

Causas y efectos de los contaminantes microbianos

por Héctor A. Videla

Los problemas derivados de la presencia de contaminantes microbianos en la industria del petróleo son motivo de creciente atención en los últimos años debido al incremento de las operaciones de extracción costa afuera.

En el presente trabajo se realiza una revisión de los problemas derivados del *biofouling* y la corrosión biológica en la extracción, distribución y almacenamiento de productos derivados del petróleo.

La importancia de los biofilms microbianos es particularmente analizada en relación a los procesos de biodeterioro. El papel del *Hormoconis resinae* y otros contaminantes fúngicos de turbocombustible en la corrosión de tanques de almacenamiento es tratado en función de los últimos conocimientos en la materia.

Héctor A. Videla es Doctor en Bioquímica de la Universidad Nacional de La Plata. Es Jefe del Departamento de Bioelectroquímica (INIFTA) de la misma Universidad. Además, es Coordinador Internacional del Subprograma XV Corrosión-Impacto Ambiental sobre Materiales del CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Técnica para el Desarrollo) y autor de numerosos trabajos científicos sobre su especialidad.

La industria del petróleo es posiblemente una de las industrias más afectadas por los procesos de *biofouling* y corrosión biológica en sus diversas etapas de extracción, procesamiento, distribución y almacenamiento. El enorme desarrollo experimentado por la industria extractiva costa afuera en las últimas dos décadas ha sido motivo de un marcado incremento de las actividades de productores, contratistas, usuarios y lamentablemente también, de los versátiles microorganismos. El *microfouling* biológico, el biodeterioro de los combustibles y diversos materiales usados en esta industria y los problemas de corrosión biológica son, en la actualidad, términos familiares para la mayoría del personal técnico y profesional especializado. No obstante, las medidas preventivas y de control a implementar, exigen un entendimiento profundo de la interacción microorganismo-medio en el variado espectro de situaciones que se presentan en la industria del petróleo desde que este es extraído hasta que el producto final es dispensado. El interés antes señalado por el

entendimiento de estos problemas, se ha visto reflejado por diversas reuniones especializadas realizadas en el continente europeo y en América. Como un ejemplo de las primeras pueden señalarse las reuniones auspiciadas por el Institute of Petroleum británico a partir de las últimas dos décadas y que han dado motivo a excelentes publicaciones en la materia. En los Estados Unidos, la National Association of Corrosion Engineers dedica en sus reuniones anuales, sesiones, cursos y publicaciones especiales a los problemas de corrosión biológica que afectan a la industria del petróleo. En este aspecto, gran parte de las presentaciones efectuadas dentro de las actividades del Task Group T-3J están referidas a problemas de corrosión derivados de contaminantes microbianos del petróleo. En Sudamérica desde hace varios años la Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) y más recientemente la Asociación Argentina de Corrosión (AAC) incluyen en sus reuniones periódicas, sesiones especiales dedicadas al estudio de los problemas de corrosión que afectan a diversas actividades de la industria del petróleo.

La creciente concientización de la gravedad y frecuente incidencia de los problemas derivados de los contaminantes microbianos del petróleo y derivados en sus distintas etapas de producción y procesamiento han permitido avanzar notoriamente en la comprensión de los problemas de corrosión biológica para desarrollar medidas preventivas y protectoras más eficaces. A diferencia de lo que acontecía hace diez años atrás, en la actualidad se sabe que los problemas deri-

vados de la presencia microbiana se inician aún antes de comenzar la extracción del petróleo, con los contaminantes microbianos del agua de inyección o los presentes en la misma estructura geológica. Es cada vez más reconocido que la presencia de bacterias sulfato-reductoras (BSR) no es el único motivo de riesgo inminente de corrosión, sino que existe una variada flora aeróbica heterotrófica que acompaña normalmente al petróleo y sus derivados y crea las condiciones microambientales requeridas por las BSR para su respiración y nutrición. La formación de consorcios microbianos entre dos y más bacterias es considerada en la actualidad, por la literatura especializada, como una de las causas más importantes de incremento de la corrosión. Finalmente, deseamos enfatizar que en todos los procesos antes mencionados, juega un papel fundamental la presencia de biofilms microbianos constituidos por células, material polimérico extracelular (MPE) y metabolitos que cambian completamente las condiciones de la interfase metal/solución respecto a las presentes en la corrosión inorgánica.

El objetivo de esta presentación será exponer sucintamente diversos aspectos relacionados a la contaminación microbiana del petróleo y derivados (y sus efectos en la corrosión) referidos en la literatura especializada y aportar experiencias obtenidas en nuestro laboratorio referentes a la acción de hongos y contaminantes bacterianos de combustibles derivados del petróleo en relación a la corrosión de los metales y aleaciones utilizados en su transporte y almacenamiento.

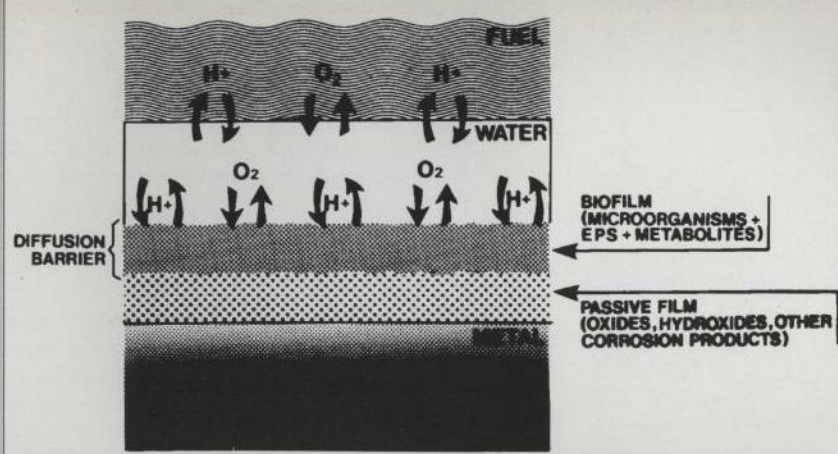


Figura 2. - Esquema idealizado de la interfase metal/solución en presencia de biofilms. Se ha señalado la transferencia a través de la interfase de los dos reactivos catódicos más importantes. Según Videla. Con permiso de la Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección.

una serie de áreas diferenciadas en la superficie metálica que difieren de otras áreas vecinas en importantes parámetros físico-químicos (pH, oxígeno, E redox, concentraciones de iones) creando diferencias de potencial localizadas (ver Fig. 1).

Por otra parte el desprendimiento parcial de los biofilms deja yuxtapuestas áreas cubiertas y descubiertas de la interfase metal/solución que actúan luego como

celdas de aereación diferencial facilitando los procesos de corrosión localizada.

Problemas de corrosión biológica en la industria extractiva costa afuera

Una descripción detallada de estos problemas está fuera de los objetivos de esta presentación y el lector puede referirse a excelentes trabajos de revisión o pu-

blicaciones dedicadas a este tema. No obstante, hemos de ofrecer a través del siguiente esquema debido a Hamilton una visión sucinta de la vastedad y variedad de problemas de corrosión, biodeterioro y biofouling derivados de la presencia microbiana en las operaciones extractivas costa afuera. (Fig. 3)

En los tanques terrestres de almacenamiento de crudo, las bacterias aeróbicas oxidantes de hidrocarburos que se desarrollan en presencia de agua y oxígeno, pueden crear condiciones anaeróbicas (consumo respiratorio de oxígeno) y producir compuestos orgánicos de bajo peso molecular (actividad metabólica degradativa). Estos compuestos pueden ser utilizados por otras bacterias heterotróficas que desarrollan en anaerobiosis (BSR). La producción de sulfuros y H_2S debida a estas últimas crea problemas de seguridad y de acidificación del combustible almacenado además del evidente riesgo de corrosión para las cañerías y estructuras metálicas de los tanques. La corrosión de cañerías puede ocurrir internamente, debido a la presencia de BSR en los biofilms formados en las paredes internas, o a través del transporte de pro-



CHILICOTE S.A.

PRESENTE EN LA ARGENTINA OIL & GAS EXPO '95
STAND 315 PABELLON ANEXO
JUNTO A EMPRESAS LIDERES INTERNACIONALES

U.S.A.

BOMBAS SUMERGIBLES

Francia

Burton Corblin®
COMPRESORES DE AIRE Y GAS
BOMBAS VOLUMÉTRICAS

Alemania

DORR-OLIVER DEUTSCHLAND
PLANTAS DE TRATAMIENTO
BUCKAU-WOLF
FILTROS DESPARAFINADORES

Alemania

P.I.V. ANTRIEB WERNER REIMERS GmbH & Co. KG
LIDER EN TRANSMISION DE POTENCIA
VARIADORES - REDUCTORES
ACOPLAMIENTOS

Japón

Kubota
VALVULAS DESLIZANTES PARA FCC
(FLUID CATALYTIC CRACKING)

U.S.A.

STOCKHAM WEDGEPLUG
VALVULAS ESPECIALES A TAPON NO LUBRICADO

AVDA. JULIO A. ROCA 546
 (1067) BUENOS AIRES
 ARGENTINA

TEL.: 343-8469 / 342-7611 / 2387
 331-6610 / 4560
 TELEFAX: 54-1-331-4278

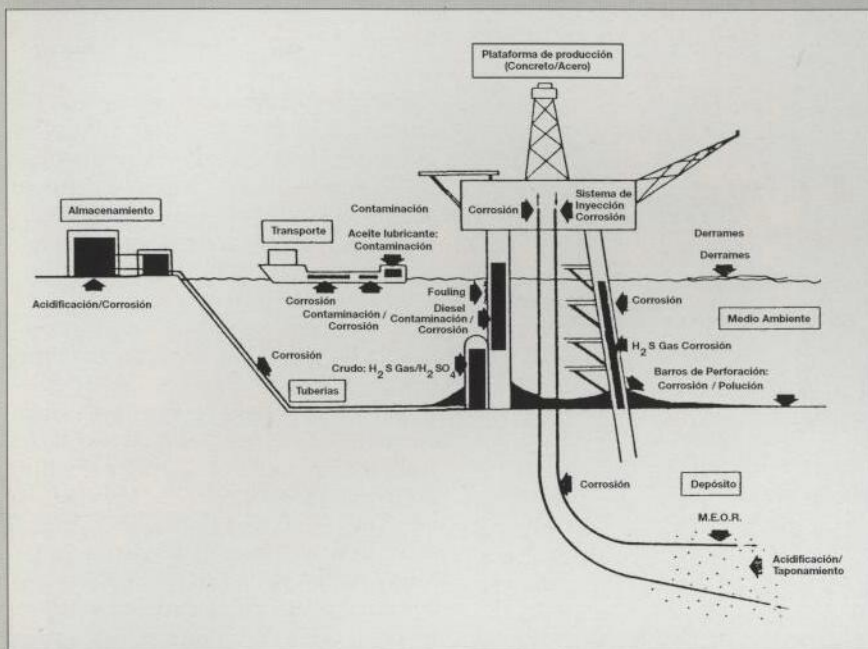


Figura 3. - Esquema general de los problemas de corrosión y biofouling en la industria extractiva del petróleo costa afuera. Según Hamilton. Con permiso de la National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas.

ductos de petróleo ácidos y externamente por el desarrollo de BSR del ambiente marino en los depósitos de *biofouling*. La corrosión puede igualmente ocurrir en la

pared externa de cañerías enterradas en suelos arcillosos anegados. Durante el transporte en navíos, el petróleo o sus derivados están expuestos a los mismos

riesgos de contaminación y consiguiente corrosión de las estructuras, que durante el almacenamiento en tierra antes descrito. En este caso, debe agregarse el riesgo de contaminación por hongos del tipo del *Hormoconis resiniae* (*H. resiniae*) que crecen en la interfase agua/combustible creando innumerables problemas debidos a la formación de sedimentos, taponamiento de filtros y cañerías, así como al mal funcionamiento del instrumental. A todo ello debe agregarse el deterioro sufrido por la calidad del combustible y la generación de una corrosividad acentuada para las estructuras metálicas en contacto. Los aceites lubricantes usados en la maquinaria sufren también procesos de biodeterioro que conducen a daños de corrosión posteriores. La presencia de *biofouling* en las estructuras de hormigón puede crear condiciones apropiadas al desarrollo de bacterias anaeróbicas (BSR) y aeróbicas oxidantes del azufre (gen. *Thiobacilli*). Valores de pH de tan sólo 2 unidades pueden originarse debido a estas bacterias ocasionando

el violento biodeterioro de la estructura. Además la acción de las BSR en los refuerzos de hierro del hormigón es causa de serio riesgo en las instalaciones.

El almacenamiento de combustible diesel en los tanques incluidos en los pilares de la plataforma así como el crudo almacenado costa afuera en tanques ubicados en la base de la plataforma, pueden conducir a la creación de un ambiente especial denominado sulfureto, donde las bacterias oxidantes (aeróbicas) y reductoras (anaeróbicas) del azufre pueden crear condiciones de extrema peligrosidad. La corrosión del acero en los sistemas de inyección de agua y en el sistema de producción (cañerías, separadores agua/aceite, etc.) puede ser marcada, si el producto es acidificado por el H_2S u otros metabolitos de las BSR.

Un aspecto no tan conocido es el referente a la contaminación microbiana a través del agua de inyección del mismo yacimiento. BSR viables son fácilmente encontradas luego que el agua de inyección es sometida al tratamiento de desaireado para disminuir los riesgos de corrosión por oxígeno. Los barros de perforación contaminando el lecho submarino cercano a la plataforma crean condiciones adecuadas al desarrollo de BSR y aumentan la posibilidad de corrosión de la base de la estructura. La incidencia ecológica de todos estos procesos extractivos puede verse a través de los derrames de petróleo ocasionales, además de la contaminación del lecho marino señalada anteriormente. Finalmente, la asociación de productos anticorrosivos a los productos metabólicos de las BSR puede originar junto a otras bacterias heterotróficas, problemas de taponamiento y pérdida de permeabilidad en la estructura geológica del yacimiento. Como único hecho positivo rescatabable de esta presencia microbiana en las operaciones extractivas costa afuera, puede mencionarse la utilización de la actividad microbiana para facilitar la extracción de petróleo en yacimientos de baja productividad mediante la generación de gases que incrementan la presión existente en el pozo, genéricamente denominada MEOR (*microbially enhanced oil recovery*).

Condiciones necesarias para la contaminación microbiana de combustibles derivados del petróleo

La mayoría de los microorganismos son capaces de metabolizar preferentemente combustibles derivados del petróleo constituidos por hidrocarburos parafínicos de cadena lineal con un número de

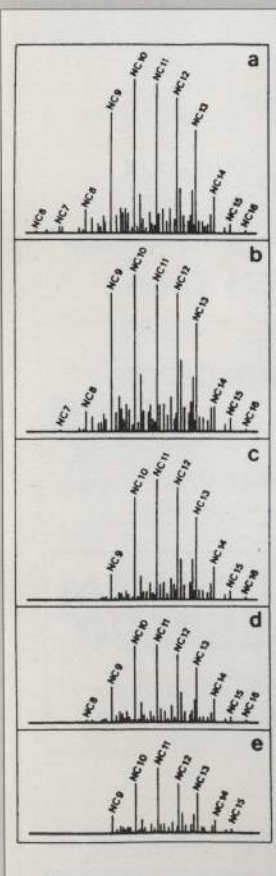


Figura 4.- Cromatografía correspondiente a la degradación de la fracción alifática de combustible JP1 por *H. resiniae* en diversas condiciones de cultivo: a) blanco sin incubado; b) blanco incubado durante 10 meses en condición estéril; c) combustible incubado durante 10 meses en contacto con un cultivo de *H. resiniae* sin fuente de nitrógeno; d) combustible incubado durante 10 meses en contacto con un cultivo de *H. resiniae* con ion amonio como fuente de nitrógeno; e) combustible incubado durante 10 meses en contacto con un cultivo de *H. resiniae* con nitrato de potasio como fuente de nitrógeno, de Videla y colab. Con permiso de la National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas.

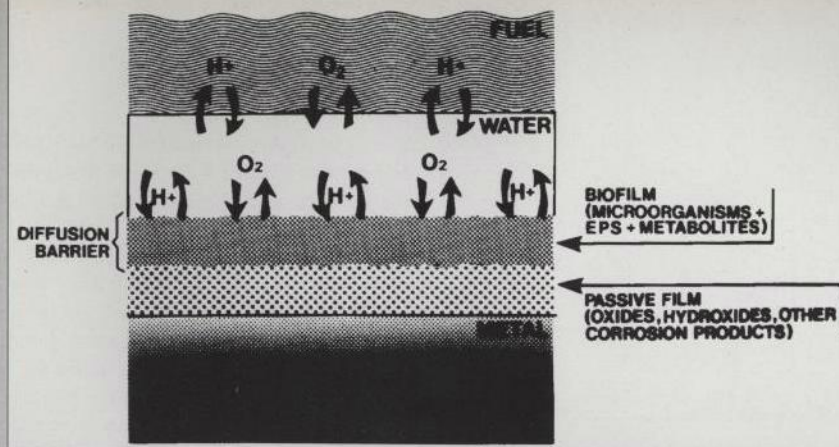


Figura 2. - Esquema idealizado de la interfase metal/solución en presencia de biofilms. Se ha señalado la transferencia a través de la interfase de los dos reactivos catódicos más importantes. Según Videla. Con permiso de la Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección.

una serie de áreas diferenciadas en la superficie metálica que difieren de otras áreas vecinas en importantes parámetros físico-químicos (pH, oxígeno, E redox, concentraciones de iones) creando diferencias de potencial localizadas (ver Fig. 1).

Por otra parte el desprendimiento parcial de los biofilms deja yuxtapuestas áreas cubiertas y descubiertas de la interfase metal/solución que actúan luego como

celdas de aereación diferencial facilitando los procesos de corrosión localizada.

Problemas de corrosión biológica en la industria extractiva costa afuera

Una descripción detallada de estos problemas está fuera de los objetivos de esta presentación y el lector puede referirse a excelentes trabajos de revisión o pu-

blicaciones dedicadas a este tema. No obstante, hemos de ofrecer a través del siguiente esquema debido a Hamilton una visión sucinta de la vastedad y variedad de problemas de corrosión, biodeterioro y biofouling derivados de la presencia microbiana en las operaciones extractivas costa afuera. (Fig. 3)

En los tanques terrestres de almacenamiento de crudo, las bacterias aeróbicas oxidantes de hidrocarburos que se desarrollan en presencia de agua y oxígeno, pueden crear condiciones anaeróbicas (consumo respiratorio de oxígeno) y producir compuestos orgánicos de bajo peso molecular (actividad metabólica degradativa). Estos compuestos pueden ser utilizados por otras bacterias heterotróficas que desarrollan en anaerobiosis (BSR). La producción de sulfuros y H_2S debida a estas últimas crea problemas de seguridad y de acidificación del combustible almacenado además del evidente riesgo de corrosión para las cañerías y estructuras metálicas de los tanques. La corrosión de cañerías puede ocurrir internamente, debido a la presencia de BSR en los biofilms formados en las paredes internas, o a través del transporte de pro-



CHILICOTE S.A.

PRESENTE EN LA ARGENTINA OIL & GAS EXPO '95
STAND 315 PABELLON ANEXO
JUNTO A EMPRESAS LIDERES INTERNACIONALES

U.S.A.

ABS PUMPS

BOMBAS SUMERGIBLES

Francia

Burton Corblin

COMPRESORES DE AIRE Y GAS
BOMBAS VOLUMÉTRICAS

Alemania

DORR-OLIVER DEUTSCHLAND

PLANTAS DE TRATAMIENTO

BUCKAU-WOLF

FILTROS DESPARAFINADORES

Alemania

P.I.V ANTRIEB WERNER REIMERS GmbH & Co. KG

P.I.V. LIDER EN TRANSMISION DE POTENCIA

VARIADORES - REDUCTORES ACOPLAMIENTOS

Japón

Kubota

VALVULAS DESLIZANTES PARA FCC (FLUID CATALYTIC CRACKING)

U.S.A.

STOCKHAM WEDGEPLUG

VALVULAS ESPECIALES A TAPON NO LUBRICADO

AVDA. JULIO A. ROCA 546
 (1067) BUENOS AIRES
 ARGENTINA

TEL.: 343-8469 / 342-7611 / 2387
 331-6610 / 4560
 TELEFAX: 54-1-331-4278

átomos de carbono comprendido entre 10 y 18 (fracción queroseno). En un combustible desprovisto de agua, la actividad microbiana es nula. Tan pronto como el agua alcanza al combustible, el crecimiento microbiano es posible mediante el uso de las cadenas hidrocarbonadas como aporte fundamental de C e H. El agua de contaminación y los aditivos usuales en los combustibles aportan el resto de los elementos necesarios para el desarrollo microbiano (N, P y diversos oligoelementos). Por otra parte, las operaciones de llenado y descarga aseguran una suficiente oxigenación del combustible como para permitir el crecimiento de una variada flora bacteriana y fúngica. Aunque rigurosos procedimientos de mantenimiento pueden procurar minimizarla, la presencia de agua es inevitable debido a la condensación de la humedad presente en la atmósfera de los tanques, a las filtraciones y a la propia producción metabólica de humedad por parte de los microorganismos. Una vez producida la contaminación de la fase acuosa, la misma provee el medio necesario para que la reacción de corrosión también ocurra. La actividad microbiana (crecimiento y metabolismo) genera de esta forma, pequeños ecosistemas que retienen el agua, tales como tubérculos, sedimentos o biofilms en el fondo o en las paredes de los tanques. Una evaluación de los contaminantes microbianos de combustibles derivados del petróleo de tipo queroseno, permite encontrar como contaminante frecuente el hongo *H. resinae* y diversas especies de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*. Dentro de las bacterias, las pertenecientes al género *Pseudomonas* son las más frecuentes. Cuando las condiciones del medio son adecuadas, las BSR también son frecuentes. En el transporte de combustible por vía marítima se crean

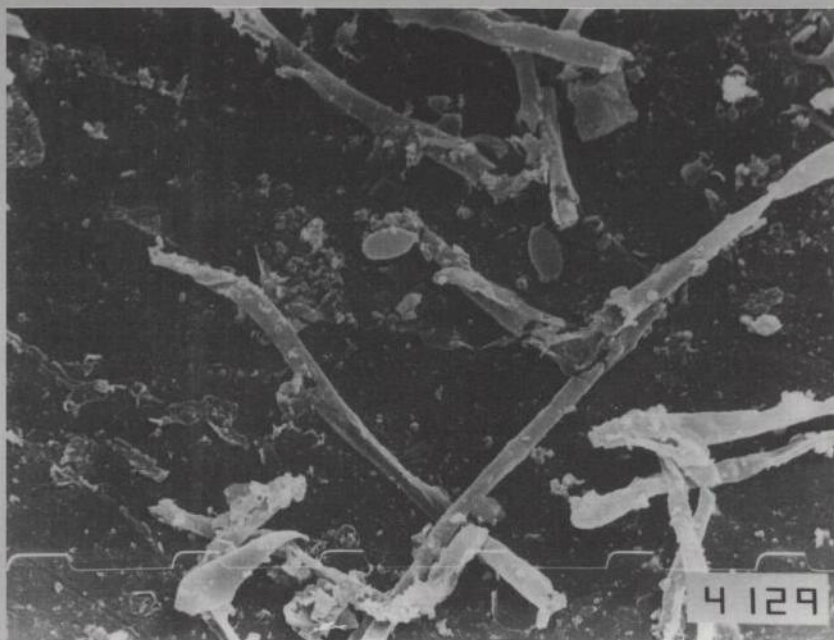


Figura 5. - Microfotografía (MEB) del micelio del hongo *H. resinae* sobre una aleación de aluminio 2024 luego de permanecer sumergida durante varios meses en un sistema agua/combustible (JP₁/medio mineral simplificado). La escala indica 100 μ m.

otros ecosistemas más complejos debido al aporte de microorganismos presentes en el agua de mar. Generalmente, el desplazamiento del combustible por sistema de balasto crea una variada contaminación por bacterias, hongos y levaduras que forman simbiosis microbianas en donde determinadas especies aportan condiciones de pH, oxígeno y nutrientes favorables al desarrollo de las restantes. El sedimento de un tanque puede ser considerado como una fase separada, en las cuales las condiciones fisicoquímicas son completamente diferentes de las existentes en el seno del combustible. La contaminación por levadura (generalmente del género *Candida*) favorece el crecimiento de hongos como

el *H. resinae* a través de la producción de bajos valores de pH y pequeñas concentraciones de surfactantes en áreas restringidas. Durante las últimas décadas, el incremento de la actividad de la industria del petróleo ha visto afectadas sus operaciones en forma también creciente por la flora microbiana contaminante. Los problemas de corrosión con la pérdida de combustible y contaminación de suelos ha sido reportada con frecuencia en la literatura especializada. El ataque corrosivo está generalmente ubicado en el fondo de los tanques donde hay una activa población microbiana asociada a la fase acuosa. El crecimiento fúngico también se presenta en las paredes de los tanques debido a



HENRY HIRSCHEN & CIA. S.A.

Suministros para la industria del petróleo y el gas

- TRIETILENGLICOL
- MONOETILENGLICOL
- MONO-DI-TRIETANOLAMINA
- CARBOXIMETILCELULOSA
- ODORANTES PARA GAS
- NATURAL Y LICUADO

Av. L.N. ALEM 1110 - 9º PISO - TEL.: 311-8239 • 312-1500 FAX 311-8239 • 312-4512 BUENOS AIRES

la ramificación de las hifas que atrapan agua sobre la superficie metálica. En general, la mayor corrosividad se encuentra asociada al hongo *H. resinae*, uno de los contaminantes más frecuentes de estos sistemas. En diversas publicaciones previas hemos determinado la compleja secuencia de mecanismos por los cuales actúa este microorganismo. Dicha secuencia puede ser resumida de la siguiente forma: a) la degradación de las cadenas hidrocarbonadas por la actividad metabólica microbiana produce alteraciones marcadas del medio circundante al metal. Las alteraciones más importantes son: una disminución marcada del pH de la fase acuosa, la alteración de los potenciales redox creando condiciones oxidantes favorables al inicio de la corrosión, la producción de sustancias ácidas de naturaleza orgánica; b) la producción de sedimentos formados por MPE, células microbianas, productos de desecho y corrosión crean condiciones favorables al establecimiento de aereación diferencial; y finalmente c) la formación de biofilms permite la creación de consorcios microbianos de hongos y bacterias que incrementan la corrosión.

El crecimiento de los microorganismos se hace generalmente a expensas de iones de acción inhibitoria de la corrosión como los nitratos, presentes en la fase acuosa o en los aditivos de los combustibles. La presencia simultánea de iones agresivos como los cloruros (generalmente en concentraciones variables entre 10^{-3} a 10^{-4} M) en las aguas de contaminación puede favorecer el inicio del ataque localizado cuando el nivel de inhibidores (nitratos) presentes es disminuido por consumo microbiano. La presencia de los productos de degradación de las cadenas hidrocarbonadas (de naturaleza tensioactiva) facilita la desestabilización de las películas pasivantes y el comienzo del ataque localizado. De las formas de corrosión observadas, el picado, la corrosión en rendijas por efecto de aereación diferencial y la disolución selectiva son las más frecuentes.

El análisis cromatográfico del combustible que ha permanecido en contacto con el hongo *H. resinae* muestra una degradación importante de las cadenas hidrocarbonadas que es mayor aun, cuando la fuente de nitrógeno utilizada ha sido el nitrato en vez del ion amonio (Fig. 4). En todos los casos, la producción de sustancias tensioactivas (generalmente sales de ácidos grasos) acelera la desestabiliza-

ción de las películas pasivas y el incremento de los problemas debidos a la formación de sedimentos y taponamiento de conductos. De los ensayos efectuados en nuestro laboratorio, puede verse que la corrosividad medida a través de la determinación potenciodinámica de potenciales de picado para diversas aleaciones de aluminio guarda una relación directa con la capacidad degradativa de las cadenas hidrocarbonadas. Así, el orden de corrosividad encontrado para diversos contaminantes fúngicos ha sido, de menor a mayor, *Penicillium* sp. < *Trichosporon* sp. < *Fusarium* sp. < *Aspergillus* sp. < *H. resinae*. Esta secuencia se corresponde con un ordenamiento similar al mostrado por la capacidad degradativa de estos hongos respecto a las cadenas hidrocarbonadas.

La adherencia del micelio fúngico a la estructura metálica favorece el contacto de los metabolitos de naturaleza ácida con la superficie metálica y la ruptura de la pasividad en áreas específicas de la interfase. Micelios de *H. resinae* se han encontrado firmemente adheridos a la superficie de aleación de aluminio 2024 luego de dos años de inmersión de muestras de esa aleación en un sistema agua/combustible contaminado por *H. resinae* (Fig. 5). Finalmente, cabe señalar que el papel del pH es fundamental para determinar la mayor o menor corrosividad de los contaminantes microbianos de combustibles derivados del petróleo. Un mismo metabolito (ácidos orgánicos, por ejemplo ácido cítrico) puede ser pasivante de la superficie metálica cuando se encuentra como anión (citrato) o corrosivo cuando se encuentra como ácido.

CONSIDERACIONES FINALES

La contaminación microbiana en la industria del petróleo y sus diversas consecuencias, el biofouling, biodeterioro de productos y la corrosión de metales y aleaciones usados en las etapas de extracción, procesamiento, distribución y almacenamiento han sido parcialmente contrarrestados en los últimos años mediante un conocimiento mayor de la interacción microorganismo-medio.

La necesaria implementación de técnicas de monitoreo de la contaminación microbiana ya es conciencia en el personal técnico y profesional de campo. El empleo de biocidas, anticorrosivos y demás auxiliares de su acción debe ser hecho luego de un pormenorizado análisis de las

características propias de cada sistema y de la flora microbiana particular del mismo. El seguimiento de los microorganismos planctónicos debe necesariamente ser acompañado por la evaluación de los microorganismos sesiles presentes en los depósitos biológicos y biofilms para lograr un adecuado sistema preventivo y protector de los nada deseables efectos corrosivos derivados de la presencia microbiana.

BIBLIOGRAFIA

1. HILL, E. C. - Fuels, en *Microbial Problems in the Offshore Oil Industry*, (Hill, E. C., Shennan, J. L. y Watkinson, R.J. [eds.]), Institute of Petroleum, John Wiley & Sons, Chichester, 1987, p. 219-229.
2. GAYLARDE, C.C. y VIDELA, H.A. - Localised Corrosion Induced by a Marine Vibri, *International Biodeterioration*, 23 (2): 91-104, 1987
3. COSTERTON, J. W. y GEESEY, G. G. - The Microbial Ecology of Surface Colonization and of Consequent Corrosion, en *Biologically Induced Corrosion* (Dexter, S.C. [ed.]), NACE-8 International Corrosion Conference Series, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 1986, p. 223-232.
4. COSTERTON, J. W., GEESEY, G. G. y JONES, P.A. - Bacterial Biofilms in Relation to Internal Corrosion Monitoring and Biocide Strategies, *Material Performance*, 27(4): 49-53, 1988.
5. VIDELA, H.A. - Corrosión Microbiológica: Retrospectiva histórica y perspectiva futura, *Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección*, 17 (5): 329-333, 1986.
6. EDYVEAN, R.G.J. - Biodeterioration Problems of North Sea Oil and Gas Production, *International Biodeterioration*, 23 (4): 199-231.
7. SANDERS, P.F. y HAMILTON, W.A. - Biological and Corrosion Activities of Sulphate-reducing Bacteria in Industrial Process Plant, en *Biologically Induced Corrosion* (Dexter, S.C. [ed.]), NACE-8 International Corrosion Conference Series, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 1986, p. 47-68.
8. VIDELA, H.A., GUIAMET, P.S., DO VALLE, S. y REINOSO, E.H. - Effects of Fungal and Bacterial Contaminants of Kerosene Fuels on the Corrosion of Storage and Distribution Systems, *Corrosion* 88, paper N° 91, Houston, National Association of Corrosion Engineers.