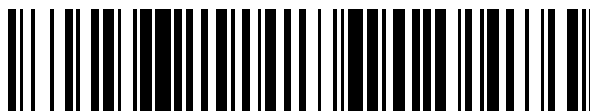


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 415 411**

51 Int. Cl.:

G21C 13/10 (2006.01)

G21C 19/28 (2006.01)

G21F 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2007 E 07123684 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2013 EP 1939891**

54 Título: **Procedimientos para operar y procedimientos para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de reactores nucleares**

30 Prioridad:

29.12.2006 US 647432

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

25.07.2013

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 RIVER ROAD
SCHENECTADY, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**HETTIARACHCHI, SAMSON;
VARELA, JUAN ALBERTO y
DIAZ, THOMAS POMPILIO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 415 411 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimientos para operar y procedimientos para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de reactores nucleares

Antecedentes5 **Campo**

Las realizaciones a modo de ejemplo se refieren a procedimientos para operar reactores nucleares y a procedimientos para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de reactores nucleares. Adicionalmente, las realizaciones a modo de ejemplo se refieren a procedimientos para la liberación controlada de radionucleidos a partir de al menos una superficie interna de reactores nucleares.

10 **Descripción de la Técnica Relacionada**

Generalmente, los reactores nucleares crean calor a través de la fisión de uno o más elementos pesados seleccionados en un núcleo de reactor. Normalmente, el procedimiento de fisión se mantiene por medio de neutrones térmicos. En muchos reactores, se usa agua como refrigerante (es decir, para retirar calor del núcleo de reactor) y/o un moderador (es decir, para reducir el nivel de energía de los neutrones de alta energía). Dichos reactores incluyen, por ejemplo, reactores de agua ligera (es decir, un reactor de agua de ebullición ("BWR") y un reactor de agua presurizada ("PWR")) y reactores de agua pesada (es decir, CANDU).

15 Debido a las temperaturas (es decir, hasta aproximadamente 385 °C) y/o presiones extremas (es decir, hasta aproximadamente 24,8 MPa (3600 psia)) implicadas, la pureza del agua de reactor es una cuestión importante. Las mediciones normalizadas de la pureza del agua del reactor incluyen pH, conductividad y/o sólidos disueltos, entre otros.

20 Los materiales usados para construir reactores incluyen acero al carbono, Inconel, acero inoxidable, Stellite y/o otros metales. Con el tiempo, la corrosión y/o el daño de estos materiales de construcción aumentan la concentración de impurezas solubles (iónicas) y/o impurezas insolubles (denominadas en la presente solicitud "lodo de corrosión") en el agua del reactor. Estas impurezas solubles y/o insolubles pueden incluir cromo elemental (Cr), cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn) y/o níquel (Ni) a partir de los metales comentados anteriormente.

30 Cuando estos elementos se someten a niveles elevados de radiación - tal como cuando están en el núcleo del reactor o en las superficies dentro del núcleo - se pueden convertir en radioactivos (es decir, ⁵¹Cr, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵⁹Fe, ⁵⁴Mn). Posteriormente, estos elementos radioactivos de las impurezas solubles y/o insolubles pueden terminar en las superficies de fuera del núcleo. Cuando se para el reactor para el mantenimiento, los niveles de radiación provocados por estos elementos radioactivos sobre las superficies fuera del núcleo pueden presentar dificultades debido a los controles de exposición del personal a la radiación, generalmente medida en Man-Rem. Se ha estimado que un Man-Rem (0,01 Sv) de exposición a la radiación se traduce en un coste de al menos 20.000 dólares. Debido a su largo período de semidesintegración (aproximadamente 5,27 años) los niveles de radiación debidos a ⁶⁰Co pueden presentar un problema particularmente molesto.

35 Cuando se para el reactor, se pueden retirar las impurezas solubles y/o insolubles radioactivas por medio de procedimientos mecánicos, químicos y/o electrofíticos para reducir los niveles de radiación después de la parada. Cada uno de estos procedimientos está limitado por el coste, la duración de tiempo necesario para la realización, el potencial para dañar el reactor (es decir, debido al uso de sustancias químicas ácidas y/o corrosivas), la eficacia inmediata para reducir los niveles de radiación y/o la eficacia de larga duración en cuanto a la reducción de los niveles de radiación (en muchos casos, los resultados son únicamente temporales).

45 La Figura 1 es un gráfico que muestra un ejemplo de la eficacia de larga duración de la descontaminación, como se ha comentado anteriormente. La Figura 1 muestra el efecto de la descontaminación en forma de tasa de dosificación de tubería de recirculación del reactor (en milirem/hora ("mR/h")) frente al tiempo operacional de planta (en años). En este caso, se descontaminó la tubería de recirculación prácticamente después de cada parada (como viene indicado por medio de las caídas agudas de la tasa de dosificación de la tubería de recirculación). No obstante, después de cada descontaminación, la tasa de dosificación de la tubería de recirculación volvió a los niveles propios de antes de la descontaminación tras el arranque y la operación del reactor.

50 Cuando el reactor se encuentra en funcionamiento, se pueden retirar las impurezas solubles y/o insolubles radioactivas, al menos en parte, por medio de uno o más agentes de desmineralización, filtros, intercambiadores iónicos y/o otros dispositivos (denominados colectivamente en la presente solicitud como Sistema de Limpieza de Agua del Reactor ("RWCS")). Los RWCS son conocidos por el experto en la materia.

55 Además de, o como alternativa, cuando el reactor se encuentra en operación, la acumulación de impurezas solubles y/o insolubles radioactivas y/o la deposición de impurezas solubles y/o insolubles radioactivas sobre las superficies de dentro del núcleo (donde se encuentran sometidas a niveles elevadas de radiación) se puede inhibir o evitar sustancialmente por medio de la adición de sustancias químicas específicas al agua del reactor. Se comenta la

adición de dichas sustancias químicas, por ejemplo, en las patentes de Estados Unidos N° 4.722.823 ("la patente 823"), 4.756.874 ("la patente 874"), 4.759.900 ("la patente 900"), 4.950.449 ("la patente 449"), 5.245.642 ("la patente 642") y 5.896.433 ("la patente 433").

5 Estas sustancias químicas y/o agua de formación se pueden añadir a través de uno o más sistemas de circulación, carga y/o equivalentes (denominados colectivamente en la presente solicitud como Sistema de Agua de Circulación ("CWS")). Los CWS son conocidos por el experto en la materia.

Sumario

10 Las realizaciones a modo de ejemplo proporcionan procedimientos para operar reactores nucleares. También, las realizaciones a modo de ejemplo proporcionan procedimientos para reducir los niveles de radiación después de la parada de los reactores nucleares. Adicionalmente, las realizaciones a modo de ejemplo proporcionan procedimientos para liberar radionucleidos controlados a partir de al menos una superficie interna de los reactores nucleares. Además, las realizaciones a modo de ejemplo proporcionan procedimientos para controlar la química del agua en los reactores nucleares.

15 En una realización a modo de ejemplo, un procedimiento para operar un reactor nuclear incluye añadir una o más sustancias químicas al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor, o antes y durante la parada del reactor. Una o más sustancias químicas provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor.

Una o más sustancias químicas también provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor.

20 En realizaciones a modo de ejemplo, los procedimientos para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de un reactor nuclear incluyen añadir uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales e iones metálicos, metales y compuesto metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos o metales, iones metálicos, y compuestos metálicos al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor o antes y durante la parada del reactor, donde uno de los metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales e iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos, y compuestos metálicos comprende platino que tiene una concentración en el agua del reactor que es mayor o igual a 1 parte por billón y menor o igual que aproximadamente 75 partes por billón.

30 La concentración de metales adicionales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales e iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual que aproximadamente 1 ppb y menor o igual que aproximadamente 900 ppb. Alternativamente, la concentración de los metales adicionales o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales e iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual que aproximadamente 1 ppb y menor o igual que aproximadamente 10 ppm. Uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales e iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos puede incluir además de platino uno o más de aluminio, cerio, cromo, oro, hafnio, indio, iridio, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, niobio, osmio, paladio, potasio, rodio, rutenio, sodio, tántalo, terbio, estaño, titanio, tungsteno, vanadio, itrio y circonio.

40 En las realizaciones a modo de ejemplo, el procedimiento controla la liberación de radionucleidos a partir de al menos una superficie interna de un reactor nuclear. Una o más sustancias químicas, que incluyen platino provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo, dentro del núcleo o fuera del núcleo y dentro del núcleo, del reactor al interior del agua del reactor.

Breve Descripción de los Dibujos

45 Se comprenderá completamente la presente invención a partir de la descripción detallada proporcionada a continuación y los dibujos adjuntos, donde elementos similares vienen representados por números de referencia similares, que se proporcionan únicamente a modo de ilustración y de este modo son no limitantes de la presente invención y donde:

La Figura 1 es un gráfico que muestra un ejemplo de la eficacia de larga duración de la descontaminación.

50 La Figura 2 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ^{58}Co y ^{60}Co de acuerdo con una realización a modo de ejemplo;

La Figura 3 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ^{51}Co de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 2;

La Figura 4 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ^{54}Mn de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 2;

55 La Figura 5 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ^{59}Fe de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 2;

La Figura 6 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de

⁵⁸Co y ⁶⁰Co de acuerdo con otra realización a modo de ejemplo;

La Figura 7 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ⁵¹Cr de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 6;

5 La Figura 8 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ⁵⁴Mn de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 6;

La Figura 9 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancias químicas sobre la actividad de ⁵⁹Fe de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 6; y

La Figura 10 es un gráfico que muestra un ejemplo de la eficacia del procedimiento de las Figuras 2-5.

Descripción detallada de las realizaciones a modo de ejemplo

10 Ahora se describirán más completamente las realizaciones a modo de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos. No obstante, las realizaciones se pueden llevar a cabo de diferentes formas y no deberían interpretarse como que están limitadas a las realizaciones a modo de ejemplo explicadas en el presente documento. En lugar de ello, se proporcionan estas realizaciones a modo de ejemplo de manera que la presente divulgación sea amplia y completa, y exprese completamente el alcance a los expertos en la materia.

15 Según se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualesquiera y todas las combinaciones de una o más de las cuestiones listadas asociadas.

20 Se entenderá que, aunque se pueden usar los términos primero, segundo, tercero, etc., en el presente documento para describir varios elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones, estos elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones no deberían limitarse a estos términos. Estos términos únicamente se usan para distinguir un elemento, componente, región, capa o sección de otro elemento, componente, región, capa o sección. De este modo, un primer elemento, componente, región, capa o sección comentado a continuación podría ser denominado como un segundo elemento, componente, región, capas o sección, sin alejarse de las consideraciones de las realizaciones a modo de ejemplo.

25 La terminología usada en el presente documento es únicamente con fines de describir realizaciones a modo de ejemplo particulares y no se pretende que sea limitante. Según se usa en el presente documento, se pretende que las formas singulares "un", "una", "el" y "la" incluyan también las formas en plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Debe entenderse además que los términos "comprende", "comprender", "incluye" y/o "incluir", cuando se usan en el presente documento descriptiva, especifican la presencia de características afirmadas, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes, pero no excluyen la presencia o la adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes.

30 A menos que se defina lo contrario, todos los términos (incluyendo los términos técnicos y científicos) usados en el presente documento tienen el mismo significado que el que se comprende comúnmente por parte del experto en la materia a la cual pertenecen las realizaciones a modo de ejemplo. Además debe entenderse que los términos, tales como los definidos en los diccionarios comúnmente usados, deben interpretarse como que tienen un significado que es coherente con su significado en el contexto de la materia relevante y no debería interpretarse en un sentido idealizado o demasiado formal a menos que se defina expresamente en el presente documento.

35 Ahora se hará referencia a las realizaciones a modo de ejemplo, que se ilustran en los dibujos adjuntos, donde los números de referencia aluden a componentes similares a lo largo del documento.

40 En una realización a modo de ejemplo, un procedimiento de operación de un reactor nuclear incluye añadir una o más sustancias químicas al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor, o antes y durante la parada del reactor, donde una o más sustancias químicas provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor.

45 Además de platino (Pt), una o más sustancias químicas pueden incluir, por ejemplo, uno o más de los siguientes metales (o iones o compuestos de los metales): cerio (Ce), oro (Au), hafnio (Hf), indio (In), iridio (Ir), molibdeno (Mo), níquel (Ni), niobio (Nb), osmio (Os), paladio (Pd), rodio (Rh), rutenio (Ru), tántalo (Ta), terbio (Tb), estaño (Sn), titanio (Ti), tungsteno (W), vanadio (V), itrio (Y), cinc (Zn) y circonio (Zr).

50 Además de o como alternativa, una o más sustancias químicas además de platino (Pt), pueden incluir, por ejemplo, uno o más de los siguientes metales (o iones o compuestos de metales): aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), bismuto (Bi), calcio (Ca), lantano (La), magnesio (Mg), potasio (K), renio (Re), escandio (Sc), sodio (Na) y estroncio (Sr).

Además, una o más sustancias químicas pueden incluir uno o más metales no radioactivos (o iones o compuestos de los metales) de la serie de los lantánidos y/o de la serie de los actínidos.

55 Además, una o más sustancias químicas pueden incluir, en cantidades controladas y/o con control de distribución isotópica, uno o más de los siguientes metales (o iones o compuestos de los metales): cromo (Cr), hierro (Fe), y manganeso (Mn).

Además, una o más de las sustancias químicas puede incluir, por ejemplo, uno o más compuestos que incluyen uno o más metales nobles (o iones o compuestos de los metales). Ejemplos incluyen $\text{H}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$, $\text{HNaPt}(\text{OH})_6$, $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ y $\text{Na}_3\text{Rh}(\text{NO}_2)_6$.

5 Además, una o más sustancias químicas pueden incluir, por ejemplo, uno o más compuestos de la forma M_xA_y , en la que A representa uno o más metales aceptables en un entorno de reactor-nuclear-agua (tal como, por ejemplo, cromo, iridio, hierro, manganeso, níquel, niobio, osmio, paladio, platino, potasio, rodio, rutenio, sodio, tántalo, titanio, tungsteno, vanadio, itrio, cinc y/o circonio) y A representa uno o más aniones (tales como, por ejemplo, hidróxido, nitrato, nitrito y/o cualquier otro anión simple o complejo), óxidos, hidróxidos, oxihidróxidos o similares aceptables en un entorno de reactor-nuclear-agua. Ejemplos incluyen óxido de platino (V) ($\text{Pt}(\text{IV})\text{O}_2$), óxido de platino (IV) hidratado ($\text{Pt}(\text{IV})\text{O}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, en la que x es 1-10), acetato de rodio (II) ($\text{Rh}(\text{II})\text{ac}_2$), nitrato de rodio (III) ($\text{Rh}(\text{III})(\text{NO}_3)_3$), óxido de rodio (III) ($\text{Rh}(\text{III})_2\text{O}_3$), óxido de rodio (III)-hidratado ($\text{Rh}(\text{III})_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, en la que x es 1-10), fosfato de rodio (III) ($\text{Rh}(\text{III})\text{PO}_4$) y sulfato de rodio (II) ($\text{Rh}(\text{II})_2(\text{SO}_4)_3$).

Además, una o más sustancias químicas puede incluir, por ejemplo, uno o más compuestos de la forma $(\text{NH}_3)_x\text{M}_y\text{A}_z$, donde M y A se pueden definir como anteriormente. Ejemplos incluyen $(\text{NH}_3)_3\text{Pt}(\text{NO}_3)_2$ y $(\text{NH}_3)_2\text{Pt}(\text{NO}_2)_2$.

15 Además, una o más sustancias químicas pueden incluir, por ejemplo, al menos un compuesto de uno o más aniones y/o más cationes. Por ejemplo, uno o más aniones pueden incluir, un(unos) anión(es) de uno o más de los metales listados anteriormente. Similarmente, uno o más cationes pueden incluir, por ejemplo, un(unos) catión(es) de uno o más metales listados anteriormente. Uno o más aniones y/o uno o más cationes pueden ser, por ejemplo, aceptables en un entorno de reactor-nuclear-agua.

20 Se puede especificar la pureza de una o más de las sustancias, directa o indirectamente. Por ejemplo, el compuesto químico puede comprender $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$, consiste esencialmente en $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ o consiste en $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$.

25 Se puede añadir una o más sustancias químicas al agua del reactor usando, por ejemplo, un CWS. Pero la adición puede ser en cualquier punto del reactor con tal de que la adición se consiga prácticamente y se añadan una o mas sustancias químicas al agua del reactor. Se puede disolver una o más sustancias químicas, por ejemplo, en agua para formar una solución. Además, se pueden diluir una o más sustancias químicas y/o la solución antes de la adición al agua del reactor. Debido al caudal volumétrico grande del agua del reactor, se pueden diluir más una o más sustancias químicas y/o la solución en un factor significativo.

30 Se pueden añadir una o más sustancias al agua de reactor por medio de inyección. La tasa de inyección de una o más sustancias químicas puede ser, por ejemplo, mayor o igual a 1 ml/min y menor o igual a aproximadamente 10 l/min. En una realización a modo de ejemplo, la tasa de inyección de una o más sustancias químicas puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 1 ml/min y menor o igual a aproximadamente 100 ml/min. La tasa de inyección de uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuesto metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 0,1 mg/h y menor o igual a aproximadamente 10 g/h. En una realización a modo de ejemplo, la tasa de inyección de uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 0,4 mg/h y menor o igual a aproximadamente 0,7 g/h.

40 Se puede añadir una o más sustancias químicas al reactor, por ejemplo, antes de la parada, durante la parada y/o tras la parada. Además de o de manera alternativa, se pueden añadir una o más sustancias químicas al reactor, por ejemplo, con una programación temporal específica con respecto a la parada, en momento(s) predeterminado(s), periódicamente, continuamente o como se desee de otro modo.

El platino tiene una concentración en el agua del reactor que es mayor o igual a 1 parte por billón y menor o igual a aproximadamente 75 partes por billón.

45 La concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones a partir de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 o más partes por billón ("ppb"). Además, la concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones a partir de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 o más partes por mil millones ("ppmm"). La concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones a partir de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, menor o igual a aproximadamente 10, 9,5, 9, 8,5, 8, 7,5, 7, 6,5, 6, 5,5, 5, 4,5, 4, 3,5, 3, 2,5, 2, 1,5, 1 o pocas ppmm. Además, la concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, menor o igual a aproximadamente 950, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 75, 50 o pocas ppb.

En una realización a modo de ejemplo, la concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 1 ppb y

menor o igual a aproximadamente 10 ppm. En otra realización a modo de ejemplo, la concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 5 ppb y menor o igual a aproximadamente 5 ppm. En otra realización a modo de ejemplo, la concentración de platino y una o más sustancias químicas (o iones de platino y una o más sustancias químicas) en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 50 ppb y menor o igual a aproximadamente 500 ppb. Realizaciones a modo de ejemplo adicionales incluyen otras combinaciones de las concentraciones "mayor o igual de" y/o "menor o igual de" comentadas anteriormente.

Similarmente, la concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 o más ppb. Además, la concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 o más ppm.

La concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, menor o igual a aproximadamente 10, 9,5, 9, 8,5, 8, 7,5, 7, 6,5, 6, 5,5, 5, 4,5, 4, 3,5, 3, 2,5, 2, 1,5, 1 o pocas ppm. Además, la concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser, por ejemplo, menor o igual a aproximadamente 950, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 75, 50 o pocas ppb.

En una realización a modo de ejemplo, la concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 1 ppt y menor o igual a aproximadamente 10 ppm. En otra realización a modo de ejemplo, la concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 5 ppb y menor o igual a aproximadamente 5 ppm. En otra realización a modo de ejemplo, la concentración de platino y uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 50 ppb y menor o igual a aproximadamente 500 ppb. Otras realizaciones a modo de ejemplo incluyen otras combinaciones de concentraciones "mayor o igual a aproximadamente" y/o "menor o igual a aproximadamente" comentadas anteriormente.

El platino y posiblemente las sustancias químicas provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor. También, el platino y posiblemente las sustancias químicas adicionales pueden provocar la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de dentro del núcleo del reactor al interior del agua del reactor. Una o más sustancias radioactivas pueden incluir, por ejemplo, uno o más de ^{51}Cr , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{59}Fe y ^{54}Mn .

El procedimiento de la realización a modo de ejemplo se puede realizar, por ejemplo, con la energía que genera el reactor y/o se puede conectar a una red eléctrica. De este modo, el procedimiento puede proporcionar una descontaminación "en línea" de la(s) superficie(s) de fuera del núcleo del reactor. Adicionalmente, puede ocurrir que los procedimientos no requieran cambios hasta las condiciones de operación de la planta. En otra realización a modo de ejemplo, un procedimiento para reducir los niveles de radiación después de la parada de un reactor nuclear incluye añadir platino, y puede ser una o más sustancias químicas, al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor, o antes de y durante la parada del reactor. El platino, y puede ser una o más sustancias químicas, provoca la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor.

Al menos algunas de una o más sustancias radioactivas liberadas se pueden retirar del agua del reactor por medio de RWCS. Al menos alguna de una o más sustancias radioactivas liberadas se deposita sobre al menos una superficie de dentro del reactor, tal como las superficies del lodo de corrosión de combustible. Se puede facilitar esta retirada y/o depósito, al menos en parte, por medio de una liberación controlada de una o más sustancias radioactivas.

Debido a que el platino y las posibles sustancias químicas adicionales se pueden añadir al reactor antes de la parada, durante la parada y/o tras la parada, el procedimiento no implica una trayectoria crítica de tiempo relativa a la parada. Adicionalmente, el procedimiento no requiere el uso de otras sustancias químicas ácidas y/o corrosivas. De este modo, el procedimiento puede proporcionar una descontaminación "blanda" de la(s) superficie(s) de fuera del reactor.

5 En otra realización más a modo de ejemplo, un procedimiento para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de un reactor nuclear incluye añadir platino y posiblemente uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor, o antes y durante la parada del reactor. El platino y posiblemente uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor.

10 En otra realización a modo de ejemplo, un procedimiento para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de un reactor nuclear incluye añadir platino y posiblemente uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor, o antes y durante la parada del reactor. La concentración de platino y posiblemente uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 1 ppb y menor o igual a aproximadamente 900 ppb.

20 En otra realización a modo de ejemplo, un procedimiento para reducir los niveles de radiación posteriores a la parada de un reactor nuclear incluye añadir platino y posiblemente uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor, o antes y durante la parada del reactor. La concentración de platino y posiblemente uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos en el agua del reactor puede ser mayor o igual a aproximadamente 1 ppb y menor o igual a aproximadamente 10 ppm. Además de platino, uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales y iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos pueden incluir uno o más de aluminio, cerio, cromo, oro, hafnio, indio, iridio, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, niobio, osmio, paladio, potasio, rodio, rutenio, sodio, tántalo, terbio, estaño, titanio, tungsteno, vanadio, itrio y circonio.

30 En otra realización a modo de ejemplo adicional, el procedimiento para la liberación controlada de radionucleidos a partir de una superficie interna de un reactor nuclear incluye añadir platino y posiblemente una o más sustancias químicas al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor o antes y durante la parada del reactor. El platino y posiblemente una o más sustancias químicas provocan la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor.

35 En una realización a modo de ejemplo, se inyectó una solución de $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ con una concentración que varió entre aproximadamente 60 ppm y aproximadamente 1300 ppm, a una tasa que varió entre aproximadamente 1 ml/min y aproximadamente 100 ml/min, de manera que la tasa de inyección de platino varió entre aproximadamente 0,4 mg/h y aproximadamente 0,7 g/h. La temperatura del reactor fue de aproximadamente 282 °C y la energía del reactor varió entre aproximadamente un 78 % y aproximadamente un 100 %. La concentración máxima de platino y/o iones de platino fue de aproximadamente 20 ppb.

40 En la realización a modo de ejemplo, se diluyó $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ en línea por medio de inyección de la misma en el interior de una corriente de agua antes de la entrada del agua del reactor. Adicionalmente, se inyectó una solución más diluida de $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$, con una concentración que varió entre aproximadamente 0,1 ppm y aproximadamente 67 ppm, en el interior del agua del reactor sin dilución en línea. En ambos casos, la solución de $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ provocó la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor. Dependiendo del grado deseado de dilución antes de la inyección al interior del agua del reactor, la concentración de platino y posiblemente de una o más sustancias químicas (o iones de una o más de las sustancias químicas) y/o la concentración de uno o más metales, iones metálicos, compuestos metálicos, metales e iones metálicos, metales y compuestos metálicos, iones metálicos y compuestos metálicos, o metales, iones metálicos y compuestos metálicos puede ser, por ejemplo, mayor o igual a aproximadamente 10 ppm y menor o igual a aproximadamente 20.000 partes por millón ("ppm").

55 Se capturaron al menos algunas sustancias radioactivas liberadas sobre papel de filtro en forma de partículas insolubles durante el procedimiento de inyección de la sustancia química y posteriormente se permitió la desintegración durante varios días antes de la identificación y se midió la actividad. La actividad liberada (^{58}Co y ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{54}Mn y ^{59}Fe) mostró tendencia con la concentración de la solución de $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ y se controlaron las tasas de dosificación de interrupción de la actividad de la planta del reactor y la interrupción de actividad posterior para determinar el impacto de la liberación isotópica de la tubería de fuera del núcleo sobre las tasas de dosificación de interrupción de actividad. Se observó una correlación entre la concentración de platino y el alcance de la actividad isotópica de los radionucleidos, de manera que la liberación de radionucleidos aumentó con la concentración de platino. Se observó una relación inversa entre la actividad isotópica en el agua de refrigeración y las tasas de dosificación/niveles de radiación durante la interrupción de la actividad, de manera que una mayor actividad

isotópica del agua de refrigeración dio lugar a una menor tasa de dosificación/niveles de radiación durante la interrupción de la actividad. Los procedimientos para la toma de muestras y la medición de la actividad son conocidos por el experto en la materia.

5 La Figura 2 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{58}Co y ^{60}Co (en microcuries/kilogramo (" $\mu\text{Ci}/\text{kg}$ ") de acuerdo con una realización a modo de ejemplo. El carácter de referencia 20 indica el gráfico de la concentración de platino y/o iones de platino, el carácter de referencia 22 indica el gráfico de la actividad de ^{58}Co , y el carácter de referencia 24 indica el gráfico de la actividad de ^{60}Co de acuerdo con el ejemplo de la realización de la Figura 2. La Figura 3 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{51}Cr de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la Figura 2. El carácter de referencia 30 indica el gráfico de la concentración de platino y/o iones de platino, y el carácter de referencia 32 indica el gráfico de la actividad de ^{51}Cr . La Figura 4 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{54}Mn de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 2. El carácter de referencia 40 indica el gráfico de concentración de platino y/o iones de platino, y el carácter de referencia 42 indica el gráfico de actividad de ^{54}Mn . La Figura 5 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{59}Fe de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 2. El carácter de referencia 50 indica el gráfico de la concentración de platino y/o iones de platino, y el carácter 52 indica el gráfico de la actividad de ^{59}Fe .

20 Como se puede observar en las Figuras 2-5, la liberación de una o más sustancias activas a partir de al menos una superficie fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor está correlacionada con la concentración de platino y/o iones de platino. También, como se ha comentado anteriormente, la liberación de al menos una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de dentro del núcleo del reactor al interior del agua del reactor está correlacionada con la concentración de platino y/o iones de platino. Ambas se discuten a continuación con respecto a la Figura 10.

25 Los marcajes de actividad los días 6 y 8 corresponden a aumentos de la energía del reactor en esos días. Estos aumentos pueden indicar que la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor es más pronunciada a niveles elevados de energía del reactor. Esto puede reflejar un flujo elevado y/o un flujo término a niveles elevados de energía del reactor.

30 En otra realización a modo de ejemplo, se inyectó una solución de $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ con una concentración que varió entre aproximadamente 60 ppm y aproximadamente 1300 ppm, a una tasa que varió entre aproximadamente 1 ml/min y aproximadamente 100 ml/min, de manera que la tasa de inyección de platino varió entre aproximadamente 0,4 mg/h y aproximadamente 0,7 mg/h. La temperatura del reactor fue de aproximadamente 282 °C y la energía del reactor fue de aproximadamente un 100 %. La concentración máxima de platino y/o iones de platino fue de aproximadamente 43 ppb.

35 La Figura 6 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{58}Co y ^{60}Co de acuerdo con otra realización a modo de ejemplo. El carácter de referencia 60 indica el gráfico de la concentración de platino y/o los iones de platino, el carácter de referencia 62 indica el gráfico de la actividad de ^{58}Co , y el carácter de referencia 64 indica el gráfico de la actividad de ^{60}Co . La Figura 7 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{51}Cr de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 6. El carácter de referencia 70 indica el gráfico de la concentración de platino y/o iones de platino, y el carácter de referencia 72 indica el gráfico de la actividad de ^{51}Cr . La Figura 8 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{54}Mn de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 6. El carácter de referencia 80 indica el gráfico de la concentración de platino y/o iones de platino, y el carácter de referencia 82 indica el gráfico de la actividad de ^{54}Mn . La Figura 9 es un gráfico que muestra el efecto de la inyección de sustancia química sobre la actividad de ^{59}Fe de acuerdo con la realización a modo de ejemplo de la Figura 6. El carácter de referencia 90 indica el gráfico de la concentración de platino y/o iones de platino, y el carácter de referencia 92 indica el gráfico de la actividad de ^{59}Fe .

50 Como se puede observar en las Figuras 6-9, la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor está correlacionada con la concentración de platino y/o iones de platino. También, la liberación de una o más sustancias radioactivas a partir de al menos una superficie de dentro del núcleo del reactor al interior del agua del reactor está correlacionada con la concentración de platino y/o iones de platino.

55 La Figura 10 es un gráfico que muestra un ejemplo de la eficacia del procedimiento de las Figuras 2-5. La Figura 10 muestra el efecto de la descontaminación sobre la tasa de dosificación media de interrupción de actividad (en mR/h) frente al período de control (en años). Usando el(los) procedimiento(s) descrito(s), la tasa 102 de dosificación media medida y calculada de interrupción de actividad puede ser menor que la tasa 100 de dosificación media esperada de interrupción de actividad. Esto puede ser debido a la liberación de una o más sustancia radioactivas a partir de al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor al interior del agua del reactor (y la posterior retirada del agua del reactor por medio de RWCS y/o deposición sobre al menos una superficie de dentro del núcleo del reactor). No obstante, la tasa 102 de dosificación media medida y calculada de interrupción de actividad puede no ser tan baja como cabría esperar de otro modo. Esto puede ser debido a la liberación de una o más sustancias radioactivas a

partir de al menos una superficie de dentro del núcleo del reactor al interior del agua del reactor (y la posterior retirada incompleta del agua del reactor por medio de RWCS y/o deposición sobre al menos una superficie de fuera del núcleo del reactor).

5 En otra realización a modo de ejemplo, se inyectó una solución de $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$, con una concentración que varió entre aproximadamente 0,8 ppm y aproximadamente 1,2 ppm, a una tasa que varió entre aproximadamente 0,8 ml/min y aproximadamente 3,5 ml/min, de manera que la tasa de inyección de platino varió entre aproximadamente 500 mg/h y aproximadamente 2 g/h. La temperatura del reactor fue de aproximadamente 280 °C y la energía del reactor varió entre aproximadamente un 95 % y aproximadamente un 100 %. La concentración máxima de platino y/o iones de platino fue de aproximadamente 98 ppb, medida directamente, y de aproximadamente 220 ppb tras la 10 digestión para disolver todo el lodo de corrosión.

Aunque se han mostrado y se han descrito particularmente las realizaciones a modo de ejemplo, se entenderá, por parte de los expertos en la materia, que se pueden realizar diferentes cambios en la forma y los detalles de las realizaciones a modo de ejemplo sin alejarse del alcance de la presente invención que se define en las siguientes reivindicaciones.

15

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para reducir los niveles de radiación después de la parada en un reactor nuclear, presentando el procedimiento las etapas de

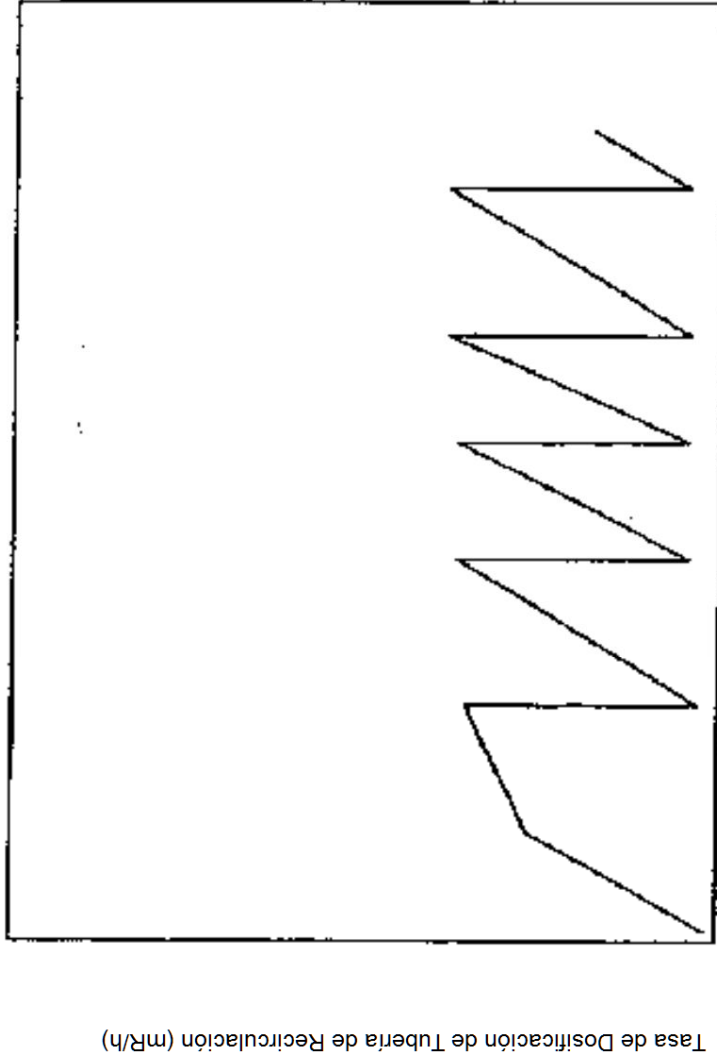
5 añadir una o más sustancias químicas al agua del reactor antes de la parada del reactor, durante la parada del reactor o antes y durante la parada del reactor;
 provocando una o más sustancias químicas la liberación de una o más sustancias radioactivas desde al menos una superficie fuera del núcleo del reactor hacia el interior del agua del reactor;

10 presentando la al menos una sustancia química platino, y
 teniendo el platino una concentración en el agua del reactor que es mayor o igual a 1 parte por billón (10^{12}) y menor o igual a aproximadamente 75 partes por billón; **caracterizado porque** al menos algunas de una o más sustancias radioactivas liberadas son depositadas sobre al menos una superficie dentro del núcleo del reactor.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la una o más sustancias químicas se añaden al agua del reactor:

15 antes y después de la parada del reactor;
 durante y después de la parada del reactor; o
 antes de, durante y después de la parada del reactor.

3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, en el que al menos alguna de la una o más sustancias radioactivas liberadas es retirada del agua del reactor por medio de un sistema de limpieza de agua del reactor.



Tiempo de Operación de Planta (años)

FIG. 1

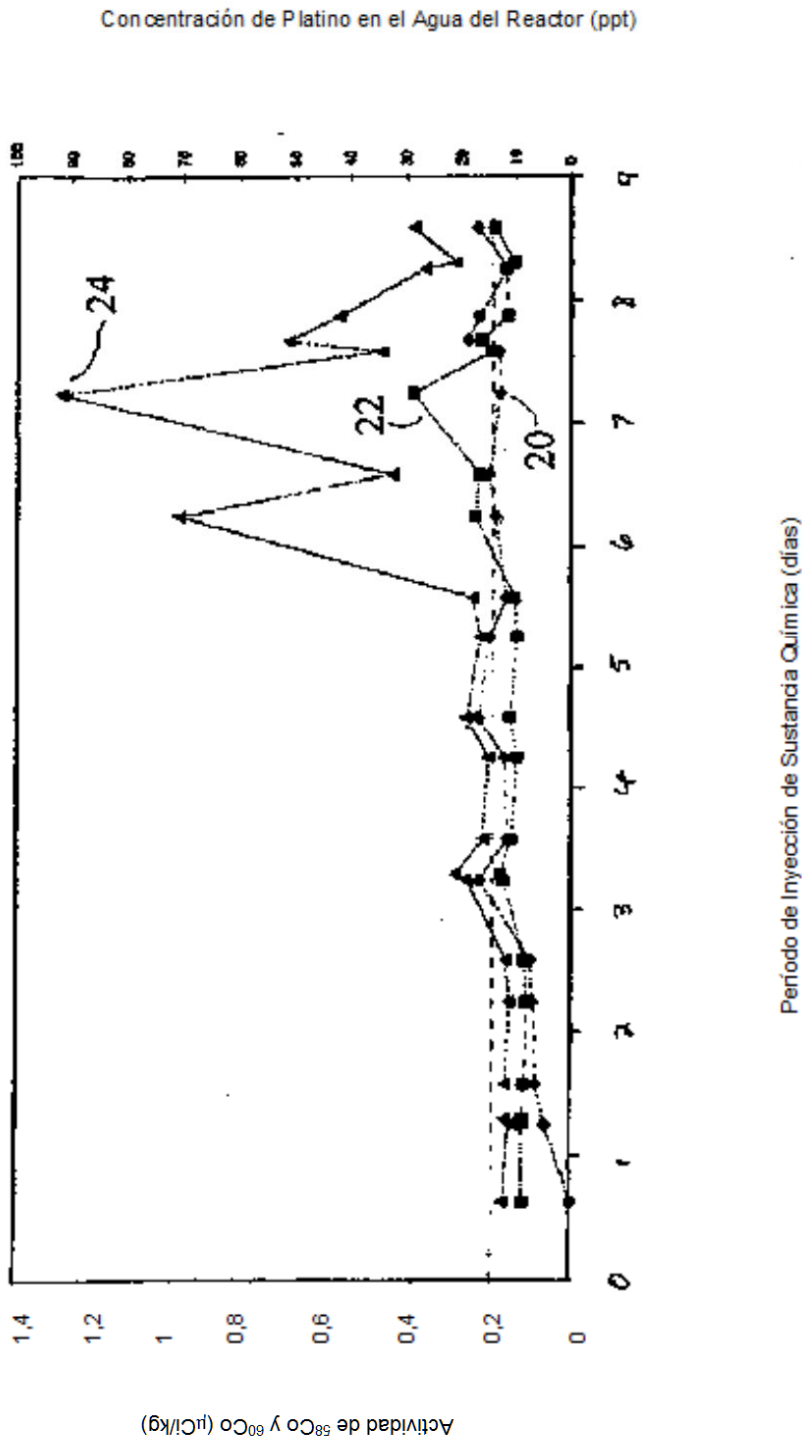
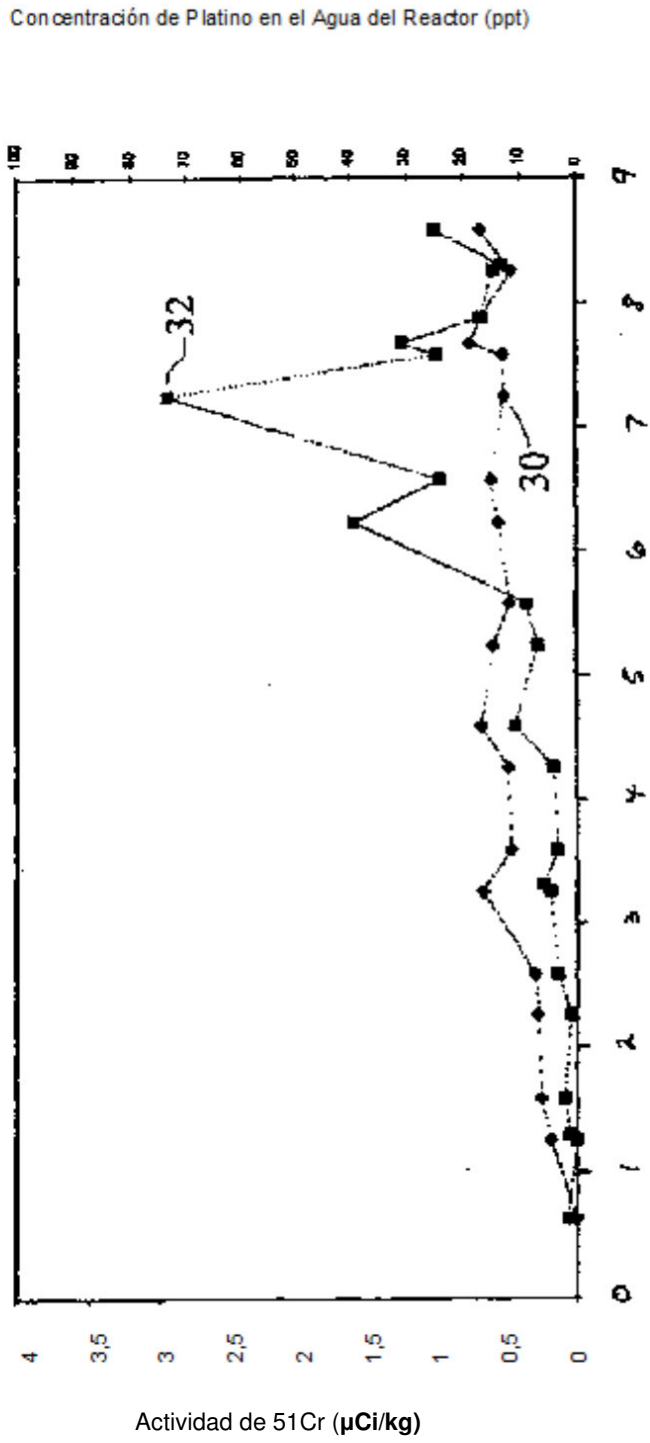


FIG. 2



Período de Inyección de Sustancia Química (días)

FIG. 3

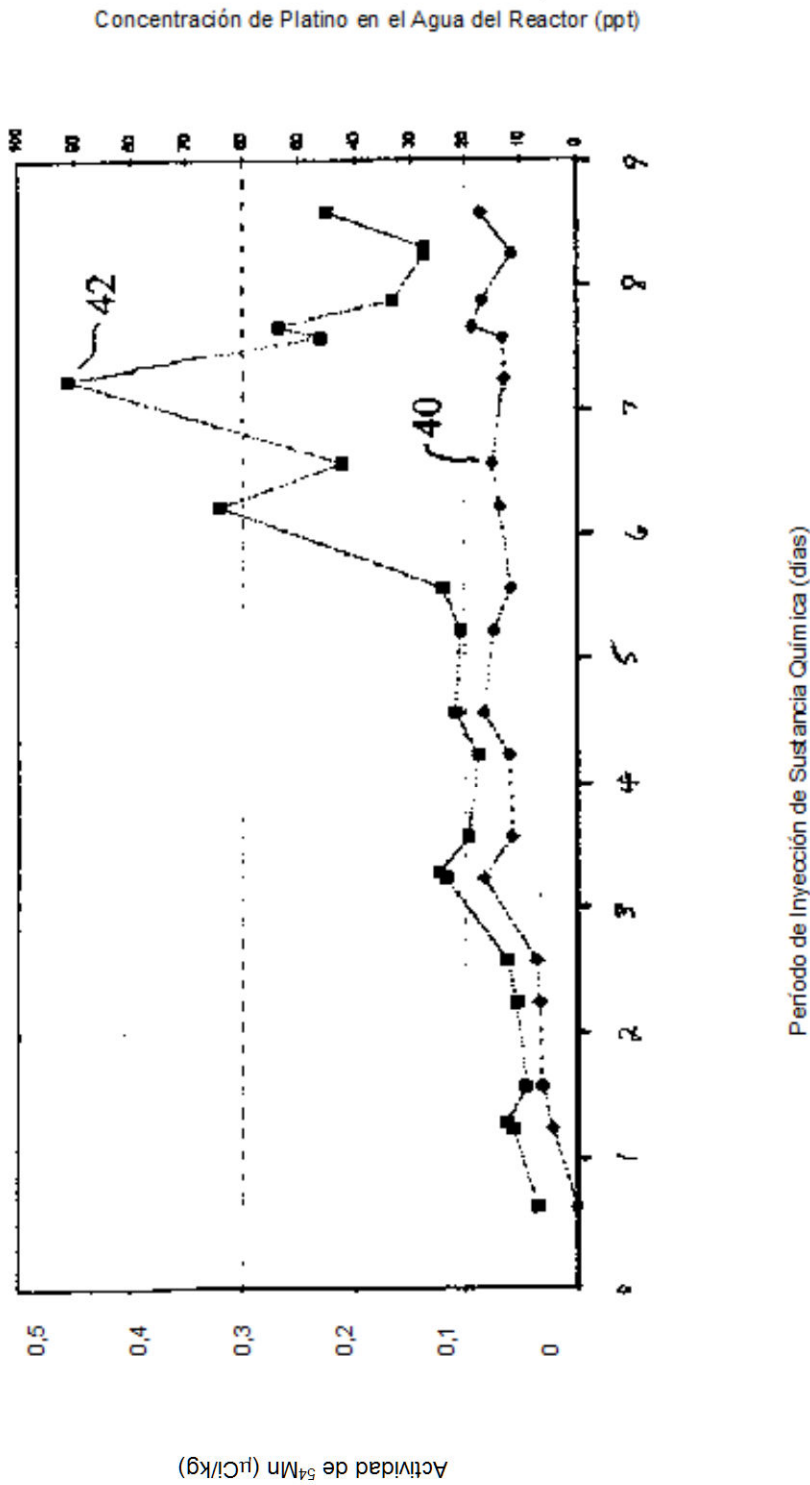


FIG. 4

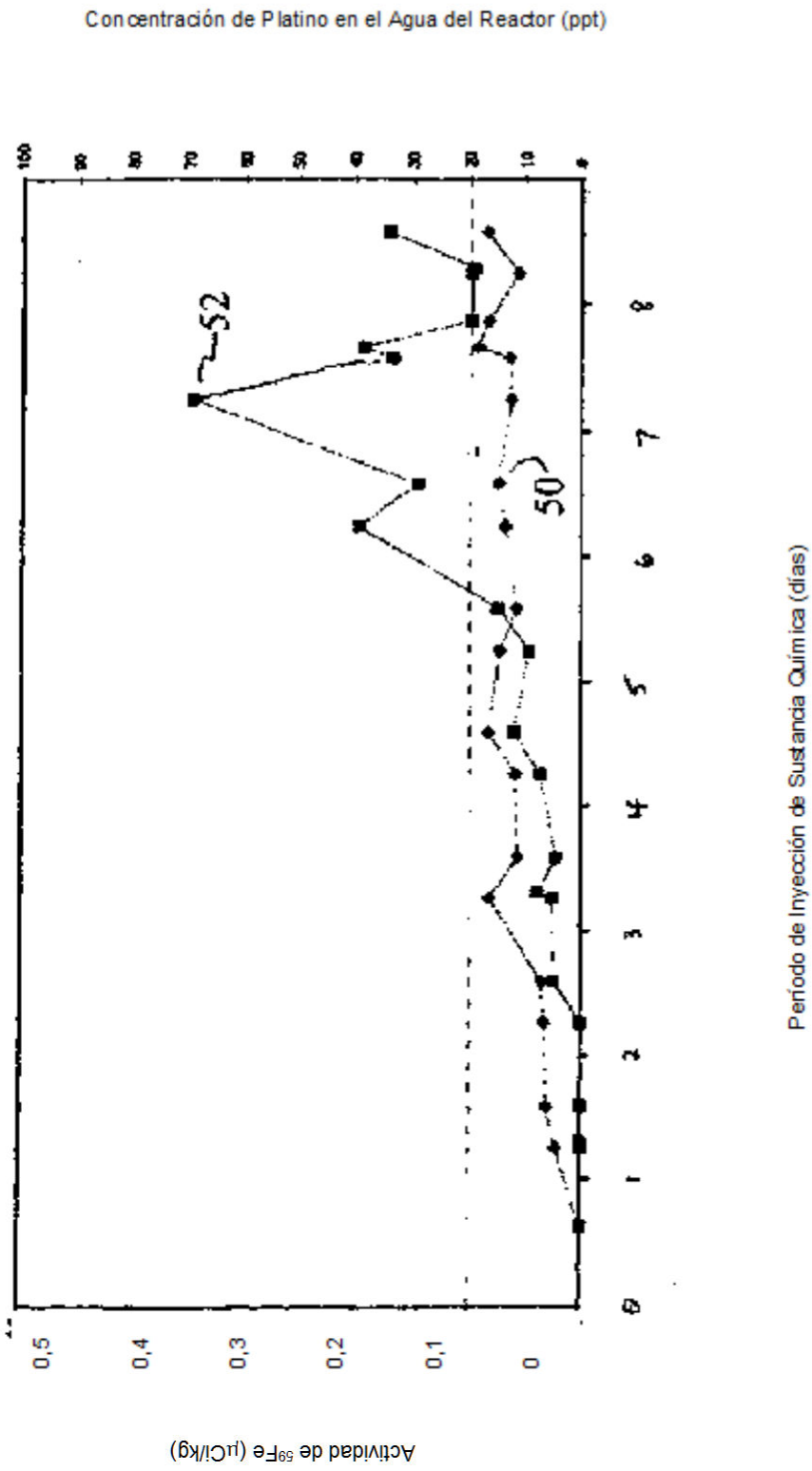
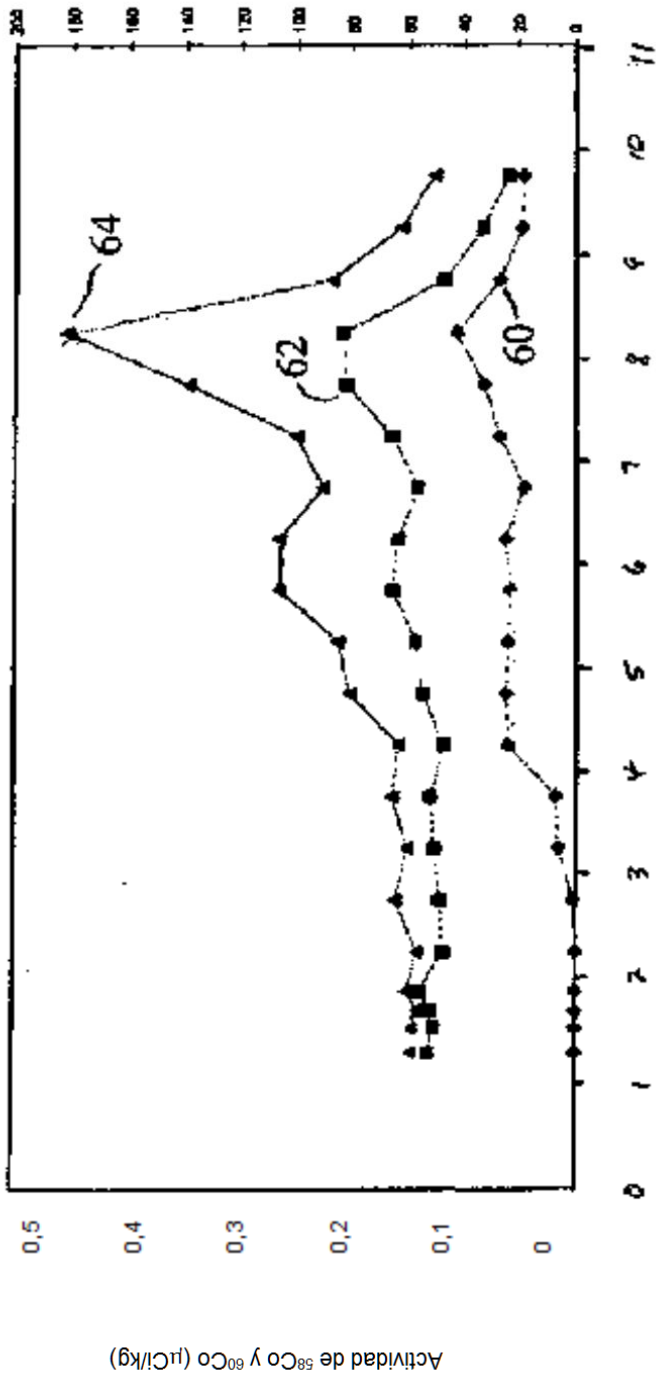


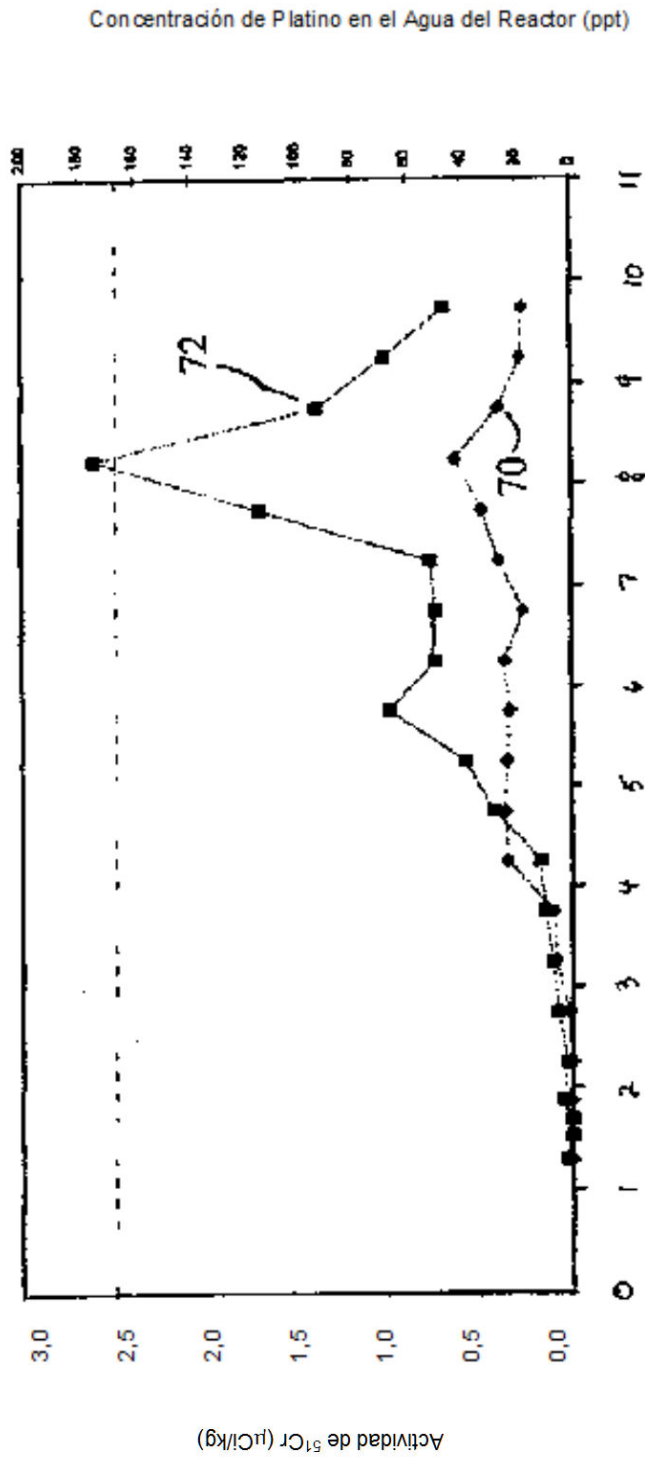
FIG. 5

Concentración de Platino en el Agua del Reactor (ppt)



Período de Inyección de Sustancia Química (días)

FIG. 6



Período de Inyección de Sustancia Química (días)

FIG. 7

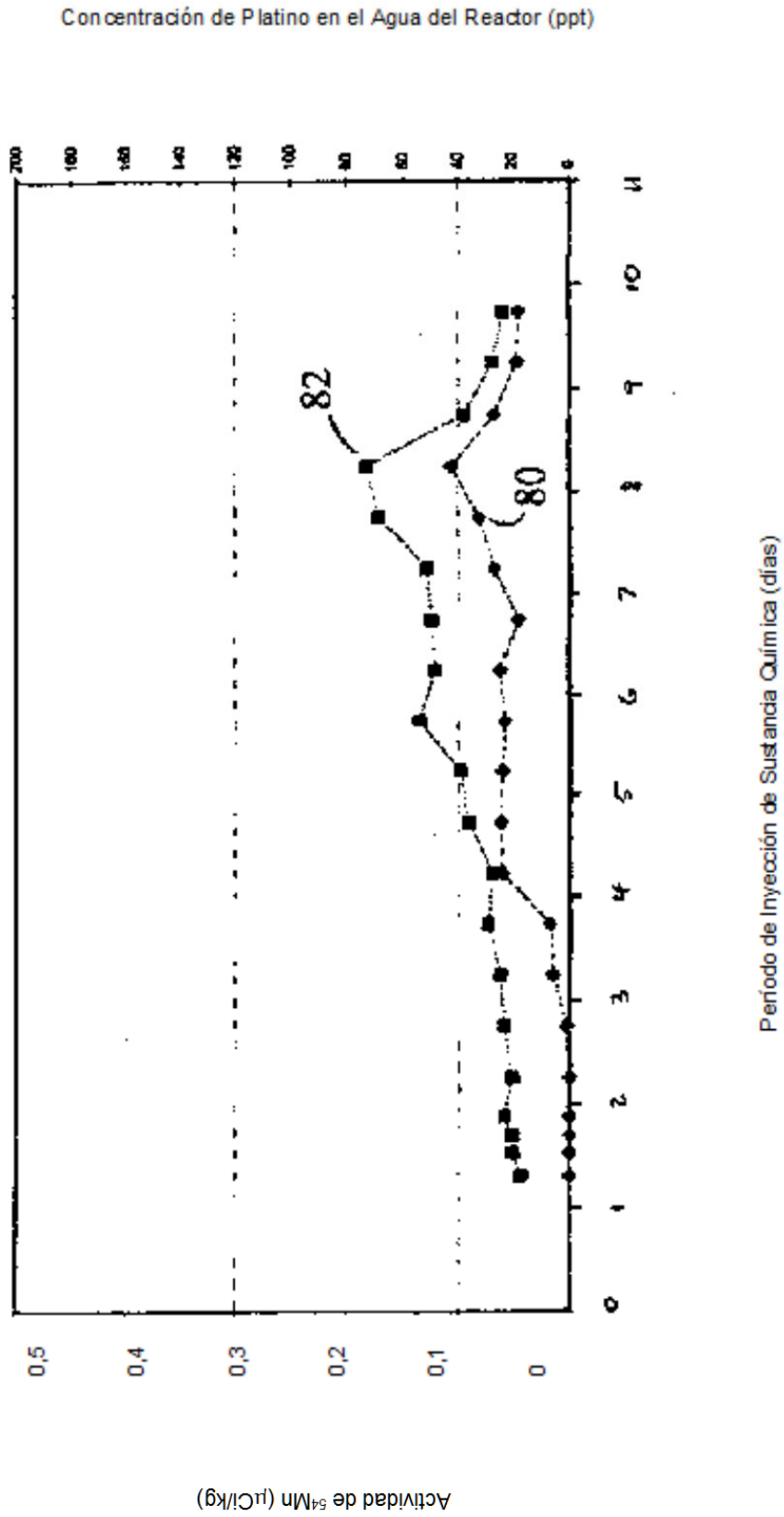
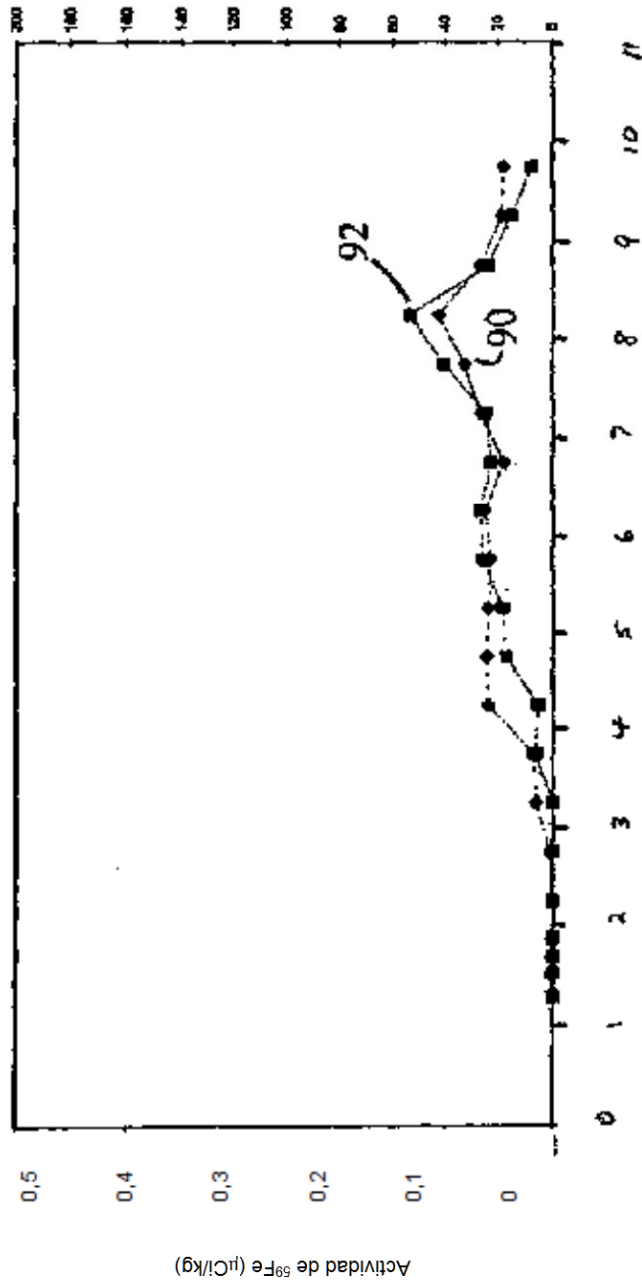


FIG. 8

Concentración de Platino en el Agua del Reactor (ppt)



Período de Inyección de Sustancia Química (días)

FIG. 9

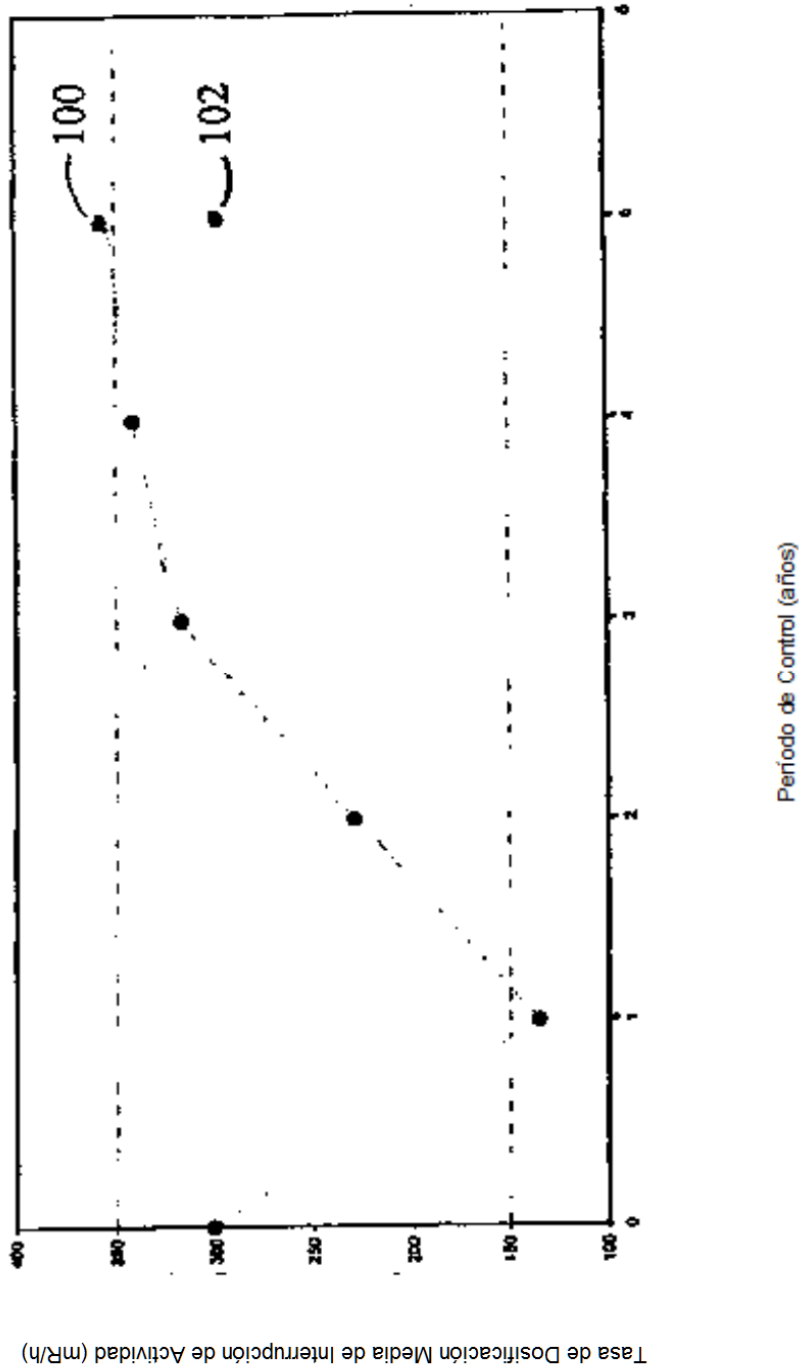


FIG. 10