

# ¡CHECA ESTO!

*Número 064, 19/abril/2012*

**Jerry N. Reider Burstin (jnreider@anahuac.mx)**  
**Coordinador Académico, Área Electricidad y Telecomunicaciones**  
**Facultad de Ingeniería – Universidad Anáhuac.**

Los experimentos de “criticalidad”:



*«Más malo que la carne de puerco...»*

Suele adoptarse esta expresión de corte folclórico para denotar algo que, además de ser malo, es... *malísimo*. En esta serie de artículos se tratará sobre algo que, en contraste, hace ver a la carne de cerdo, así como muchas otras cosas usualmente tachadas de altamente nocivas, como una auténtica vacilada.



Un anillo de plutonio, grado armamentista – isótopo 239, eléctricamente refinado al 99.96%, en cantidad suficiente para un núcleo de bomba atómica. El objeto en la imagen tiene una masa de 5.3 kilogramos y mide aproximadamente 11 centímetros de diámetro (tamaño de un platito para ensalada o pan). La forma de anillo permite asegurar la ausencia de criticalidad pues esta misma cantidad presentada como una masa compacta podría detonar espontáneamente en una defraglación nuclear inesperada, con las consecuencias propias de tan lamentable suceso.

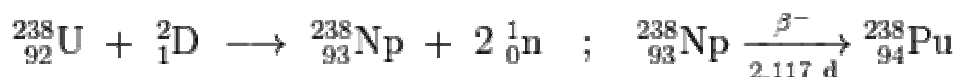
Si al diablo se le hubiera ocurrido inventar alguna sustancia, terriblemente peligrosa por sus características de toxicidad, inestabilidad, radiactividad, explosividad, dificultad para su manipulación, susceptibilidad a inflamarse y otras “bondades”, muy probablemente le habría dado el nombre de Plutonio.

Una coincidencia curiosa reside en el hecho que el nombre conferido a este elemento guarda relación con Plutón, diós del inframundo, conforme a la Mitología de los antiguos griegos.

Es precisamente por esta renuencia del plutonio a exhibir un "comportamiento amable" que se ha suscitado una multitud de incidentes desde el principio del programa para el desarrollo de armas atómicas – desde meros sustos hasta situaciones muy graves – con sus correspondientes fatalidades y daños materiales –, pero que, dado el ambiente de secrecía alrededor de estos trabajos, no suelen estar al alcance del dominio público.

Empero para cumplir el objetivo de este artículo, consistente en relatar algunos de estos sucesos y visualizarlos dentro de una perspectiva adecuada, es menester discutir las características del plutonio en su carácter de material nuclear estratégico.

Fue sintetizado por primera vez en el campus de Berkeley de la Universidad de California por el equipo conducido por Glenn T. Seaborg y Edwin Mc.Millan, mediante el bombardeo del isótopo 238 del uranio con deuterones (núcleos de deuterio) para dar lugar a la siguiente reacción:



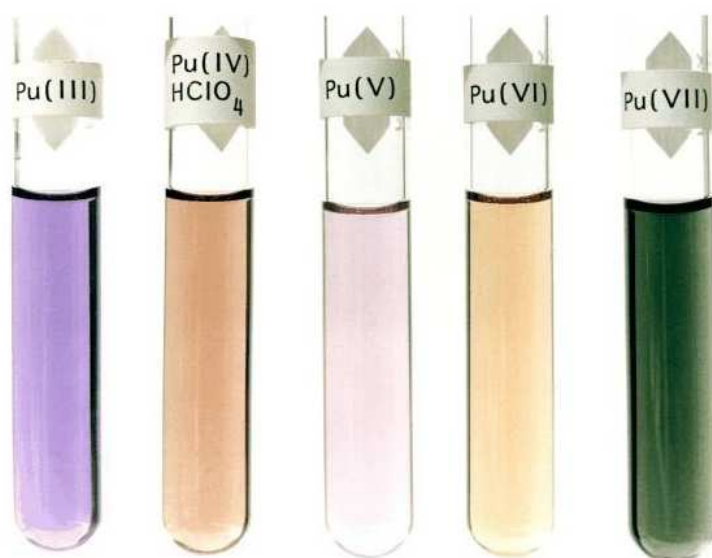
El Neptunio (Np), como producto intermedio de este proceso, decae por emisión beta con una vida media de 2.36 días para dar lugar al elemento que ahora llamamos Plutonio.

La sugerencia del nombre *Plutonio*, acorde con el ordenamiento planetario Urano - Neptuno - Plutón, fue planteada por Mc.Millan. Pero fue Seaborg quien, en tono de broma, acuñó el símbolo Pu, pues P.U. (del inglés: *pee-you* – te orino o, también, *poo* – heces fecales) hace referencia a algo que "huele mal" o, bien a orinar en público – *public urination*.

Como elemento transuránico con número atómico 94, es un metal actínido de brillo plateado-blanquecino pero que reacciona rápidamente con el oxígeno en el aire para formar una capa exterior de aspecto mate. Pero, si dicho ambiente contiene humedad, sobreviene la formación de óxidos e hidruros que se expande hasta en un 70% de su volumen, desprendiéndose en forma de hojuelas, mismas que se incendian en forma espontánea. Se dice, pues, que es pirofórico.

Así mismo, esta notable expansión puede fácilmente reventar el contenedor donde se le aloje. Por ello el requerimiento usual es almacenarlo en el interior de recintos herméticos que contengan algún gas inerte y seco. Para la fabricación de núcleos en bombas nucleares se acostumbra depositar una delgada capa de oro electrolítico para evitar el contacto con el medio ambiente mientras se le manipula o durante su almacenaje.

Esta, así como otras propiedades descritas a continuación, hacen que el manejo del Plutonio sea extremadamente riesgoso. Dicho sea: aún cuando pudiéramos conseguirlo (el acceso a él es muy restringido por consideraciones de seguridad) y pagarlo (USD\$5.24 cada miligramo más los costos de transporte; la masa crítica "cruda" para una bomba costaría alrededor de 150 millones de dólares), no podríamos almacenarlo en casa, amén que muy probablemente recibiríamos la visita de cortesía por parte de un contingente de la CIA o del FBI.



El Plutonio es la pesadilla de un químico metalúrgico porque posee seis formas alotrópicas y cuatro estados de oxidación: La figura adjunta ilustra el aspecto de tales estados cuando se encuentra en disolución acuosa:

- Pu(III), como  $\text{Pu}^{3+}$  (azul lavanda)
- Pu(IV), como  $\text{Pu}^{4+}$  (café amarillento)
- Pu(V), como  $\text{PuO}_2^+$  (rosado)
- Pu(VI), como  $\text{PuO}_2^{2+}$  (naranja rosado)
- Pu(VII), como  $\text{PuO}_5^{3-}$  (verde), – aunque el ion heptavalente es raro.

Las seis formas alotrópicas, asociadas con distintas estructuras cristalinas, se designan con el auxilio de las letras griegas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\delta'$  y  $\epsilon$ , correspondiendo en forma aproximada con distintos rangos de temperatura. La tabla de la siguiente página ilustra esta correspondencia, además de listar las formas cristalinas y las masas específicas.

Los notorios cambios de masa específica señalan que el material sufre una importante expansión al calentarse, para eventualmente contraerse ligeramente en la transición del estado  $\delta$  al  $\epsilon$ . Sin embargo, el mayor obstáculo reside en el hecho que, a temperatura ambiente (forma  $\alpha$ ) el plutonio carece de plasticidad y maleabilidad. Más bien su textura es como gis duro que se quiebra al intentar doblarlo, maquinarlo o darle forma.

La siguiente forma alotrópica realmente significativa es la  $\delta$  pues, además de ser razonablemente estable, la textura del Plutonio se aproxima más a aquella de un metal convencional. De tal suerte, para los propósitos de la construcción de las bombas atómicas durante el Proyecto Manhattan, hubo la necesidad de trabajar *en caliente*, pero encerrando toda la maquinaria y el herramental dentro de contenedores herméticos con atmósfera inerte seca por aquello de que el material "pudiera enojarse" y terminar estallando en un incendio furioso...

<i>Forma alotrópica</i>	<i>Rango de Temperatura [°C]</i>	<i>Forma cristalina</i>	<i>Masa específica [g / cm<sup>3</sup>]</i>
$\alpha$	< 117	Monoclínica simple	19.86
$\beta$	117 a 200	Monoclínica centrada cuerpo	17.70
$\gamma$	200 a 300	Monoclínica centrada cara	17.14
$\delta$	300 a 450	Cúbica centrada cara	15.92
$\delta'$	450 a 475	Tetragonal centrada cuerpo	16.00
$\epsilon$	475 a 637	Cúbica centrada cuerpo	16.51
líquido	> 637	N / A	16.65

Atendiendo al hecho que tanto estas formas alotrópicas como el punto de fusión son extraordinariamente sensibles al contenido de impurezas, surgió la necesidad trabajar con índices excepcionalmente reducidos de impurezas – en ocasiones inferiores a una parte por millón.

Durante los trabajos de investigación del Proyecto Manhattan, desarrollados en el Laboratorio Nacional de Los Álamos durante la II Guerra Mundial tendiente al desarrollo de la Bomba Atómica, los metalurgistas encontraron que una aleación con una pequeña fracción de Galio mejora sus características mecánicas facilitando su maquinado y permitiéndole ser sometido a procesos de soldadura.



Debido a su naturaleza radiactiva, el plutonio emite energía en forma inintermitente. Esto ocasiona que este material suela percibirse tibio – e incluso caliente – al tacto. Particularmente, el isótopo 238 es notable en este sentido pues cada kilogramo genera 570 watts de calor, suficiente para alcanzar temperaturas de incandescencia si se le coloca dentro de un contenedor aislante térmico.

El programa espacial resultó beneficiado con esta propiedad pues las sondas de espacio profundo, destinadas hacia los planetas exteriores del Sistema Solar donde la radiación del Sol es demasiado débil para activar las celdas fotovoltaicas, son equipadas con generadores radio-termoeléctricos que mantienen operando los sistemas de la nave en aquellos ambientes de oscuridad y frío extremos.

Aunque no es el mayor problema de este material, lo cierto es que el Plutonio es horriblemente tóxico al extremo de ser considerado mucho más peligroso que el Cianuro. Se requieren 50 miligramos de dosis equivalente de cianuro ingerido o, bien, una concentración gaseosa de 270 partes por millón para ocasionar la muerte de un adulto promedio en pocos minutos. En cambio, la aspiración de un microgramo de Plutonio termina causando la muerte por cáncer pulmonar.

Al penetrar en el cuerpo de un individuo, el Plutonio es rápidamente absorbido en la médula de los huesos. También puede pasar a formar parte del torrente sanguíneo, de manera que los órganos internos de la víctima quedan sujetos a un efecto de irradiación constante, afectando de manera sensible al sistema inmunológico y reduciendo la capacidad para combatir infecciones. Habiendo sido absorbido su vida media biológica es de 200 años; es decir, quien queda contaminado con Plutonio en el interior de su cuerpo deberá vivir con él cualquier lapso – breve o prolongado – que le reste de vida sin que exista remedio alguno para evitar o siquiera mitigar sus efectos.

Punto y aparte, por mucho el peor inconveniente de este espantoso material reside en su inestabilidad nuclear y que se manifiesta como la característica de sufrir fisión espontánea. En otras palabras, es muy susceptible de detonar en la misma forma como sucede al explotar una bomba atómica pero sin estar ensamblado como tal. El secreto para determinar si determinada muestra de Plutonio es o no segura reside en un concepto conocido como criticalidad.

Fueron precisamente estos experimentos de criticalidad los que dieron lugar a los primeros accidentes nucleares de la historia y que serán expuestos en el próximo número de esta serie.

*Continuará...*