



Application Note AN-PAN-1011

Análisis en línea del número de absorción de permanganato (PAN)

La caprolactama, un precursor esencial del nailon 6, se utiliza ampliamente en la producción de diversas fibras industriales, textiles y plásticos. Mantener una pureza constante de la caprolactama es esencial para garantizar la calidad de estos productos terminados. El análisis del índice de absorción de permanganato (PAN) sirve como indicador clave de la pureza de la

caprolactama en el proceso de producción, de acuerdo con la norma ISO 8660.

Esta Nota de Aplicación del Proceso describe la monitorización sencilla, 24/7, del índice de absorción de permanganato (PAN) como medida de la pureza de la caprolactama en el proceso correspondiente.

INTRODUCCIÓN

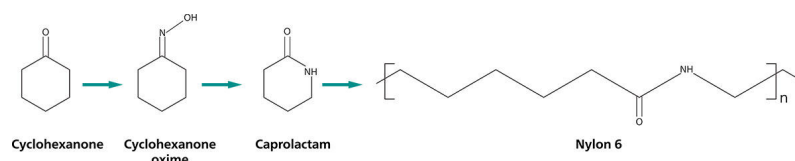
En 2023, la capacidad de producción mundial de caprolactama fue de aproximadamente 9 millones de toneladas [1], la mayoría de los cuales se utilizaron para producir nailon 6. El nailon 6 se utiliza principalmente para fabricar fibras para ropa, alfombras y fines industriales. Aproximadamente el 30% del nailon 6 producido se utiliza para la

producción de resina.[1].

La caprolactama se fabrica principalmente a partir de ciclohexanona, ciclohexano o tolueno. El proceso industrial dominante implica la conversión de ciclohexanona en oxima de ciclohexanona, seguida de una transposición de Beckmann para producir caprolactama con una eficiencia de casi el 98 % [2].

El proceso de reordenamiento de Beckmann, estándar en la industria, emplea ácido sulfúrico (u óleum) como catalizador para transformar la oxima de ciclohexanona en caprolactama (**Reacción 1**). Sin

embargo, este método genera sulfato de amonio como subproducto. Si bien es valioso para la producción de fertilizantes, su impacto ambiental ha provocado restricciones en ciertas regiones.



Reaction 1. Mecanismo de reacción de ciclohexanona para formar nailon 6.

Mantener la calidad de la caprolactama es crucial para sus aplicaciones posteriores, como la producción de nailon 6. Esto se puede lograr empleando una prueba específica: el análisis del número de absorción de permanganato (PAN).

Este procedimiento estandarizado, detallado en referencias internacionales como ISO 8660, mide la presencia de impurezas oxidables dentro de la muestra de caprolactama.

Esencialmente, el análisis PAN mide la estabilidad de la caprolactama evaluando su reacción con permanganato de potasio. Valores de PAN más bajos indican una muestra de caprolactama más pura, lo que conduce a la producción de nailon 6 de mejor calidad.

El análisis de laboratorio tradicional que emplea

muestreo manual es una opción viable, pero presenta ciertas desventajas. La naturaleza lenta de este enfoque hace que no se detecten las variaciones del proceso en tiempo real. Analizar múltiples corrientes de procesos simultáneamente requiere mucho trabajo y el uso de ácido sulfúrico genera problemas de seguridad en el entorno del laboratorio.

En vista de estas limitaciones, los analizadores de procesos en línea como el 2060 TI Process Analyzer (**Figura 2**) han surgido como la solución preferida. Este analizador de procesos exhibe tecnología de vanguardia y ofrece un análisis continuo y de alta precisión de las impurezas de caprolactama, lo que garantiza la producción constante de nailon 6 de máxima calidad.

APLICACIÓN

Las impurezas oxidables se controlan en caprolactama según ISO 8660 para fines en línea, con mediciones colorimétricas precisas controladas por tiempo y temperatura. Metrohm Process Analytics ofrece una solución de analizador de procesos multiparamétrico para medir con precisión PAN en línea según la norma ISO 8660: el **Analizador de procesos TI 2060** (**Figura 2**).



Figure 2. El analizador de procesos 2060 TI es adecuado para monitorear PAN durante la producción de caprolactama.

Tabla 1. Rango típico encontrado para el número de absorción de permanganato en el proceso de producción de caprolactama.

Parámetro	Rango
PAN	0–35

Dado que la caprolactama absorbe humedad, emplear una técnica confiable para determinar el contenido de agua también es crucial. El 2060 E/ El analizador NIR de Metrohm Process Analytics se presenta como una excelente solución en este sentido. Proporciona mediciones precisas del contenido de agua en segundos, elimina la necesidad de preparación de muestras y no genera desechos

químicos. Son posibles otras aplicaciones en línea dependiendo del proceso de producción, incluido NH_4OH , Nueva Hampshire, NO_2 , ENTONCES_3^{2-} , alcalinidad, humedad, hierro, acidez alta/baja en ciclohexanona (Anolon), $(\text{NH}_4)_2\text{ENTONCES}_3$, $\text{H}_3\text{correos}_4$, y otros componentes relacionados.

CONCLUSIÓN

El monitoreo continuo en línea de PAN en caprolactama es esencial para optimizar la producción posterior de nailon 6. El analizador de procesos Metrohm Process Analyzer 2060 TI ofrece un análisis PAN preciso y en tiempo real. Esto mejora la eficiencia,

reduce los costos y mejora la calidad del producto. Su versatilidad permite la monitorización simultánea de múltiples parámetros del proceso para un control integral del mismo.

REFERENCIAS

1. Caprolactam Market Size, Share Analysis and Industry Forecast.
<https://prismaneconsulting.com/report/market-reports/global-caprolactam-market-study-report-2016-2032/23> (accessed 2025-12-03).
2. Ritz, J.; Fuchs, H.; Kieczka, H.; et al. Caprolactam. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Ed.; Wiley, 2011. DOI:10.1002/14356007.a05_031.pub2

NOTAS DE APLICACIÓN RELACIONADAS

AN-PAN-1041 Monitoreo en línea del contenido de isocianato libre (%NCO) en poliuretano

AN-NIR-077 Análisis de humedad en caprolactama

BENEFICIOS DEL ANÁLISIS DE PROCESOS EN LÍNEA

- Diagnóstico totalmente automatizado – Alarmas automáticas para cuando las muestras están fuera de los parámetros de especificación.
- Garantizar el cumplimiento con estándares globales.
- Evite costes innecesarios midiendo múltiples parámetros simultáneamente en el flujo del proceso.
- Control mejorado sobre el proceso de producción de caprolactama, lo que permite un ajuste fino para pureza y eficiencia óptimas.
- Un entorno de trabajo más seguro para empleados (no manipulación de H_2 ENTONCES₄).



CONTACT

Metrohm Hispania
Calle Aguacate 15
28044 Madrid

mh@metrohm.es

CONFIGURACIÓN



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.