y hermosos de la era atómica: un resplandor azul que rodea las cajas de aluminio y que muestra el efecto de su intensa radio-actividad sobre el agua.

El uranio ha de pasar ahora desde el canal a otro edificio para quedar de nuevo en manos de la química. Tan sólo se ha transformado en plutonio una fracción del uranio y el problema que se presenta es la separación, es decir, la extracción del plutonio. Como el uranio y el plutonio tienen propiedades químicas diferentes, pueden ser separados por procedimientos químicos. Pero por ser ahora metales intensamente radio-activos, no pueden ser manipulados en forma corriente. Todo el proceso de separación química, tanto el manejo de los ácidos como el traslado de materiales de un lugar a otro, debe ser gobernado desde lejos y detrás de grandes barreras de plomo y algodón. Semejante labor es intensamente difícil aunque se realice con auxilio de dispositivos modernos como manos mecánicas, espejos periscopios y televisión. Pero aunque sea difícil semejante labor, se realiza sin embargo, y, por fin, se obtiene el precioso elemento fabricado por el hombre: el plutonio.

El plutonio puro se parece mucho al uranio puro y también al níquel, a la plata ó al cromo puros. Es pesado como el uranio natural pero difiere de éste en un aspecto importante: si se le acumula para formar lo que los hombres de ciencia llaman una "masa crítica", estalla como una bomba atómica. Es también venenoso y altamente radio-activo. Es muy posible que quienes le dieron el nombre hayan tenido en cuenta que "plutonio" es el antiguo nombre de la entrada del infierno.

Es evidente pues que el plutonio debe ser manejado con la máxima precisión y el más minucioso cuidado.

Al salir ahora el plutonio del campo de la Química es llevado con el más profundo sigilo a lugares secretos en los que, por métodos mecánicos se le acondiciona para utilizarlo en los núcleos de las bombas.

Un poco más adelante se le adicionan los elementos no nucleares de la bomba quedando así todo listo para su empleo en tiempos de guerra.

Es de gran interés conocer que de cada tonelada original del mineral de uranio tan sólo se consiguió producir una fracción de onza de plutonio, pero para los fines prácticos el tal plutonio es un material estable, permanente, de valor inmenso, no sólo para la fabricación de armas explosivas sino que también como combustible de las fábricas de energía atómica.

De la cantidad inicial de "sal verde" que para llegar a la bomba siguió el camino del plutonio, del cual acabamos de hablar, quedó otra parte de sal, en cantidad aproximada al medio kilogramo, la cual llega a la bomba por un camino diferente, por una ruta a la que se ha dado el nombre de "ruta del uranio-235". Este proceso, no menos difícil, es completamente diferente porque no implica ninguna transmutación ni reacción nuclear.

La diferencia entre ambos métodos procede de que el uranio-235, a diferencia del plutonio, existe en la naturaleza en estado nativo.

El uranio-235 se presenta en todo uranio natural y por consiguiente en el uranio de la "sal verde" y el problema consiste en separarlo de la sal. La tarea de tal separación es sumamente difícil porque el uranio-235 existe en el uranio natural en pequeñísima proporción. En cada 140 partes de uranio natural, al que se le ha dado el nombre de "uranio 238" hay una sola parte de uranio 235.

Es preciso además tener en cuenta que el uranio 235 y el 238 son, químicamente hablando, idénticos. Es decir que ambos se funden a la misma temperatura y que uno y otro reaccionan del mismo modo con todas las sustancias químicas. De modo que si en un tubo de ensayo se pone una pequeña cantidad de uranio-235 y en otro tubo otra cantidad igual de uranio-238 y se vierten en ambos tubos, una a una, todas las sus-

tancias que el hombre conoce, serán idénticas las reacciones químicas que en uno y otro tubo se produzcan.

Y para conseguir la separación de ambos minerales concentraron su atención los experimentadores en sus diferencias nucleares. Tales diferencias consisten en que, cuando un átomo-235 es golpeado por un neutrón, se divide en dos, mientras que, al ser golpeado el 238, se convierte en plutonio. Pero ello no constituye un medio de separación porque, aún cuando se pudiera lanzar un chorro de balas de neutrón contra un trozo de uranio, no se conseguiría aislar el uranio 235.

Entre uno y otro de estos dos átomos de uranio existe una pequeña diferencia en sus pesos respectivos. El uranio-235 es más ligero y los hombres de ciencia acudieron para resolver su problema a utilizar un método de **separación electro-magnética**. Consiste este método en combinar el uranio con otra sustancia para formar un gas al que cargan eléctricamente haciéndole pasar después, en chorro de moléculas, ante una magneto gigantesca. La teoría consiste en que las moléculas más livianas son desviadas un poco más que las más pesadas, al pasar ante la magneto, con lo que se consigue la separación.

El procedimiento ideado resultó eficaz después de construir una instalación que costó 350 millones de dólares en cuya instalación se construyó la bomba que estalló sobre Hiroshima en Agosto de 1945.

El referido método de "separación electromagnética" fué abandonado porque muy poco tiempo después se encontró otro que resultó ser menos complicado y más eficaz para la producción de uranio-235 en cantidades relativamente grandes.

Este último método, al que se dió el nombre de "método de difusión gaseosa" actúa de manera semejante a la que produce la separación de elementos diferentes por medio de un tamiz. El uranio, en forma gaseosa, es bombeado a través de una serie de "tamices" llamados "barreras" y los átomos 235 más livianos se concentran gradualmente y se extraen al final en forma virtualmente pura.

La dificultad principal que ha encontrado este último método fué la construcción de las barreras pues los orificios practicados en las mismas para que a su través pase el uranio han



de ser increíblemente pequeñas de un diámetro menor que dos millonésimas de pulgada.

Pero además no se puede realizar el filtrado utilizando una sola barrera a consecuencia de la pequeña diferencia de peso y masa que existe entre las moléculas de uranio-238 y las del 235. Y si se trabaja con una sola barrera la proporción de uranio-235 presente sería tan pequeña que apenas si se podría medir. Por ello la mezcla tiene que pasar a través de numerosas barreras y las instalaciones son de grandísimas dimensiones.

Quienes idearon el método de "difusión gaseosa" tuvieron que resolver, para hacer al método practicable, problemas de gran envergadura porque es difícil imaginarse que el uranio, uno de los metales de mayor peso, pueda adoptar la forma de gas. Y vieron que el único gas que puede emplearse en tal método era el exafluoruro de uranio, al que dieron el nombre de "exa", compuesto de una parte de uranio y seis del corrosivo elemento químico el fluor. Para producir el "exa" recurrió el químico a la "sal verde" la cual, lo mismo que el "exa" se compone de uranio y fluor, teniendo la "sal" mayor cantidad de uranio que el "exa". La difícil tarea resuelta por los químicos fué la de introducir en la "sal" una mayor cantidad de fluor tarea que comprende todas las dificultades y peligros potenciales que afronta quien manipula con fluor aumentadas por la necesidad de realizar semejantes manipulaciones a temperaturas muy elevadas.

Al obtener los químicos el "exa" obtuvieron un material casi casi tan corrosivo y de manejo tan peligroso como el del fluor puro o el ácido fluorídrico. Mientras que la "sal verde" es un compuesto relativamente dócil, no ocurre lo mismo con el "exa" que es el material con el cual han de ser alimentadas las instalaciones de "difusión gaseosa". Además el "exa" tiene que ser usado en forma de gas mientras que a la temperatura ambiente es un cuerpo sólido. Precisa pues, para transformarlo en gas, elevar muchísimo su temperatura, condición que aumenta su corrosividad.

Las instalaciones de "difusión gaseosa" deben por ello obedecer a un diseño característico en el que no sean posibles las filtraciones siendo los materiales de que se componen elementos a los que no ataque el fluor.

La solución de los aludidos problemas constituye una de las historias más interesantes del programa de la energía atómica. Fué preciso inventar un grupo de plásticos, aceites y ceras inmunes a la corrosividad del hexafluoruro de uranio. Ahora bien, si en el mundo existe algo inmune al fluor es el fluor mismo y las investigaciones realizadas condujeron a la creación de una serie de materiales compuestos principalmente de fluor.

Tales materias, llamadas "carbo-fluoruros" por estar compuestas de fluor y carbono, son incoloras, inodoras, inofensivas y químicamente estables. Y no sólo resisten al fluor sino que también al calor, al fuego, al agua, a la mayoría de los ácidos y al oxígeno. Al hablarnos de estos extremos el ex-presidente de la Comisión de Energía Atómica de los EE.UU. Mr. Gordon Dean nos dice: "Este es un caso en que el programa de energía atómica ha creado, como subproductos, una serie nueva de materiales que indudablemente encontrará importantes aplicaciones en la manufactura de plásticos, aceites y, posiblemente, pinturas resistentes de larga duración. Sé que ésta es una profecía, pero está basada en el conocimiento de que, por lo menos, un empleo nuevo, valioso, de los carbofluoruros ha sido encontrado ya: en la producción de plásticos destinados a proteger costosos productos metálicos de la corrosión y útiles para aislar equipos electrónicos. Los carbofluoruros son caros todavía, pero el precio tendrá que bajar en cuanto aumente la producción para hacer frente a la demanda que han de crear las nuevas utilizaciones de los mismos".

Cuando una porción del uranio (medio kilogramo) es transformado en "exa" se le envía a una fábrica, la situada en el pueblo de Oak Ridge, pueblo construido expresamente para instalar en él el "Museo Norte Americano de Energía Atómica" y todos los demás edificios accesorios relacionados con esa producción.

Este pueblo fué construido durante la última guerra mundial por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norte-Americano y de sus dimensiones podremos formarnos una idea si tenemos en cuenta que en el apogeo del período de construcción se encontraban apiñadas en los dormitorios y hogares provisionales

más de 80,000 personas que habían brotado literalmente de la nada.

El proceso que sigue el medio kilogramo de uranio al llegar a la fábrica es el siguiente:

Se hace pasar a través de la primera barrera una porción del uranio (aproximadamente la mitad). Después la parte restante —ligeramente despojada de "235"— es retirada y enviada de nuevo a un compartimento de una etapa anterior de la cadena. Esto tiene que ser realizado por mitades, porque si todo el gas o una cantidad excesiva, del que se halla en el primer compartimento, pasara a la etapa siguiente, la proporción de "235" no aumentaría en la etapa posterior. Toda la finalidad de esta instalación es la de aumentar esta proporción poco a poco.

Este movimiento de regreso y hacia adelante se repite en cada una de las muchas etapas de fabricación y cada molécula del "238" retrocede gradualmente. El avance es tan lento que incluso la molécula más "veloz" necesitaría muchos meses para atravesar toda la fábrica y el volumen de gas en la etapa inferior es más de 100,000 veces mayor que en la superior cuando se retira la "crema" del uranio 235.

Una vez fuera de la instalación, el "exa", altamente enriquecido ahora por el uranio 235, vuelve nuevamente a manos del químico, quien elimina el fluor, dejando finalmente el uranio 235 puro. Este metal parece exactamente uranio natural normal y, en rigor, es exactamente igual, salvo dos interesantes diferencias: es imperceptiblemente más ligero y si se le acumula hasta alcanzar una "masa crítica", estalla como una bomba atómica.

Como en el caso del plutonio, la cantidad de uranio 235 obtenida de su tonelada imaginaria de mineral es apenas una fracción de onza. También este producto sale de Oak Ridge, envuelto en profundo secreto, con rumbo a los lugares en que es trabajado, y, finalmente, alojado en las bombas atómicas.

Una circunstancia interesante que no debemos olvidar es que el plutonio se gasta tan lentamente que sólo la mitad de

él desaparece en 24,000 años. Pero el uranio, en ese aspecto, es todavía mejor porque sólo desaparece su mitad en cuatro millones de años. Y por ser como el plutonio un mineral estable y permanente tiene un valor inmenso porque puede ser utilizado no sólo para la producción de armas atómicas, sino que también como combustible para fábricas de energía atómica. Es decir que el uranio es en definitiva una verdadera esperanza para el futuro.