

TRATAMIENTO DE AGUA CON NANOBURBUJAS

Walter A. Vargas*, Guillermo Puebla, Nuria Vidal***, Maria Elena Oneto***.**

* Gerencia de Innovación, Gerencia Ejecutiva de Competitividad Misdream-Downstream-VPE Misdream-Downstream, YPF S.A.

** Gerencia de Proyectos Medioambientales, VPE Misdream-Downstream, YPF S.A.

***Gerencia de energías de transición y Sostenibilidad, YPF Tecnología. S.A.

Sinopsis

En YPF Downstream nos comprometemos con el cuidado de los recursos naturales y uno de nuestros principales focos es el uso eficiente del agua en los procesos industriales.

En ese sentido, estamos trabajando especialmente en la exploración, desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que nos permitan racionalizar el uso del agua, reduciendo los volúmenes de captura y maximizando la reutilización de las corrientes de agua industrial.

Una de esas iniciativas es la puesta en marcha un proyecto ambicioso para el tratamiento de aguas, con el trabajo conjunto con los complejos de refinación de YPF, Y-TEC (YPF Tecnología) y la Gerencia de Innovación.

Y-TEC desarrolló una tecnología de nanoburbujas, patentada en mayo de 2022, única en el mundo. Diseñada para el tratamiento de aguas con hidrocarburos disueltos, las nanoburbujas se disuelven en el agua y degradan los hidrocarburos a partir de una reacción química de oxidación avanzada, que no genera residuos y tiene alta eficiencia.

Si bien existen en el mercado otros equipamientos que generan burbujas, utilizados principalmente para el tratamiento de aguas en la ictiocultura, el trabajo conjunto entre todos los equipos del grupo YPF finalmente logró desafiar la tecnología y optimizar esta aplicación especialmente para nuestra industria. Se desarrollaron las condiciones de funcionamiento y los requerimientos hidrodinámicos para lograr de forma exitosa y sustentable eliminar los hidrocarburos disueltos en agua.

El sistema de oxidación avanzada tiene como único insumo el aire atmosférico, sumado al esquema de recirculación de agua que garantiza la saturación de O₂, logrando un alto poder oxidante. El equipamiento purifica el O₂ atmosférico, lo concentra y lo disuelve en forma de nanoburbujas alcanzando las condiciones necesarias para degradar las moléculas de hidrocarburo presentes en el agua. Los ensayos técnicos demostraron que es posible lograr la degradación de HTP, los BTEX e incluso MTBE.

Estamos avanzando en un logro sin antecedentes en el tratamiento de agua dentro de la industria del O&G. De esta forma, YPF acerca a la industria formas innovadoras para promover el uso eficiente del agua. Esta adaptación tecnológica nos permite conjugar el uso eficiente de los recursos, la reducción de costos operativos y minimizar la complejidad de las operaciones.

Introducción

Este trabajo hace mención al tratamiento de aguas industriales con hidrocarburos disueltos a partir de la generación in situ de nanoburbujas de oxígeno. Se ha demostrado que las nanoburbujas son capaces de degradar los hidrocarburos persistentes contenidos en las aguas residuales. Este tratamiento se encuentra dentro de lo que se conoce como proceso de oxidación avanzada, o AOPs (siglas en inglés). La composición del gas o mezcla de gases condicionan el poder oxidante de la nanoburbuja en medio acuoso, para el caso del oxígeno, las nanoburbujas de este gas generan radicales hidroxilos que actúan como un oxidante fuerte (Radical OH*: 2,8 V vs Ozono 2,07V).

Habitualmente la eliminación de hidrocarburos disueltos en agua se lleva a cabo mediante métodos tradicionales como carbón activado, aireación, biodegradación aeróbica, tratamientos químicos y volatilización. Muchas veces estos tratamientos tradicionales no garantizan la calidad final del agua para vuelco o reúso. La falta de seguridad en la calidad final del agua tratada puede generar incumplimientos con los requisitos legales establecidos por la autoridad de aplicación ambiental según sea su destino final.

Las nanoburbujas para tratamiento de aguas es una tecnología versátil y escalable a niveles industriales, permite el tratamiento en el sitio del agua, libre de aditivos químicos y no genera residuos. Las nanoburbujas se disuelven en el agua para degradar los hidrocarburos disueltos a partir de una reacción química de oxidación avanzada. No genera lodos ni residuos y es uno de los desarrollos más eficientes para el tratamiento de aguas y efluentes.

Como ventajas se pueden enumerar:

- 99% Alta eficiencia de remoción de BTEX, MTBE, HTP, DQO, DBO.
- Hasta 92% efecto biocida con nanoburbujas de oxígeno
- Baja inversión, ya que se puede utilizar en instalaciones preexistentes
- Bajos costos de O&M, no requiere uso de químicos, ni gestión de lodos y/o carbón activado

Desarrollo

Se han realizado tratamiento en campo de efluentes de diferentes procesos relacionados a la industria de O&G.

El tratamiento con esta tecnología comprende la recirculación continua del volumen de aguas residuales a través de un sistema de generación de nanoburbujas, ajustando los tiempos de tratamiento a la composición inicial de las aguas residuales.

Esta tecnología se puede aplicar a aguas residuales procedentes de estaciones de servicio, plantas de tratamiento de aguas industriales, aguas subterráneas y similares.

Las aguas residuales a tratar pueden incluir compuestos orgánicos tales como hidrocarburos, por ejemplo, hidrocarburos aromáticos tales como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (orto-, meta- y para-) (BTEX), hidrocarburos poliaromáticos (PAH), así como hidrocarburos de productos petrolíferos clave, tales como gasoil, diésel, aceite mineral y similares. También, durante el tratamiento se puede controlar parámetros como Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Se ha trabajado con aguas residuales con hidrocarburos disueltos y con bajo contenido en cloruros ($\leq 0,020\%$) y con contenidos de cloruros $\geq 20\%$.

La Tabla 1. resume las características de las aguas residuales luego de ser tratadas con Nanoburbujas de oxígeno. Se puede observar que se alcanzó el Límite de vuelco (Ley 24051/Dec. 831/93 y ACUMAR Res 46/17) para los hidrocarburos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos), hidrocarburos totales de petróleo (HTP).

También se logró valores de vuelco a pluvial según ACUMAR Res 46/17 y ADA Res 336/03 para parámetros de D.Q.O y D.B.O.5 (Tabla 2)

Tabla 1. Remoción de hidrocarburos disueltos con nanoburbujas de oxígeno

Compuesto	Concentración inicial (mg/L)	R ²	Tiempo para < límite de vuelco (h)
HTP	16,5	0,961	<2
Benceno	1,23	0,984	<9
Tolueno	8,45	0,993	<15
Etilbenceno	0,47	0,941	<5
Xilenos totales	6,16	0,979	<5

Parámetro	Inicial (mg/L)	Final (mg/L)	Límite ACUMAR 46/17	Límite ADA 336/03
DQO	215	86	<250	<125
DBO	86,8	23,1	<50	<30

Tabla 2. Parámetros DQO y DBO antes y después del tratamiento

Tabla 3. Niveles alcanzados luego de tratar aguas con Nanoburbujas.

	Límite permiso a sumidero (ppm)	Concentración inicial (ppm)	Límite de cuantificación, ppm (LQ)	Tiempo (h) @<LQ
HTP	<10	<5	<5	-
Benceno	0,1155	0,634	<0,01	4

Tolueno	0,1617	0,300	<0,01	2
Etilbenceno	0,047	0,019	<0,01	2
Xilenos	0,1075	0,194	<0,01	2
totales	0,011	0,00097	<0,0002	8
Naftaleno	0,044	0,00049	<0,0002	8
Antraceno				

Para todos los hidrocarburos disueltos analizados, se especifica el tiempo de tratamiento que se necesitó para alcanzar niveles por debajo del límite de cuantificación (LQ)

Para el efluente descrito en la Tabla 1, las condiciones promedio de trabajo de medidas in situ fueron: en oxígeno disuelto 255% con un potencial redox de 202,4 mV. Para el agua presentado en la Tabla 2, el promedio en oxígeno disuelto fue de 210% y 260 mV en potencial redox.

Conclusiones

La tecnología de nanoburbujas de oxígeno desarrollada por Y-TEC representa una solución disruptiva y sustentable para el tratamiento de aguas residuales en la industria del Oil & Gas. Su capacidad para degradar hidrocarburos disueltos sin aditivos químicos, sin generación de residuos y con alta eficiencia, la posiciona como una alternativa superadora frente a los métodos tradicionales.

Los resultados obtenidos en campo validan su aplicabilidad industrial, su bajo costo operativo y su contribución directa a los objetivos de eficiencia hídrica, cumplimiento normativo y sostenibilidad ambiental. Esta innovación tecnológica refuerza el liderazgo de YPF en el desarrollo de soluciones que transforman los desafíos ambientales en oportunidades de mejora continua.

Bibliografía

1. Y-TEC. (2025). Manual de Uso Y-ALGÆ – Fotobiorreactor para captura de CO₂.
2. IPCC. (2023). Sixth Assessment Report – Climate Change 2023.
3. ONU Medio Ambiente. (2022). Soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación del cambio climático.

Breve Cv de los autores

Walter Vargas

Dr. en Ciencias biológicas, Universidad Nacional de Mar del Plata

Posición actual: líder de Investigación y Desarrollo. Gerencia de Innovación.
YPF S.A., VPE Midstream y Downstream.

Antecedente: Gerente de investigación y Desarrollo, YPF Agro
Jefe de Biociencias Aplicadas, YPF tecnología S.A.
Investigador Independiente CONICET.

Nuria Vidal

Dr. en ingeniería, mención en química, UNLP

posición actual: Tecnóloga Senior, Gerencia de energías de transición y Sostenibilidad.
YPF Tecnología. S.A.

Antecedente: Coordinadora de I+D, Benito Roggio Ambiental.
Docente Facultad de Ciencias naturales y Museo. UNLP
Docente Facultad de Ingeniería, UNLP.

Guillermo Puebla

Ing. químico, Universidad Nacional de Cuyo

Posicion Actual: Gerente de Proyectos Medioambientales. YPF S.A., VPE Midstream y Downstream

Maria Elena Oneto

Licenciada en Geología, UNLP

Posicion actual: Jefe de Ambiente Gerencia de Energías de Transición y Sostenibilidad
YPF Tecnología S.A.

Antecedentes: Tecnóloga, Dirección de Ingeniería Medioambiental, YPF S.A.
Gerente de ingeniería Medioambiental, dirección ingeniería YPF S.A.
Producto Champion, YPF tecnología S.A.
Líder de Programa de Medioambiente, YPF Tecnología S.A.