

## INFORME PRÁCTICO

ANALÍTICA DE LABORATORIO Y SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO  
NUTRIENTES  
FOSFATO



# Eliminación y determinación de fosfato

El aumento del crecimiento de las algas, que en el peor de los casos puede llevar a la eutrofización de las aguas superficiales, es **consecuencia de unas altas concentraciones de fosfato**. Los valores límite legales para  $\text{PO}_4\text{-P}$  en las descargas de aguas residuales deberían evitar escenas tales como las arriba indicadas. Las E.D.A.R., por lo tanto, deben llevar a cabo la **eliminación de fósforo**: biológicamente, junto con la nitrificación/desnitrificación, y/o químicamente, con unos precipitantes apropiados. Un **análisis de  $\text{PO}_4\text{-P}$  fiable** es indispensable, no sólo para cumplir con el **control** de los valores límite sino también para el control óptimo, y por tanto más rentable, **de la eliminación de fósforo**.



**Autora:**  
Petra Pütz  
- Ing. Dipl., Química  
- Productos de aplicación de laboratorio, HACH LANGE

# Fosfato en el agua; origen y eliminación



Fig. 1: Espectrofotómetro DR 3800 sc con 230 métodos HACH LANGE preprogramados, p. ej. para la determinación de DQO, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, N total, orto PO<sub>4</sub>-P y P total

## Efectos del fosfato en las aguas superficiales

Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 g de fosfato-fósforo (PO<sub>4</sub>-P) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 g. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l PO<sub>4</sub>-P en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l PO<sub>4</sub>-P en aguas tranquilas.

En vista del peligro potencial para las aguas superficiales, la directiva EU 91/271/CEE especifica unos valores límite para el vertido de compuestos de fosfato a las aguas receptoras. En función del tamaño de la E.D.A.R., estos valores son 2 mg/l P total (10.000 – 100.000 h-e) o 1 mg/l P total (> 100.000 h-e).

## ¿De dónde viene el fosfato?

Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de:

- Fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento
- Excreciones humanas y animales
- Detergentes y productos de limpieza

La carga de fosfato total se compone de ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada.

Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida. Antes de realizar un análisis, por tanto, es importante considerar qué tipo de fosfatos deberán determinarse. Si solamente se va a determinar ortofosfato (p.ej. para el control de la precipitación de fósforo), sólo hay que filtrar la muestra antes de analizarla. Sin embargo, si se va a determinar la concentración de fósforo total (p. ej. para el control de los valores límite), primero hay que homogeneizar la muestra y después hidrolizarla (someterla a digestión).

Tabla 1: Composición de la carga de fósforo, y su determinación

Compuestos de P	Fórmula	Preparación de la muestra	Cubetas-test	Instrumento de proceso	Indicación del resultado + Campo de aplicación
Ortofosfato	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Filtrar	LCK049* LCK349* LCK348* LCK350*	PHOSPHAX sc (método de vanadato-molibdato)	- Orto PO <sub>4</sub> -P (p. ej. agua residual: control de la precipitación de P) - Orto PO <sub>4</sub> (p. ej. agua potable y agua de calderas)
Polifosfatos	PO <sub>4</sub> -PO <sub>4</sub> -PO <sub>4</sub> -	Homogeneización, digestión			
Compuestos de fósforo orgánico	R-PO <sub>4</sub>	Homogeneización, digestión			
Carga total (ortofosfato + polifosfatos + compuestos de fósforo orgánico)	PO <sub>4</sub> total	Homogeneización, digestión	LCK349* LCK348* LCK350*	PHOSPHAX sigma (método del azul de molibdeno de acuerdo con EN 1189)	- P total = PO <sub>4</sub> -P total (p. ej. agua residual: control de valor límite) - PO <sub>4</sub> total (p. ej. agua potable y agua de calderas)

Importante: ¡En la analítica de las aguas residuales, la concentración de PO<sub>4</sub> se expresa siempre en términos del contenido de fósforo del fosfato! Es decir, el resultado se indica como PO<sub>4</sub>-P (factor de conversión: PO<sub>4</sub>-P × 3,07 = PO<sub>4</sub>). Los valores límite definidos en la legislación aplicable, p. ej. el valor límite en la salida de una E.D.A.R., se expresan en la unidad P total = PO<sub>4</sub>-P total.

\*) LCK348, 349 y 350: método del azul de molibdeno conforme a EN 1189; LCK049: método del vanadato-molibdato

## Eliminación de fósforo

Hoy en día, puede suponerse que la concentración media en la entrada de una depuradora municipal es 9 mg P total. Esta concentración debe reducirse, durante los procesos de depuración del agua residual, hasta el valor límite en la salida especificado legalmente. Existen dos modos de llevar esto a cabo: la **eliminación biológica de fósforo** o la **precipitación química de fósforo** (véanse los cuadros de texto a la derecha). Las desventajas asociadas a los métodos de precipitación son el aumento de la salinidad del agua residual (y por tanto también del agua receptora) y el constante aumento del precio de los precipitantes. Además, las sales de fósforo precipitadas llevan al aumento del volumen de fango. Por este motivo, en la práctica se utiliza una combinación de eliminación biológica y química de fósforo para minimizar el consumo de precipitante.

## Análisis de fósforo

Para el control y la comprobación de la eliminación de P y controlar los valores límite son necesarios unos análisis periódicos en varios puntos de medida del proceso de tratamiento del agua residual. Además, la adición selectiva de precipitantes en función de la carga de fósforo puede conllevar ahorros de costes. La determinación de  $\text{PO}_4\text{-P}$  puede realizarse en el laboratorio con una cubeta-test o en continuo mediante un instrumento de medida de proceso. Por regla general, se registran unas curvas temporales, (p. ej. durante un periodo de 24 horas) en un único punto de medida, con el fin de obtener una vista exacta de la magnitud de la carga de  $\text{PO}_4$ . La adición necesaria de precipitante se puede entonces regular partiendo de la curva (véase la Fig. 2). Más efectiva es la medida en continuo de la concentración de  $\text{PO}_4\text{-P}$  con una conexión directa a los sistemas dispensadores de precipitante.

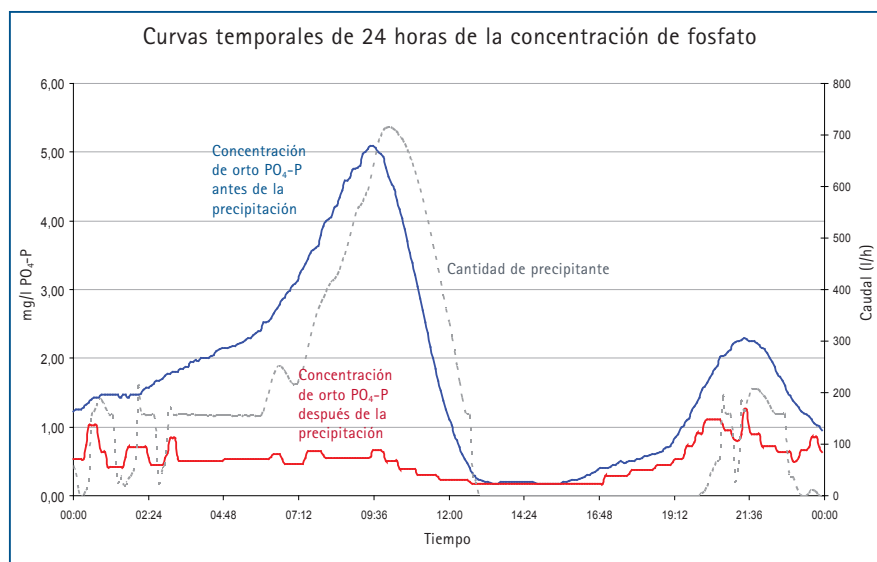


Fig. 2: Curvas temporales de 24 horas de la carga de fósforo en una gran E.D.A.R. alemana (240.000 h-e)



Fig. 3: Cubeta-test LANGE LCK349 para la determinación de ortofosfato y fosfato total (rango de medida 0,05-1,5 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$ )

## Eliminación biológica de fósforo

Almacenamiento de más fósforo del normalmente necesario en el fango activo floculado. Esto se produce cuando el fango está en un entorno unas veces aeróbico y otras veces anaeróbico (entrada de oxígeno activada/desactivada). La eliminación biológica eficaz de fósforo depende de la presencia de suficientes materias orgánicas fácilmente biodegradables ( $\text{DBO}_5$ ).

Una relación  $\text{P}/\text{DBO}_5$  de  $< 0,03$  y una relación  $\text{N}/\text{DBO}_5$  de  $< 0,25$  en la entrada del tanque de aireación favorecen el aumento de la degradación biológica de fósforo.

## Precipitación química de fósforo

Los compuestos de ortofosfato son precipitados como fosfatos de metales difícilmente solubles con la ayuda de productos químicos (sales de hierro o de aluminio, lechada de cal). Las sales se sedimentan y permanecen en el lodo de las aguas residuales. El precipitante se puede agregar durante el tratamiento primario (pre-precipitación) o en el tanque de aireación (precipitación simultánea), o en un tanque de reacción adicional aguas abajo del tanque de aireación (post precipitación). El método más utilizado es la precipitación simultánea, ya que se trata de la variante más económica.

# Causas de concentraciones elevadas de PO<sub>4</sub>-P en el efluente, y remedios

## Valores altos de PO<sub>4</sub>-P en la salida

Si los valores de P total en una E.D.A.R. son más altos de lo que debieran, deberá determinarse la diferencia entre P total y orto PO<sub>4</sub>-P. Si la diferencia es pequeña, la concentración de orto PO<sub>4</sub>-P es demasiado alta.

Causas y soluciones posibles:

1. Se está añadiendo muy poco precipitante, o éste se está agregando en un punto poco favorable
  - Controlar la adición de precipitante
  - Aumentar la cantidad a adicionar o agregar el precipitante en otro punto
2. El fósforo se está redisolviendo en el decantador secundario
  - La concentración de orto PO<sub>4</sub>-P en la salida del decantador secundario es mayor que en la etapa de nitrificación
  - Aumentar el contenido de oxígeno en la etapa de nitrificación o aumentar la relación de lodo de recirculación



Fig. 4: PHOSPHAX sc para la determinación en continuo de ortofosfato para el control más eficaz posible de la eliminación de fósforo

Si hay una gran diferencia entre P total y orto PO<sub>4</sub>-P, es que existe una alta proporción de compuestos de fósforo no disueltos.

Causas y soluciones posibles:

1. Proporción de sólidos demasiado alta, provocada por la pérdida de lodo
  - Flóculos o estructura del fango activado demasiado ligeros, pequeños o filamentosos en combinación con sobrecargas hidráulicas (lluvia, deshielo)
  - Controlar la capacidad ácida en el tanque de aireación o adoptar medidas para combatir los lodos no sedimentables
2. Existen polifosfonatos difícilmente degradables, posiblemente procedentes de agentes de limpieza industriales
  - Esta situación sólo se puede mejorar mediante una eliminación en el punto donde tiene lugar, pues los precipitantes no reaccionan con tales compuestos

## Bibliografía

- Informe práctico de HACH LANGE "Die richtige Prozess-Messtechnik für den N- und P-Abbau", Febrero 2008.
- Informe práctico de HACH LANGE "Optimale Nährstoffverhältnisse für die Abwasserreinigung", Marzo 2008
- Kirsten Sölter, Norbert Weber, Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie: Anwendungsbericht Ch. No. 76 "Optimierte P-Elimination", Marzo 2000.



¿Ortofosfato o Fósforo Total, salida de planta o proceso? Son cuestiones habituales al estudiar la medida en continuo de fósforo. El objetivo de la medición nos debe responder ambas cuestiones. Para la optimización del proceso de eliminación química de fósforo, es recomendable la medida de ortofosfato en el punto de adición de la sal metálica; el analizador PHOSPHAX sc con el sistema de filtración por membranas FILTRAX ofrece la solución adecuada. Para monitorizar en continuo la calidad de efluente, especialmente en aquellas plantas ubicadas en zona sensible, la medida de fósforo total en el efluente de planta es el parámetro adecuado. El analizador PHOSPHAX sigma junto con el sistema homogeneizador Sigmatax, permite realizar la medida precisa de fósforo total, incluyendo su fracción particulada.

Carlos Merino  
Process Product Manager  
HACH LANGE