



# Eliminación de hidrocarburos disueltos y dispersos del agua mediante extracción líquido-líquido

**Albert Low, Jeroen Boom y Ken Severing**  
Veolia Water Technologies

Las refinerías y plantas petroquímicas tienen varias opciones para eliminar de manera eficiente y rentable los hidrocarburos disueltos y dispersos en las corrientes residuales. Por ejemplo, los contaminantes como el aceite disperso, BTEX, PAH y otros hidrocarburos tóxicos pueden eliminarse mediante stripping con vapor y carbón activado. Sin embargo, la tecnología conocida como extracción líquido-líquido con polímeros macroporosos (MPPE) tiene un coste más competitivo frente a otras tecnologías y, al mismo tiempo, es más eficiente energéticamente.

**PALABRAS CLAVE:** Tratamiento de aguas, Hidrocarburos disueltos, Polímeros macroporosos, Stripping, Sistema MPPE

Refineries and petrochemical plants have several options to efficiently and cost-effectively remove dissolved and dispersed hydrocarbons in waste streams. For example, contaminants such as dispersed oil, BTEX, PAH, and other toxic hydrocarbons can be removed by stripping with steam and activated carbon. However, the technology known as liquid-liquid extraction with macroporous polymers (MPPE) has a more competitive cost compared to other technologies and, at the same time, is more energy efficient.

**KEYWORDS:** Water treatment, Dissolved hydrocarbons, Macroporous polymers, Stripping, MPPE system

Desarrollado hace más de 20 años, MPPE es un proceso de un solo paso que reduce las concentraciones orgánicas en el agua contaminada desde miles de ppm a niveles bajos de ppb. Las tasas de eliminación individuales oscilan entre el 90 % y el 99,99 %. Este proceso no requiere adición de productos químicos, no produce gases de escape ni lodos, y permite recuperar los hidrocarburos eliminados en un fluido casi 100 % puro.

El primer sistema MPPE se puso en funcionamiento en 1994 para tratar el agua producida en las plataformas de extracción de gas en alta mar. Desde entonces, el MPPE se ha utilizado, además de para esta aplicación, para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas, aguas residuales de plantas químicas y recientemente se ha utilizado en el mercado petroquímico para el tratamiento de aguas residuales (Fotos 1 y 2).

## EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO

La tecnología de extracción líquido-líquido con polímeros macroporosos (MPPE) de Veolia Water Technologies

elimina los hidrocarburos disueltos y dispersos del agua mediante extracción líquido-líquido. Un líquido de extracción (aceite) se inmoviliza en perlas de polímero poroso, que se envasan en recipientes a presión verticales. El agua de alimentación entra en los recipientes a presión y fluye hacia arriba. Solo los hidrocarburos, que tienen una alta afinidad por el líquido de extracción, se eliminan del agua en este proceso. Esta agua purificada puede ser reutilizada dentro de la instalación o vertida al medio.

La mayoría de los hidrocarburos son no polares o hidrofóbicos, contaminantes con una mayor afinidad hacia el aceite que el agua. A medida que pasan de la fase acuosa al líquido de extracción aceitoso inmovilizado, los componentes se distribuyen sobre ambos líquidos (fase oleosa y acuosa) en una proporción fija, independiente de la concentración inicial del componente (por tanto, en función del coeficiente de reparto).

Según el coeficiente de reparto de cada hidrocarburo, los componentes

se eliminan de la corriente de agua de alimentación. El hidrocarburo migra hacia la fase oleosa retenida en las partículas del polímero macro poroso (MPP), donde permanece hasta la etapa de regeneración. La regeneración se produce mediante vapor a baja presión, que calienta las partículas de MPP. A continuación, el proceso de regeneración evapora el hidrocarburo del líquido de extracción y lo transporta a un intercambiador de calor. En este punto, el vapor y los hidrocarburos se condensan. Si los hidrocarburos no son miscibles con agua, se puede utilizar un separador aguas abajo para separar la fracción de hidrocarburos del agua. A continuación, la fase de agua es reprocesada internamente en la instalación MPPE.

Dado que el medio actúa como un agente coalescente, los orgánicos dispersos se eliminan además de los orgánicos disueltos.

El uso de dos columnas permite el funcionamiento continuo, con extracción y regeneración simultáneas. Un ciclo típico es de una hora de extracción y una hora de regeneración.



Foto 1. El primer tipo de construcción MPPE operativo, junio de 1994



Foto 2. Para refinerías y plantas petroquímicas, la extracción líquido-líquido con polímeros macroporosos elimina los hidrocarburos dispersos y disueltos, tiene tasas de eliminación individuales del 90% al 99,99%, no requiere productos químicos, no produce lodos ni residuos. gas y requiere muy poca atención por parte del operador

Un filtro de cartucho protege el medio MPPE de sólidos incidentales fuera de especificación. La columna MPPE C-01 está en funcionamiento y es alimentada en sentido ascendente (línea azul de la Figura 1). La columna C-02 está en regeneración (amarilla) y se calienta con vapor a baja presión. La temperatura de alrededor de 102 °C en el lecho del polímero macroporoso se mantiene durante unos 30 minutos. Los hidrocarburos extraídos contenidos en los medios se expulsan a la corriente de vapor. El vapor se condensa en un condensador enfriado por agua, en una fase de agua e hidrocarburo. Las diferencias de densidad entre las fases condensadas permiten una separación final de hidrocarburos y agua en el separador.

Cuando la regeneración se ha completado, normalmente en una hora, se conmuta el funcionamiento de las columnas, por lo que una secuencia de válvulas optimizada asegura la recuperación de calor de la columna regenerada. Esto permite una reducción del 70 % del vapor consumido. El vertido de agua tratada se interrumpe durante varios minutos durante el cambio de fase de operación.

### VENTAJAS TECNOLÓGICAS

El proceso MPPE es ideal para eliminar hidrocarburos tóxicos del agua producida por pozos de gas, donde la concentración de hidrocarburos disueltos es normalmente mucho mayor que en los pozos de petróleo. Para otras aplicaciones, como plantas *downstream* con concentraciones más altas de hidrocarburos, MPPE elimina compuestos con una eficiencia del 99,99 %.

Con MPPE el factor de reducción es independiente de la concentración de entrada. Por lo tanto, con una eliminación del diseño del 99 %, una alimentación de 100 ppm se reducirá a 1,0 ppm. Una alimentación de 1000 ppm se reducirá a 10 ppm. La mayoría de las tecnologías no permitirán una concentración de entrada 10 veces mayor, y tendrán un rendimiento drásticamente reducido.

La tecnología ofrece ventajas sobre el stripping con vapor. Un stripping con vapor tiene que calentar toda la corriente de agua de alimentación en una torre alta que contiene material de relleno. En cambio, MPPE usa solo vapor a baja presión para calentar el medio para liberar los hidrocarburos extraídos. Además, debido a que el MPPE se regenera a una temperatura relativamente baja, la tecnología es adecuada para componentes que tienden a sufrir una reacción química como la polimerización (por ejemplo, en la eliminación de estireno).

Con MPPE, el consumo de energía es hasta 50 veces menor en comparación con el stripping con vapor. Por tanto, la huella de carbono es menor y, además, presenta menores costes operativos. El MPPE también tiene un coste más competitivo que los sistemas de extracción por aire y biotratamiento. El biotratamiento, especialmente con una mayor concentración de contaminantes, generará grandes cantidades de lodos biológicos. Este lodo biológico requiere tratamiento y eliminación adicionales. Sin embargo, el MPPE genera una corriente de hidrocarburos puros para su reutilización, que es un beneficio en lugar de un gasto operativo.

En comparación con la tecnología

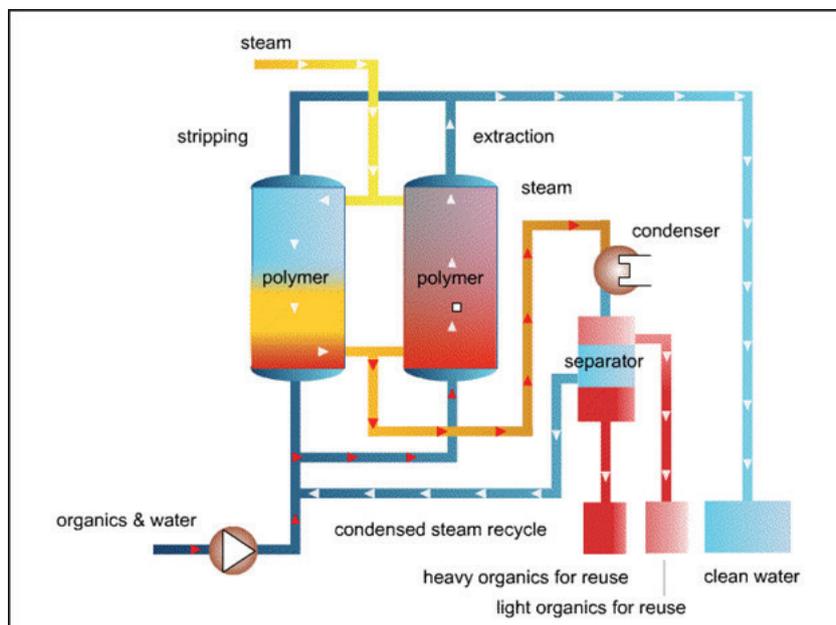
de carbón activado, el MPPE es más económico cuando hay altas concentraciones de hidrocarburos presentes en el agua. Además, una vez que se usa el carbón activado, se debe regenerar usando un horno para quemar el carbón, lo cual es costoso.

### VENTAJAS DE LA EXTRACCIÓN DE POLÍMEROS MACROPOROSOS (MPPE)

Entre las ventajas de la extracción de polímeros macroporosos (MPPE) habría que destacar las siguientes:

- Bajo aporte energético para liberar hidrocarburos de partículas de MPPE (regeneración in situ)
- No hay interferencias de hierro disuelto, metales pesados, tensioactivos, inhibidores de corrosión, sales y compuestos polares; tampoco incrustaciones.
- La regeneración periódica in situ mediante vapor evita el ensuciamiento microbiológico y reduce la logística in situ (por ejemplo, carbón activado)
- Operación flexible. Una vez instalada, la unidad puede tratar flujos y concentraciones mayores y menores. Por ejemplo, si la concentración es un 50 % más alta, los requisitos de los vertidos de efluentes aún se pueden mantener con solo un 10 % menos de flujo. A concentraciones de alimenta-

FIGURA 1.



ción más bajas, se pueden tratar flujos más altos sin dejar de satisfacer la demanda de efluentes.

- Fiable, fácil de operar. El sistema está completamente automatizado y se puede controlar de forma remota a través de un ordenador o un teléfono móvil.

- Compacto, con un tamaño reducido, en comparación con las tecnologías existentes.

- Respetuoso con el medioambiente. Reutilización de material agotado, sin adición de productos químicos, sin emisiones al aire, sin formación de lodos y sin residuos químicos de hidróxido de hierro. Además, el bajo nivel de ruido es un beneficio del proceso.

- Rendimiento garantizado durante la vida operativa. El medio de MPPE se cambia cada dos a cuatro años y el material agotado se limpia fuera del sitio y luego se prepara para su reutilización.

## NORMATIVA DE EMISIONES AL AGUA

Un número creciente de autoridades competentes están incorporando el principio de vertido tóxico cero en sus nuevas normativas. MPPE puede eliminar los compuestos tóxicos presentes en los vertidos. La legislación offshore permite el vertido de compuestos biodegradables no tóxicos (alcoholes, ácidos orgánicos, etc., expresados como TOC o DQO), posibilitando el vertido directo después del tratamiento con MPPE. La legislación para el vertido en ríos, estuarios o ubicaciones cercanas a la costa incluye límites de TOC o DQO, que requieren un tratamiento biológico adicional. El MPPE Upstream asegura la eliminación de compuestos no biodegradables y protege los sistemas biológicos posteriores de compuestos tóxicos.

## TIPOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MPPE

Los sistemas están disponibles en un diseño en contenedor con caudales de 3 a 25 m<sup>3</sup>/h. Cuentan con un diseño

*plug-and play*, son compactos y fáciles de transportar.

También se encuentran disponibles unidades MPPE ensambladas in situ con caudales de 3 a 165 m<sup>3</sup>/h (Foto 3). Se encuentran disponibles configuraciones montadas en skid en tierra, con caudales de 16 a 165 m<sup>3</sup>/h. Cumplen con las especificaciones de petróleo y gas y es posible realizar pruebas funcionales en la fábrica.

Los módulos de petróleo y gas en tierra o en alta mar están disponibles en un diseño personalizado, y con ingeniería basada en un diseño estandarizado predeterminado: tuberías de 1", 2", 2.5", 4" o 6" para adaptarse al caudal de alimentación requerido.

## EJEMPLOS DE ESTUDIOS DE CASO DE ÉXITO

En junio de 1994 se puso en servicio el primer sistema MPPE para el tratamiento de aguas producidas en plataformas de extracción de gas en alta mar, desagües, escorrentías y aguas subterráneas. Ha tratado con éxito aceite disuelto y disperso, BTEX y PAH con 1.500-2.500 ppm de orgánicos a menos de 0,5 ppm. El caudal de alimentación del sistema es de 6,0 m<sup>3</sup>/h. El vertido se realiza a la planta de tratamiento de aguas residuales municipal.

Más recientemente, se entregaron dos unidades de MPPE para la eliminación de >99 % de aceite disperso (alifáticos), aromáticos disueltos y dis-



Foto 3. Tipo de construcción MPPE ensamblado in situ; Caudales de 3 a 165 m<sup>3</sup>/h. Estos son compactos, económicos y requieren montaje en el sitio

persos (BTEX) y poliaromáticos (PAH). Ambos operan en aguas de Australia Occidental y apoyan las instalaciones de procesamiento en alta mar en el proyecto Inpex Ichthys LNG y Shell Prelude FLNG.

Las unidades MPPE tienen una capacidad de hasta 180 m<sup>3</sup>/h y el tratamiento en un solo paso elimina el contenido tóxico disperso y disuelto para alcanzar un vertido tóxico cero al mar. Según las condiciones de diseño para las dos unidades diferentes, los sistemas se recuperarán por unidad de 7 a 10 kbp (7.000 a 10.000 barriles por año) de hidrocarburos limpios.

Aunque no está diseñado para ello, el MPPE eliminará una cantidad significativa de mercurio, que es común en el agua producida por gas. Un estudio de referencia de cinco unidades operativas en todo el mundo mostró una eliminación de mercurio del 85 % y el 99 %. Este fenómeno fue respaldado, además, por extensas pruebas a escala de benchmark en las instalaciones de Veolia en los Países Bajos. Se comprobó que tanto el mercurio metálico, Hg (0) como el mercurio iónico, Hg (+ / ++), se eliminan de manera eficiente del agua producida y salen del proceso MPPE

» MPPE es una tecnología eficiente y rentable para eliminar contaminantes como BTEX, PAH y otros hidrocarburos tóxicos a niveles bajos de ppb

con la corriente de hidrocarburos recuperada.

### CONCLUSIONES

Los operadores de plantas de hoy en día tienen la tarea de eliminar los hidrocarburos disueltos y dispersos en los flujos de vertido, al mismo tiempo que cumplen con las normativas de vertido. MPPE es una tecnología eficiente y rentable para eliminar contaminantes como BTEX, PAH y otros hidrocarburos tóxicos a niveles bajos de ppb.

Durante 25 años, la tecnología MPPE ha tenido un excelente historial en muchas aplicaciones, como, por ejemplo, eliminación de hidrocarburos del agua producida por po-

zos de gas, donde la concentración de hidrocarburos disueltos es normalmente mucho mayor que en los pozos de petróleo, y la eliminación de compuestos con una eficiencia de hasta el 99,99 % en plantas *downstream* con mayores concentraciones de hidrocarburos.

Veolia Water Technologies continúa investigando nuevas aplicaciones para la tecnología MPPE. Los desarrollos recientes incluyen: la aplicación de nuevos tipos de medios para eliminar componentes más polares, como el alcohol isopropílico (IPA) y el fenol del agua; y aplicar la concentración de compuestos orgánicos en soluciones diluidas para su recuperación y reutilización (Figura 2). ■

FIGURA 2. Independientemente de la aplicación, ubicación y/o tipo de construcción específicos, los sistemas MPPE continuarán ofreciendo a los operadores de refinerías y plantas petroquímicas una forma comprobada y rentable de eliminar el vertido de hidrocarburos y cumplir con las cada vez más estrictas regulaciones

