

Tratamiento de residuos radiactivos líquidos en el accidente nuclear de Fukushima

Mario Mallaupoma*

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Todo accidente radiológico o nuclear genera desechos radiactivos con características muy diferentes en cuanto a actividad, actividad específica, volúmenes, tasas de dosis, nivel de toxicidad, entre otros. Existen muchos métodos de tratamiento, pero se busca utilizar aquel con los cuales se puedan obtener altos factores de descontaminación. En el presente trabajo se reporta y analiza el sistema de tratamiento de los líquidos radiactivos altamente radiactivos y salinos que se produjeron en el accidente nuclear de Fukushima (Japón), ocurrido el 11 de marzo del 2011. De acuerdo con los reportes técnicos elaborados por el OIEA se estimó en 110000 toneladas de agua con niveles de contaminación de 1 Ci/L.

Abstract

All radiological or nuclear accident produce radioactive wastes with very different characteristics in terms of activity, specific activity, volumes, dose rates, level of toxicity, among others. In this paper the system for the treatment of highly radioactive liquid waste, generated by the Fukushima nuclear accident, which occurred on March 11th, 2011, in Japan, is analyzed. The overall water inventory was estimated at around 110000 tons of water, with contamination levels up to the order of 1 Ci/L.

1. Introducción

Toda actividad donde se trabaja con material radiactivo genera desechos radiactivos con diferentes características. Cuando se producen accidentes radiológicos o nucleares con liberación de material radiactivo, las cantidades y volúmenes de desechos radiactivos resultan ser mucho mayores, presentando un problema técnico cuando se deben realizar las acciones de remediación y descontaminación, los volúmenes pueden ser muy significativos si no se adoptan medidas técnicas que puedan contrapesar una definición conservadora sobre nivel de contaminación. En ese sentido, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha realizado algunas publicaciones a fin de clarificar principios y criterios para poder aislar el material que realmente constituye un desecho radiactivo, definiendo conceptos como “material exento” (material que no requiere estar sometido a control radiológico) y “clearance level” (material que puede ser liberado o aceptado como material que pudiera ser recuperado o reutilizado, sin considerarlo como desecho radiactivo, debido a que su nivel de concentración de actividad es bajo y no representa riesgos inaceptables para la población). En este caso se debe de

tener en cuenta que todos los materiales existentes en la naturaleza tienen un contenido de material radiactivo en forma natural, por lo tanto sería imposible considerar que el nivel de descontaminación de los residuos radiactivos líquidos pueda llegar a tener nivel cero de radiación.

También en el proceso de descontaminación se debe de tener en cuenta las características específicas de los desechos radiactivos líquidos producidos, contaminantes radiactivos existentes, actividad específica, niveles de tasas de dosis, entre otros. En el caso del accidente nuclear de Fukushima Dai-Ichi, algunas consideraciones asociadas con las características de los desechos radiactivos permiten identificar algunas acciones a realizar: El tipo de residuos líquidos presentes con un alto contenido salino, resultante del agua de mar que inundó las instalaciones. De igual manera, la presencia de líquidos contaminados con alta actividad específica debido a que parte de los líquidos estuvo en contacto con elementos combustibles gastados y que se encontraban almacenados al interior de la instalación. También se identificó que los volúmenes de

* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

residuos líquidos podían incrementarse en forma significativa debido a que se avecinaba la época de lluvias. Estas consideraciones iban a complicar los aspectos de descontaminación de los residuos líquidos radiactivos, siendo el cesio-137 el principal contaminante identificado, elemento químico que no resulta fácil de separar [1].

Las técnicas de tratamiento disponibles para residuos líquidos consideran la precipitación química, la separación por intercambio iónico y el de evaporación. Cada uno de ellos presenta diferentes factores de descontaminación (FD), el cual se define como la relación de la concentración de los contaminantes presentes en los residuos líquidos antes del tratamiento entre la concentración de actividad después del correspondiente tratamiento. De allí que se prefiera las técnicas que presentan mayor FD. En forma gradual se puede decir, que el FD de la evaporación es mayor que la de intercambio iónico y ésta a su vez es mayor que en el caso de la precipitación química; sin embargo, existen algunas restricciones que afectan la aplicación de una de las técnicas, como son el contenido salino, presencia de aceites o la necesidad de lograr la descontaminación de un elemento radiactivo específico. También están los costos asociados y la disponibilidad para su mejor utilización; por eso, —generalmente— se utilizan los tres métodos indicados, tratamiento químico, intercambio iónico y evaporación, aunque en una secuencia que permita obtener los mejores factores de descontaminación [2]. La primera técnica a utilizar es el tratamiento químico, sobre todo cuando los desechos radiactivos líquidos presentan alto contenido salino y sólidos en suspensión. El 27 de marzo la empresa Tokyo Electric Power Company (TEPCO) y el gobierno japonés solicitaron el apoyo internacional para atender el requerimiento de tratamiento inicial de los desechos radiactivos líquidos. La empresa AREVA con su socio VEOLIA respondieron al pedido.

2. Metodología

En el presente trabajo se hace un análisis de las técnicas de tratamiento utilizadas para lograr la descontaminación de los desechos radiactivos líquidos y la reutilización de las

aguas descontaminadas en el enfriamiento de las centrales nucleares y del almacén de elementos combustibles gastados. Previamente se hace una descripción de los residuos líquidos generados [3].

2.1 Características de los desechos radiactivos líquidos

- Alto contenido salino.
- Contenido alto de sólidos en suspensión.
- Concentración de actividad bastante diferenciada.
- El concepto usado con las aguas descontaminadas fue que estas pudieran ser reutilizadas para continuar con el enfriamiento de los reactores nucleares.

2.2 Técnica de tratamiento utilizada

La técnica de tratamiento empleado convocó a la comunidad científica tecnológica internacional para resolver este problema que resultaba ser un elemento clave para reducir los impactos.

La empresa japonesa TEPCO diseñó un sistema de tratamiento de varias etapas que comprendió:

- Extracción de aceite (empresa TOSHIBA)
- Pre tratamiento (empresa KURION)
- Descontaminación (empresa AREVA – VEOLIA)
- Desalinización (HITACHI, AREVA-VEOLIA y TOSHIBA).

Las etapas y secuencia del tratamiento de los residuos líquidos altamente radiactivos, producidos en la central Fukushima Dai-Ichi, se muestra en la Figura 1.

Desde el punto de vista de la ingeniería química, todo el diseño del sistema de descontaminación debe tener en cuenta, como aspecto medular, la identificación de los aspectos técnicos de la química que permitan orientar de mejor manera la favorabilidad de determinadas reacciones químicas de interés. En el caso de la química, se debe de establecer los mecanismos de reacción que permitan una separación adecuada de los contaminantes.

Está claro que en estas condiciones resulta fundamental contar con los conocimientos, habilidades y experiencia que permita obtener los resultados esperados.

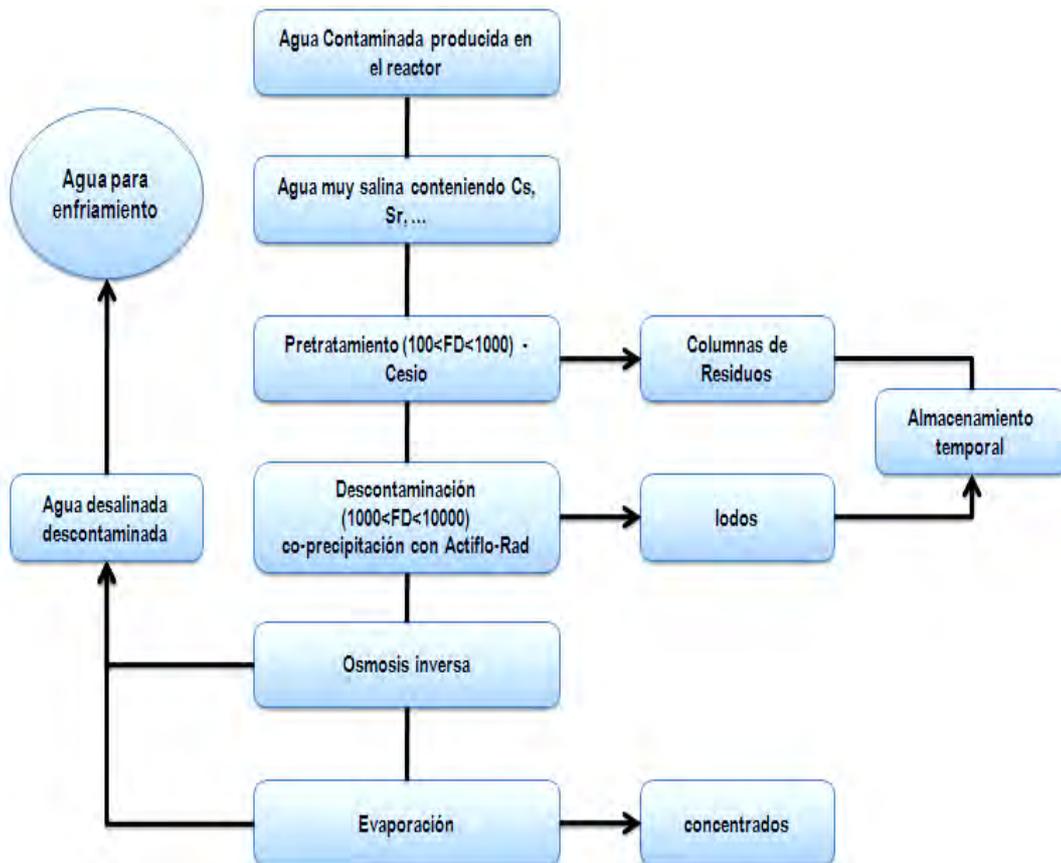


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de descontaminación de residuos radiactivos líquidos.

El accidente de la central nuclear de Fukushima Dai Ichi movilizó la alta tecnología disponible en los países abanderados del desarrollo tecnológico nuclear, como Francia y Alemania, con equipos técnicos trabajando las 24 horas y con un alto compromiso para lograr el objetivo medular, que era instalar en tiempo record, las unidades de descontaminación de residuos líquidos, cuya composición era muy heterogénea y con actividad alta, para evitar que se desbordaran hacia el océano, originando descargas muy altas de actividad con múltiples contaminantes. El otro objetivo era el de reutilizar las aguas descontaminadas para continuar con el enfriamiento de las unidades nucleares.

2.3 Proceso químico

Las etapas del procesamiento de los líquidos contaminados siguieron una secuencia química lógica y coherente. Las etapas que se consideraron fueron las siguientes:

Separación de material aceitoso. En esta

primera etapa no era relevante realizar la separación de los múltiples radioisótopos presentes, sino adecuar a los líquidos para los tratamientos químicos posteriores donde la presencia de material aceitoso resulta ser un material indeseable ya que no facilita el proceso de descontaminación.

Pre-tratamiento, donde se hace una separación química y fisicoquímica utilizando como reactivos químicos el ferrocianuro de níquel, para separar el cesio radiactivo que es un elemento muy importante desde el punto de vista radiosanitario porque es uno de los elementos radiactivos que se produce en mayor cantidad como producto de fisión, además de su período de semidesintegración considerable y sus características químicas que no hacen fácil su separación. En este tipo de tratamiento se busca su separación a través del proceso de adsorción, donde resulta relevante la superficie activa que pudieran tener las macromoléculas que se forman. Otro reactivo químico utilizado es el sulfato de bario que permite separar el estroncio, en

este caso se obtuvieron factores de descontaminación mayores que 100 y menores que 1000. El material sedimentado luego pasa a unas columnas para su almacenamiento temporal.

Etapa de descontaminación, donde se utiliza el reactivo químico Actiflo™-RAD (desarrollado por la empresa AREVA). También se utilizaron coagulantes, ajustando el pH en tanques diferentes. Luego, en otro tanque se agrega arena con partículas muy pequeñas, que ayudan a la decantación y posteriormente se pasan los líquidos a un tanque donde se le agrega un polímero para favorecer la decantación y separación de fases. Todos los tanques son agitados mecánicamente. La separación de los precipitados, flocúlos y lodos se ven favorecidos en su separación, haciendo uso de platos inclinados. Los materiales sólidos se decantan mientras que el agua descontaminada pasa a otros tanques de almacenamiento. El agua tratada pasa al

proceso de desalinización, antes de ser reciclados y enviados al edificio del reactor, para utilizarlo en el enfriamiento. Los lodos decantados son bombeados a una segunda etapa de tratamiento con Actiflo™-RAD o a una instalación de almacenamiento de lodos residuales.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se procedió a desarrollar un diseño optimizado, considerando líquidos radiactivos con diferentes características, con presencia de cloruros, alta salinidad, diferentes pH, con temperaturas que oscilan entre 20 y 60 °C y que no produjeron variación con respecto a los FD obtenidos anteriormente, para el cesio y el estroncio. Para validar los resultados se realizaron trabajos a nivel de laboratorio con las diferentes etapas de los procesos de ingeniería química a implementar. En la Figura 2 se visualiza un proceso de tratamiento químico característico.

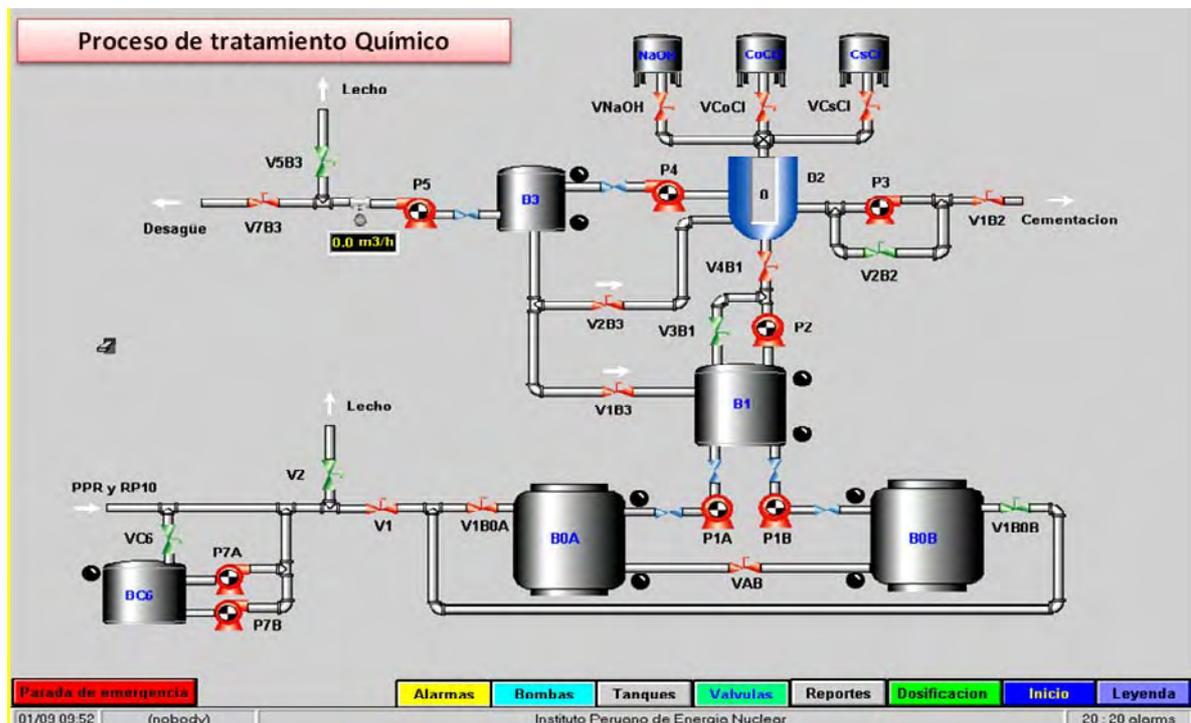


Figura 2. Sistema característico de una planta de tratamiento químico (Elaboración Planta de Gestión de Residuos Radiactivos)

3. Resultados y discusión

La descontaminación de los líquidos altamente radiactivos y con alto contenido

salino realizado en Fukushima Dai-Ichi fue exitosa. Las pruebas validaron la compatibilidad de los reactivos de las

empresas AREVA y VEOLIA.

Se logró un FD de 10^4 para el isótopo cesio, lo cual permitió que su actividad en las aguas tratadas estuviera por debajo del límite de detección. También se hallaron valores de FD para otros radioisótopos: 10 para el Ru; 10 para el Rh; 100 para el Eu; 10 para el Ce; 20 para el Am; 2 para el Cm y 10 para el Ba-140.

Al 20 de setiembre se logró tratar más de 77400 toneladas de aguas residuales altamente contaminadas, haciendo uso de la técnica ACTIFLOTM-RAD y posteriormente fue utilizada en un circuito cerrado para el enfriamiento de los reactores Fukushima Dai-Ichi y de las piscinas que contenían elementos combustibles.

4. Conclusión

El accidente de las centrales nucleares movilizó a la comunidad internacional que actuaron en forma bastante rápida y comprometida. El trabajo conjunto de los expertos técnicos de Francia, Alemania y Japón permitió desarrollar las actividades sin que interfiriera las diferencias culturales y en un tiempo record de solo tres meses.

El tratamiento con ACTIFLOTM-RAD fue excelente; sin embargo, la comunidad internacional considera que la acción exitosa es el resultado de varios elementos claves: El conocimiento y experiencia de AREVA para el tratamiento de residuos radiactivos líquidos con alta contaminación, el *know how* de la

empresa VEOLIA en equipos de tratamiento de aguas residuales contaminadas en ambientes de crisis y la creatividad de los equipos técnicos de ambas empresas, que trabajaron en forma conjunta con los especialistas japoneses. La gestión global del proyecto por parte de TEPCO también resultó ser muy eficiente.

El reúso de las aguas altamente contaminadas y con alto contenido salino (previo tratamiento de descontaminación) en el enfriamiento de las centrales nucleares en Fukushima Dai-Ichi, resultó ser un elemento clave en la hoja de ruta de restauración de la central nuclear luego del accidente natural, acción que evitó de manera importante, el incremento negativo del impacto ambiental.

5. Bibliografía

- [1] International Atomic Energy Agency. Chemical precipitation processes for the treatment of aqueous radioactive wastes. TRS No. 337. Vienna: IAEA; 1992.
- [2] International Atomic Energy Agency. Combined method for liquid radioactive waste treatment. IAEA-TECDOC-1336. Vienna: IAEA; 2003.
- [3] Gay A, Ytournel B, Gillet P, Prevost T, Piot G, Jouaville S, *et al.* Multi-phased, post-accident support of the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant. RGN – Revue Generale Nucleaire. 2012; 1:45-60.