



Application Note AN-PAN-1013

Análisis en línea de ácido bórico en el agua de refrigeración de reactores de agua a presión

El ácido bórico se utiliza para absorber neutrones en el circuito primario de los reactores de agua a presión (PWR) de los reactores nucleares, controlando así la reactividad del reactor. Por lo tanto, el monitoreo casi continuo de las concentraciones de ácido bórico es crucial. El ácido bórico generalmente se controla mediante métodos de análisis de laboratorio manuales, pero estos requieren mucho tiempo y son propensos a errores humanos. Sin embargo, con el analizador de procesos TI 2060 es posible realizar un análisis en línea rápido y confiable.

Esta nota de aplicación de proceso analiza el análisis en línea del boro en reactores de agua a presión

nucleares (PWR). El software adaptativo del analizador de procesos 2060 TI, IMPACT, cambia automáticamente entre varias buretas, cada una con una concentración de titulante diferente según la concentración de ácido bórico para mantener una precisión óptima en todo el rango de medición. Cuando se integra con el sistema de control químico y de volumen (CVCS), el monitoreo en tiempo real permite la detección temprana y mitigación de posibles problemas de concentración de ácido bórico, optimizando el control del reactor para una operación segura y eficiente.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 9% de la electricidad mundial proviene de fuentes de energía nuclear [1]. Los reactores de agua a presión (PWR) son uno de los tipos más comunes de reactores nucleares para fines de generación de electricidad [1]. El funcionamiento seguro y eficiente de los reactores PWR es fundamental para garantizar un suministro de energía confiable y al mismo tiempo proteger el medio ambiente.

En estos PWR, el ácido bórico (isótopo B-10, ^{10}B) se añade al refrigerante primario para regular la reacción nuclear. El boro absorbe eficazmente los neutrones, impidiendo que sostengan el proceso de fisión. Al ajustar la concentración de ácido bórico en el refrigerante, los operadores pueden controlar con precisión la potencia de salida del reactor.

El boro se controla cuidadosamente dentro del circuito primario y secundario (**Figura 1**). Si bien estos circuitos están diseñados para ser altamente

seguros, riesgos potenciales como accidentes, fugas o derrames podrían provocar la liberación de agua contaminada al medio ambiente, lo que en última instancia impactaría las fuentes de agua cercanas.

La concentración de boro en el refrigerante primario varía de 0 a 2000 mg/L o más, dependiendo de la etapa del ciclo del combustible [2]. Esto es significativamente más alto que el nivel máximo recomendado para el agua potable, que es de 2,4 mg/L según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [3] y 1 mg/L según las normas de la UE [4].

El CVCS es responsable de regular las concentraciones de boro en el refrigerante del reactor. Este sistema ajusta cuidadosamente la cantidad de ácido bórico agregada al circuito primario para mantener una reactividad óptima y garantizar el funcionamiento seguro del reactor.

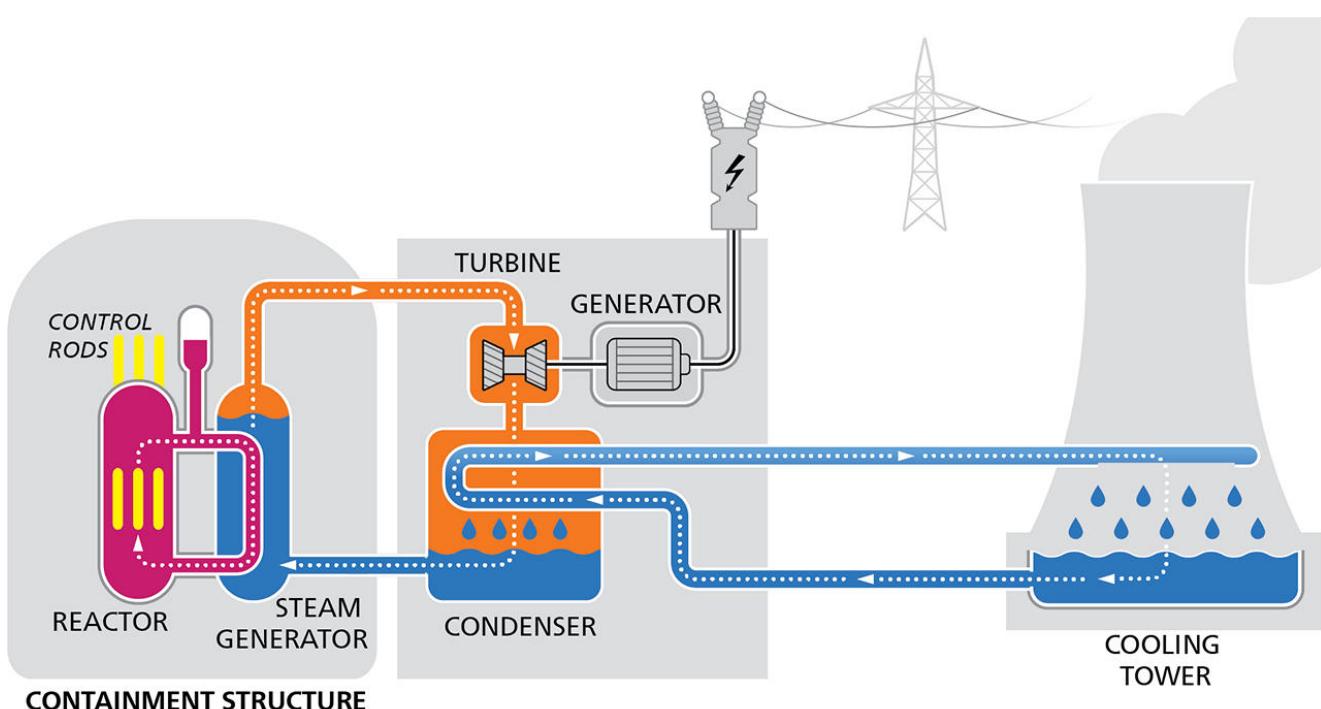


Figure 1. Ilustración de los distintos circuitos de agua en un reactor nuclear (izquierda: circuito primario, centro: circuito secundario, derecha: circuito de refrigeración).

El Analizador de procesos TI 2060 (Figura 2) ofrece una ventaja significativa sobre los métodos tradicionales de pruebas de laboratorio en el sector nuclear. Su avanzada técnica de titulación permite el monitoreo continuo y en tiempo real de las concentraciones de boro en el PWR sin la necesidad de realizar pruebas manuales de laboratorio. Además, la función de autocalibración del analizador garantiza una precisión constante sin necesidad de

ajustes manuales frecuentes.

Al integrarse perfectamente con los sistemas de control de plantas de energía nuclear, el **Analizador de procesos TI 2060** Permite ajustes automatizados de reactividad basados en concentraciones de boro medidas. Esta automatización mejora la eficiencia operativa y ayuda a mantener el rendimiento óptimo del reactor.

APLICACIÓN

La monitorización en línea del ácido bórico en el agua de refrigeración es posible mediante titulación potenciométrica. El software inteligente IMPACT utilizado por el analizador de procesos 2060 TI puede

adaptarse automáticamente a diferentes niveles de ácido bórico y cambiar las concentraciones del titulante para garantizar que se logre la máxima precisión en todo el rango de medición.

Tabla 1. Concentraciones típicas de ácido bórico encontradas en reactores de agua presurizada.

Parámetros	[mg/L]
Boro	0–2000

COMENTARIOS

Otras aplicaciones de proceso relacionadas con los circuitos de agua de los productores de energía incluyen sílice, sodio, níquel, zinc, calcio, magnesio y cloruro. Con el analizador de procesos 2060 TI de Metrohm Process Analytics es posible realizar mediciones fiables de estos parámetros críticos. Figura 2).



Figure 2. El analizador de procesos 2060 TI es adecuado para monitorear varios parámetros críticos en reactores nucleares de agua presurizada.

CONCLUSIÓN

La capacidad de monitorear concentraciones de ácido bórico dentro del rango de 0 a 2000 mg/L es particularmente valiosa en los PWR, donde el control preciso de este parámetro es esencial para una

operación segura y eficiente. La versatilidad y precisión del analizador de procesos 2060 TI lo convierten en una herramienta valiosa para los operadores de plantas de energía nuclear.

REFERENCIAS

1. *La energía nuclear en el mundo actual - Asociación Nuclear Mundial.* <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today> (consultado el 20 de agosto de 2024).
2. Mezquita, A. Z.; Reis, I. C.; de Almeida, V. y col. Efecto del boro-10 en la reactividad del reactor de investigación Triga IPR-R1. *Anales de la energía nuclear* 2019, 132, 64–69.
[DOI:10.1016/j.anucene.2019.04.023](https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.04.023)
3. *El boro, un reto clave para los sistemas de ósmosis inversa, tratado con éxito con membranas TFN de LG Chem GWI.* <https://www.globalwaterintel.com/articles/boron-a-key-challenge-for-reverse-osmosis-systems-successfully-treatment-with-lg-chem-tfn-membranes-lg-chem> (consultado el 19-08-2024).
4. *Normas de agua potable de la UE.* <https://www.lenntech.com/applications/drinking/standards/eu-s-drinking-waterstandards.htm> (consultado el 19-08-2024).

NOTAS DE APLICACIÓN RELACIONADAS

[AN-PAN-1016 Análisis en línea de sílice en agua de alimentación de calderas de centrales eléctricas](#)
[AN-PAN-1032 Monitoreo de la corrosión en plantas de energía con análisis de procesos en línea](#)
[AN-PAN-1038 Generación de energía: análisis del número m \(alcalinidad\) en agua de refrigeración](#)
[AN-PAN-1040 Amoniaco en el agua de refrigeración de las centrales térmicas](#)
[AN-PAN-1042 Análisis en línea de trazas de aniones en el circuito primario de centrales nucleares](#)

[AN-PAN-1043 Análisis en línea de trazas de cationes en el circuito primario de centrales nucleares](#)
[AN-PAN-1044 Análisis de trazas en línea de aminas en el circuito alcalino de agua-vapor de centrales eléctricas](#)
[AN-PAN-1045 Monitoreo en línea de inhibidores de corrosión de cobre en agua de refrigeración](#)
[AN-PAN-1056 Monitoreo en línea de sodio en plantas de energía industriales](#)

BENEFICIOS DEL ANÁLISIS DE PROCESOS EN LÍNEA

- Entorno de trabajo más seguro para empleados (reactor nuclear).
- Diagnóstico totalmente automatizado – alarmas automáticas cuando las muestras están fuera de los parámetros de especificación.

- Garantizar el cumplimiento con estándares ambientales.
- Alta precisión para límites de detección más bajos de boro.



CONTACT

Metrohm Hispania
Calle Aguacate 15
28044 Madrid

mh@metrohm.es



2060 Process Analyzer

El 2060 Process Analyzer es un instrumento de análisis de química húmeda online que sirve para innumerables aplicaciones. Este instrumento de análisis de procesos ofrece un nuevo concepto de modularidad que consiste en una plataforma central, denominada "armario básico".

El armario básico consta de dos secciones. La sección superior contiene una pantalla táctil y un ordenador industrial. La sección inferior contiene la parte húmeda flexible donde se aloja el hardware para el análisis propiamente dicho. Si la capacidad básica de la parte húmeda no es suficiente para resolver un desafío analítico, entonces el armario básico puede ampliarse a hasta cuatro armarios más de parte húmeda para asegurar el espacio suficiente para resolver incluso las aplicaciones más difíciles. Los armarios adicionales pueden configurarse de tal manera que cada armario de parte húmeda puede combinarse con un armario de reactivos con detección de nivel integrada (sin contacto) para aumentar el tiempo de funcionamiento del instrumento de análisis.

El 2060 Process Analyzer ofrece diferentes técnicas de química húmeda: titulación, titulación Karl Fischer, fotometría, medida directa y métodos de adición de patrón.

Para cumplir con todos los requisitos del proyecto (o para satisfacer todas sus necesidades) se pueden proporcionar sistemas de preacondicionamiento de muestras para garantizar una solución analítica robusta. Suministramos prácticamente cualquier sistema de preacondicionamiento de muestras, como sistemas de refrigeración o calentamiento, reducción de presión y desgasificación, filtración, etc.



2060 XRF Process Analyzer

El **2060 XRF Process Analyzer** es un instrumento de análisis de procesos online no destructivos en el que se emplea tecnología de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía (EDXRF). Mediante este instrumento de análisis se garantiza la monitorización precisa y casi en tiempo real de flujos de muestras líquidas dentro de procesos industriales.

Gracias a su capacidad para conectar hasta 20 puntos de muestreo, el **2060 XRF Process Analyzer** facilita la realización de análisis XRF online continuos. Al formar parte de la **plataforma 2060**, integra impecablemente múltiples técnicas de análisis en una sola plataforma unificada. Aproveche la potencia de combinar la tecnología XRF con la titulación o la fotometría para obtener, como nunca antes, conocimientos completos sobre sus procesos.