



Application Note AN-PAN-1057

# Monitoreo en línea de procesos de fermentación

Determinación de múltiples parámetros en un caldo de fermentación para la producción de bioetanol.

La preocupación por el desarrollo de combustibles alternativos y renovables ha aumentado en los últimos años. El bioetanol es un buen sustituto de los combustibles fósiles. Puede elaborarse a partir de elementos como azúcar, almidón o biomasa lignocelulósica, como el grano de maíz.

La producción mundial de etanol superó los 28 mil millones de galones en 2022 [1]. El etanol se produce principalmente mediante el proceso de fermentación. La fermentación transforma los azúcares de la

biomasa en etanol mediante el uso de levadura.

Es bien sabido que la calidad de la materia prima puede variar de una temporada a otra, lo que obliga a los productores de etanol a adaptarse a cada lote. Con el uso de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) en línea, se pueden monitorear varios parámetros de calidad de fermentación simultáneamente directamente en el tanque, como se muestra en esta Nota de aplicación del proceso.

## INTRODUCCIÓN

Para garantizar un alto rendimiento y un etanol de la mejor calidad, se deben monitorear muchos parámetros durante la producción de etanol. Tradicionalmente, la cantidad de reactivos, productos y subproductos se mide en el laboratorio después de tomar una muestra del proceso. Sin embargo, los métodos manuales de laboratorio pueden dar lugar a tiempos de respuesta prolongados en caso de cambios en el proceso (p. ej., temperatura, mezcla de reacción, niveles de humedad), y la preparación de muestras (dilución, filtración, pipeteo) puede introducir errores que alteren la precisión del análisis.

Además, puede resultar bastante engorroso ya que se requieren múltiples técnicas y/o métodos operativos para analizar los siguientes parámetros: etanol, dextrina (DP4), maltotriosa (DP3), maltosa, glucosa,

ácido láctico, glicerol y ácido acético (tabla 1), junto con la humedad y los sólidos (enzimas).

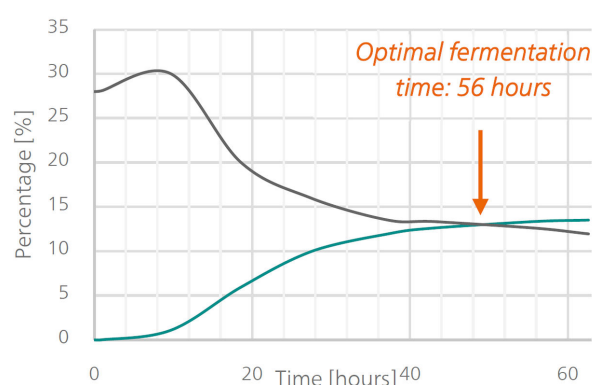
En cualquier proceso químico, el monitoreo en «tiempo real» permite un modelado y control óptimos del proceso, lo que significa un mayor rendimiento, reproducibilidad y productividad.

Por ejemplo, es necesario un estricto seguimiento y control de los diversos azúcares presentes (glucosa, maltosa, DP3 y DP4) durante todo el proceso de fermentación para comprender la ruta de aumento del almidón (generación de glucosa) presente en el puré y optimizar la producción de etanol.<sup>2</sup>]. Comprender la ruta del azúcar permite la dosificación correcta de «mezcla enzimática» y «mezcla de levadura» al puré en los tanques de purín para acelerar el procesamiento [3].

Por lo tanto, optimizar la mezcla de enzimas y levaduras es crucial para este proceso. Estos son los costos de consumibles más altos para la producción de etanol y afectan significativamente la tasa de producción y el rendimiento final de etanol.

El análisis en línea proporciona datos de proceso en «tiempo real». Estos datos ayudan a los productores a determinar el tiempo óptimo de fermentación (figura 1). También les permite ajustar la velocidad de giro del impulsor y las temperaturas del tanque. Estos ajustes pueden aumentar la producción de etanol utilizando los mismos materiales. Un tiempo de fermentación reducido significa poder realizar más lotes de fermentación diarios, lo que se traduce en más beneficios.

Para una fermentación óptima, se deben monitorear múltiples parámetros de una manera más segura, eficiente y rápida, lo cual es posible mediante análisis en línea con espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) sin reactivos (figura 2). Metrohm Process Analytics ofrece la 2060 e/ NIR analizador (figura 3)



**Figure 1.** Gráfico de tendencias para un proceso de fermentación de etanol (verde: etanol, gris: sólidos [enzimas]).

que permite la comparación directa de datos espectrales en «tiempo real» del proceso con un método de referencia (por ejemplo, HPLC) para crear un modelo de calibración simple pero indispensable utilizado para producir resultados cuantitativos durante el proceso de fermentación.



## APLICACIÓN

Las mediciones se pueden realizar directamente en línea gracias a una sonda de inmersión dedicada (tabla 2) acoplado a microhaces de fibras. Esta combinación permite la medición NIR de muestras con sólidos suspendidos y presencia de burbujas, sin requerir pantallas de filtro alrededor de la sonda que

pueden obstruirse durante la fermentación. Cuando esté disponible un bypass o un circuito rápido, se recomienda utilizar una celda de flujo para poder eliminar la materia sólida antes de realizar las mediciones.

**Tabla 2.** Soluciones dedicadas para sus necesidades de muestreo NIRS.

| Tipo de sonda                                                                     | Aplicaciones                                | Procesos                                       | Instalación                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Sonda de reflectancia de microinteractuancia                                      | Sólidos (p. ej., polvos, granulos)          | Polimerización en masa                         | Directo a la línea de proceso                                         |
|                                                                                   | Lodos con >15 % sólidos                     | Extrusión de fusión en caliente                | Accesorio de compresión o novia soldada                               |
| Sonda de inmersión de microinteractuancia                                         | Claro para dispersar líquidos               | Fase de solución                               | Directo a la línea de proceso                                         |
|                                                                                   | Lodos con <15% de sólidos                   | Extrusión controlada por temperatura y presión | Accesorio de compresión o novia soldada                               |
| Par de sondas de microtransmisión                                                 | Claro para dispersar líquidos               | Fase de solución                               | Directo a la línea de proceso o al reactor                            |
|                                                                                   | Lodos con <15% de sólidos                   | Extrusión controlada por temperatura y presión | En un bucle de corriente lateral                                      |
|                                                                                   |                                             |                                                | Accesorio de compresión o novia soldada                               |
| Sonda de reflectancia de microinteractuancia con purga en la punta de recolección | Sólidos (p. ej., polvos, granulos)          | Secado de granulados y polvos.                 | Directo al secador de lecho fluido, al reactor oa la línea de proceso |
|                                                                                   | Entornos donde la cantidad de muestra varía |                                                | Accesorio de compresión o novia soldada                               |

**Tabla 1.** Parámetros clave a monitorear con NIRS durante la producción de etanol por fermentación.

| Parámetro     | Rango (%) |
|---------------|-----------|
| Etanol        | 0–15      |
| Glucosa       | 0–8       |
| Maltosa       | 0–7       |
| DP3 y DP4     | 0–15      |
| Ácido acético | 0–0,5     |
| Glicerol      | 0–1       |
| Ácido láctico | 0–0,25    |

**OBSERVACIONES**

Se necesita una gama adecuada de muestras que abarquen el proceso de fermentación para construir un modelo de calibración. Estas muestras se analizarán mediante NIRS y también mediante un

método de referencia primario. La precisión de los datos NIRS es **directamente correlacionado** a la precisión del método de referencia.

**CONCLUSIÓN**

Los métodos de análisis tradicionales no proporcionan suficiente información en «tiempo real» sobre el rendimiento del proceso de fermentación para la producción de bioetanol. El análisis en línea con NIRS puede proporcionar información más rápida sobre el proceso de fermentación, lo cual es ideal para una retroalimentación rápida (aproximadamente cada 30 segundos) y un mayor rendimiento del proceso. El análisis NIRS permite la comparación de datos espectrales en tiempo real con un método primario

(p. ej., titulación, titulación Karl Fischer, HPLC, IC) para desarrollar un modelo sencillo pero esencial para satisfacer las necesidades del proceso de fermentación. Mejore y mejore la gestión de la producción utilizando Metrohm Process Analytics **2060 e/ Analizador NIR**, que otorga un control de fermentación aún mayor al monitorear hasta cinco puntos de proceso por gabinete NIR con la opción de multiplexor.

## REFERENCIAS

1. *Producción mundial de etanol para uso como combustible 2022*. Estatista.  
<https://www.statista.com/statistics/274142/global-ethanol-production-since-2000/>  
(consultado el 4 de octubre de 2023).
2. Chang, Y.-H.; Chang, K.-S.; Chen, C.-Y.; et al. Mejora de la eficiencia de la producción de bioetanol por *Saccharomyces cerevisiae* mediante el aumento gradual de la concentración de glucosa por lotes y por lotes alimentados. *Fermentación* **2018**, 4 (2), 45.  
<https://doi.org/10.3390/fermentation4020045>.
3. Devantier, R.; Pedersen, S.; OLSON, L. Caracterización de la fermentación con etanol de muy alta gravedad de puré de maíz. Efecto de la dosis de glucoamilasa, la presacarificación y la cepa de levadura. *Appl Microbiol Biotecnología* **2005**, 68 (5), 622–629.  
<https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9>.
1. *Global ethanol production for fuel use 2022*. Statista.  
<https://www.statista.com/statistics/274142/global-ethanol-production-since-2000/>  
(accessed 2023-10-04).
2. Chang, Y.-H.; Chang, K.-S.; Chen, C.-Y.; et al. Enhancement of the Efficiency of Bioethanol Production by *Saccharomyces Cerevisiae* via Gradually Batch-Wise and Fed-Batch Increasing the Glucose Concentration. *Fermentation* **2018**, 4 (2), 45.  
<https://doi.org/10.3390/fermentation4020045>.
3. Devantier, R.; Pedersen, S.; Olsson, L. Characterization of Very High Gravity Ethanol Fermentation of Corn Mash. Effect of Glucoamylase Dosage, Pre-Saccharification and Yeast Strain. *Appl Microbiol Biotechnol* **2005**, 68 (5), 622–629.  
<https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9>.

## BENEFICIOS PARA NIRS EN PROCESO

- **produccion segura** debido al monitoreo en «tiempo real» ya la ausencia de exposición del operador a reactivos químicos.
- **Más ahorro por medición**, haciendo que los resultados sean más rentables.
- **Mayor rendimiento del producto**, reproducibilidad, tasas de producción y rentabilidad (optimizar el tiempo de fermentación).



## MÁS LECTURAS

[Monitoreo en tiempo real de la fermentación del ácido hialurónico mediante espectroscopia de](#)

[transflectancia in situ](#)

## CONTACT

Metrohm Hispania  
Calle Aguacate 15  
28044 Madrid

[mh@metrohm.es](mailto:mh@metrohm.es)

## CONFIGURACIÓN



### 2060 The NIR Analyzer

El **2060 The NIR Analyzer** es la siguiente generación de instrumentos de espectroscopía de procesos de Metrohm Process Analytics. Con su diseño único y probado de dentro afuera, ofrece resultados precisos cada *10 segundos*. Puede proporcionar un análisis no destructivo de líquidos y sólidos directamente en la línea de proceso o en un recipiente de reacción mediante el uso de fibra óptica y sondas de contacto. Ha sido diseñado para conectar hasta cinco (5) sondas y/o celdas de flujo. Los cinco canales se pueden configurar independientemente unos de otros utilizando nuestro versátil software propio integrado.

Como parte del **2060 Platform**, el **2060 The NIR Analyzer** cuenta con un concepto modular y está disponible en otras tres versiones: **2060 The NIR-R Analyzer**, **2060 The NIR-Ex Analyzer** y **2060 The NIR-REx Analyzer**.